

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# **SOLUÇÕES INOVADORAS**

EM ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL

 **Atena**  
Editora  
Ano 2023

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# **SOLUÇÕES INOVADORAS**

EM ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL

  
Ano 2023

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremona

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S691                                                    | Soluções inovadoras em engenharia sanitária e ambiental /<br>Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. –<br>Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.<br><br>Formato: PDF<br>Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader<br>Modo de acesso: World Wide Web<br>Inclui bibliografia<br>ISBN 978-65-258-1917-4<br>DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.174230311">https://doi.org/10.22533/at.ed.174230311</a><br><br>1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua,<br>Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.<br>CDD 628 |
| Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Soluções inovadoras em Engenharia Sanitária e Ambiental” é composto por 23 capítulos de livro, provenientes de diferentes tipos de instituições (Autarquias de tratamento de água e esgoto e Instituições de Ensino Superior) localizadas em diferentes regiões do Brasil. Os trabalhos pretendem apresentar a busca pela conscientização em relação à importância da manutenção da qualidade dos rios, associadas a implementação de sistemas que possam reduzir a perda de água tratada; desenvolvimento de sistemas mais eficientes de monitoramento da qualidade dos corpos hídricos e de novas tecnologias de tratamento de esgoto, a fim de remover poluentes de preocupação emergentes; aplicação de sistemas de tratamento de esgoto para áreas isoladas e/ou que não possuem tratamento e; universalização do saneamento básico.

Os capítulos de 1 a 5 apresentam trabalhos que procuraram trabalhar com a percepção/conscientização das pessoas em relação a importância dos rios urbanos; a redução da inadimplência em relação as tarifas aplicadas sobre o consumo de água e tratamento de esgoto, bem como a valoração dos recursos hídricos e a mudança de paradigmas em relação as estruturas tarifárias vigentes no país.

Os capítulos de 6 a 11 propuseram o desenvolvimento de aplicativos móveis, a fim de dimensionar reservatórios para captação de água de chuvas; análise da vulnerabilidade socioambiental como forma de prevenir e controlar a dengue; influência de poluentes atmosféricos na qualidade da água da chuva na cidade do Rio de Janeiro; gestão dos aspectos socioambientais em relação ao sistema de distribuição de água para fins potáveis; aplicação de uma metodologia, a fim de reduzir as perdas de água em sistema de abastecimento e avaliação dos impactos socioambientais e de saneamento, a partir das águas provenientes do novo Rio Pinheiros.

Os capítulos de 12 a 18 procuraram avaliar e comparar a eficiência de tratamento de efluente, a fim de possibilitar o reuso de água utilizada na agricultura; desenvolvimento de um biodigestor, com o intuito de proporcionar o tratamento de esgoto em regiões isoladas e terrenos íngremes; universalização de coleta e encaminhamento dos esgotos em áreas regulares e irregulares da sub-bacia do Alto Pirajuçara, afluente do Rio Pinheiros; implantação de uma gestão integrada nos sistemas de esgotamento sanitário, nas estações de tratamento de esgoto e universalização do saneamento ambiental de forma sustentável.

Por fim, os capítulos 19 a 23 estudaram a aplicação de lodo como material de recomposição em aterro sanitário; utilização de comunidades bentônicas como bioindicador da qualidade da água; aplicação de processos oxidativos avançados (Fenton e Fotocatálise heterogênea) e membranas poliméricas

fotocatalíticas na degradação, respectivamente, de corantes e resíduos de fármacos em matrizes aquosas.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**CAPÍTULO 1 ..... 1**

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POPULAÇÃO SOBRE OS RIOS URBANOS  
COM UTILIZAÇÃO DO DISCURSO DO SUJEITO COLETIVO: UM ESTUDO NA  
BACIA DO RIO CAMARAJIPE, EM SALVADOR-BAHIA

Mikhail Martinez Barreto

Níckolas Carvalho de Almeida Costa

Luiz Roberto Santos Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303111>

**CAPÍTULO 2 ..... 13**

AÇÕES PARA REDUÇÃO DE INADIMPLÊNCIA

Gabriel Eustáquio Elias

Wilson Ribeiro dos Santos

Antonio Maximiano Pedro

Lucimília Pereira Marques

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303112>

**CAPÍTULO 3 ..... 21**

COBRANÇA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO PELO USO DA ÁGUA NO  
BRASIL: VALORAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Inaldo de Souza Albuquerque

Simone de Souza Albuquerque

João D' Anúzio Menezes de Azevedo Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303113>

**CAPÍTULO 4 ..... 31**

PARADIGMA DAS ESTRUTURAS TARIFÁRIAS DOS SERVIÇOS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Hector Honório Santos Tomelin

Ricardo Alexandre de Mello Oliveira

Thiago Zschornack

Ricardo Pitta

Almir de Oliveira

Sydney Marques de Oliveira Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303114>

**CAPÍTULO 5 ..... 51**

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO MÓVEL E PROGRAMA  
COMPUTACIONAL DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA  
DE CHUVA DESTINADOS À CIDADE DO RIO DE JANEIRO-RJ

Ryan Rodrigues Domingos

Guilherme Nunes da Silva

Letícia Delduque Alves

Caroline Moreira de Souza

Jaqueline Costa Areas de Almeida

Allexser Pacheco Bernacchi Alves

Marcelo Obraczka



Alfredo Akira Ohnuma Jr

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303115>

## **CAPÍTULO 6 .....65**

### **GESTÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NA GRPM**

Ricardo Luiz Borges

Saulo de Lima Bernardes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303116>

## **CAPÍTULO 7 .....77**

### **ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARÁ COMO SUBSÍDIO À PREVENÇÃO E CONTROLE DA DENGUE**

Luiza de Nazaré Almeida Lopes

Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303117>

## **CAPÍTULO 8 .....93**

### **ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA EM FUNÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

Jaqueline Costa Areas de Almeida

Letícia Delduque Alves

Caroline Moreira de Souza

Ana Beatriz Almeida de Souza

Julia de Souza Lemos

Athila Dias Carrapatoso Ribeiro

Ryan Rodrigues Domingos

Wendel Henrique S. de Souza

Alfredo Akira Ohnuma Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303118>

## **CAPÍTULO 9 ..... 111**

### **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA IWA PARA REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DA REGIÃO LESTE DE MINAS GERAIS**

Rosária Emília Lopes Pinto

Leonardo Vieira Rocha da Silva

Fernando Mendes de Almeida

Jeferson Tadeu Alves de Almeida Júnior

Saulo Soares Condé Júnior

Valter de Souza Lucas Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1742303119>

## **CAPÍTULO 10..... 124**

### **AValiação dos Impactos de Ações Socioambientais e Saneamento na Melhoria da Qualidade das Águas do Novo Rio Pinheiros**

Ramon Velloso de Oliveira

Clenir Rosa Granado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031110>

## **CAPÍTULO 11 ..... 136**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMA CONVENCIONAL E NÃO DESTRUTIVO EM REDE COLETORA DE ESGOTO**

Rafaella Pinheiro Simões

Larissa Farias Bulcão

Raquel Jucá de Moraes Sales

Debora Carla Barboza de Sousa

Anderson Ruan Gomes de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031111>

## **CAPÍTULO 12..... 148**

**AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE NA ETE VENTUROSA (PE) PARA O REÚSO AGRÍCOLA**

Marcella Vianna Cabral Paiva

Silvanete Severino da Silva

Luára dos Santos Soares

Izabelly Feitoza Nascimento

Silvia Mariana da Silva Barbosa

Tatiana de Oliveira Calado

Ednara Fernandes Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031112>

## **CAPÍTULO 13.....161**

**RAB-A – REATOR ANAERÓBIO BIODIGESTOR ARTESANAL – COMO SOLUÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA REGIÕES ISOLADAS E COM TERRENOS ÍNGREMES: DIAGNÓSTICO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DESCENTRALIZADO NA VILA DE EUFRASINA, PARANAGUÁ-PR**

Jefferson Eckelberg

Everaldo dos Santos

Fernando Augusto Silveira Armani

Jaqueline Dittrich

Tiago Vernize Mafra

Pedro Pisacco Pereira Cordeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031113>

## **CAPÍTULO 14..... 176**

**UNIVERSALIZAÇÃO DE COLETA E ENCAMINHAMENTO DOS ESGOTOS PARA TRATAMENTO EM ÁREAS IRREGULARES DA SUB-BACIA DO ALTO PIRAJUÇARA, AFLUENTE DO RIO PINHEIROS**

Ramon Velloso de Oliveira

Renato Cecílio de Faria

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031114>

**CAPÍTULO 15..... 187**

UNIVERSALIZAÇÃO DE COLETA E ENCAMINHAMENTO DOS ESGOTOS PARA TRATAMENTO EM ÁREAS REGULARES E A SUA INFLUÊNCIA NA MELHORIA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS CORPOS HÍDRICOS DA SUB-BACIA DO ALTO PIRAJUÇARA, AFLUENTE DO RIO PINHEIROS

Ramon Velloso de Oliveira

Renato Cecílio de Faria

Carolina Harue Nakamura

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031115>

**CAPÍTULO 16.....204**

GESTÃO INTEGRADA DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Melissa Seixas Lima Figueiredo

Jairo Soares Araújo

Stanley Carlos Nascimento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031116>

**CAPÍTULO 17..... 214**

SANEAMENTO AMBIENTAL: DESAFIOS PARA A UNIVERSALIZAÇÃO E A SUSTENTABILIDADE. COMO TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E AUTOMAÇÃO PODEM MELHORAR A VIDA DAS PESSOAS

José Eduardo Coutinho Tessis

Cássio Anderson da Silva Rodembuch

Marcelo Gil Faccin

Paulo Ricardo Dias Tabim

Rodrigo Gomes Soares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031117>

**CAPÍTULO 18.....229**

UTILIZAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO NO PLANEJAMENTO DE ATIVIDADES NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO E ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO NA GERÊNCIA REGIONAL DE UNIDADE DE NEGÓCIOS IPOJUCA – COMPESA

Marcella Vianna Cabral Paiva

Silvanete Severino da Silva

Luára dos Santos Soares

Izabelly Feitoza Nascimento

Silvia Mariana da Silva Barbosa

Tatiana de Oliveira Calado

Ednara Fernandes Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031118>

**CAPÍTULO 19.....243**

ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA DE CICLO COMPLETO COMO MATERIAL DE RECOBRIMENTO EM ATERRO SANITÁRIO EM APARECIDA DE GOIÂNIA (GO)

Débora Raíssa Marçal

Beatriz Soares de Freitas Rodrigues  
 Brenda Vitória de Sousa Fonseca  
 Helen Carla Miranda de Resende  
 Theyssa Fernanda Barbosa Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031119>

## **CAPÍTULO 20 .....256**

BIOINDICADORES COMO FERRAMENTA PARA MONITORAMENTO DE  
 QUALIDADE DE ÁGUA – UMA EXPERIÊNCIA EM AMBIENTE URBANO,  
 CAMPO GRANDE/MS

Maria Helena da Silva Andrade  
 Gabriel Parente de Aquino  
 Matheus Felipe Galhardo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031120>

## **CAPÍTULO 21..... 261**

DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS EM PROCESSO OXIDATIVO  
 MEDIADO POR UM COMPLEXO DE FERRO (III)

Larissa Carreiro de Souza  
 Felipe Pereira da Silva  
 Aline Marques Ferreira Linhares  
 Fabiana Valéria da Fonseca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031121>

## **CAPÍTULO 22 ..... 274**

DEGRADAÇÃO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS UTILIZANDO  
 MEMBRANAS POLIMÉRICAS FOTOCATALÍTICAS

Ana Clara Wanderlei do Espírito Santo  
 Larissa Loureiro Salgueiro Silva  
 Aline Marques Ferreira Linhares  
 Cristiano Piacsek Borges  
 Fabiana Valéria da Fonseca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031122>

## **CAPÍTULO 23 .....282**

FOTOCATALISADORES À BASE DE  $g-C_3N_4$  NA DEGRADAÇÃO DE  
 COMPOSTOS FARMACÊUTICOS

José André Ferreira Batista  
 Caroline Menezes Pinheiro  
 Julia Mendes  
 Maria Carolina Gomes Silva e Silva  
 Cícero Coelho Escobar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17423031123>

## **SOBRE O ORGANIZADOR .....297**

## **ÍNDICE REMISSIVO .....298**

## AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA POPULAÇÃO SOBRE OS RIOS URBANOS COM UTILIZAÇÃO DO DISCURSO DO SUJEITO COLETIVO: UM ESTUDO NA BACIA DO RIO CAMARAJIPE, EM SALVADOR-BAHIA

*Data de aceite: 27/10/2023*

**Mikhail Martinez Barreto**

Concessionária Litoral Norte-CLN

**Níckolas Carvalho de Almeida Costa**

Consultor

**Luiz Roberto Santos Moraes**

Universidade Federal da Bahia/Escola  
Politécnica/Mestrado em Meio Ambiente,  
Águas e Saneamento

**RESUMO:** A imagem que décadas atrás refletia um cenário onde o rio era símbolo de vida pela sua biodiversidade, assim como espaço de lazer e atrativo paisagístico, deu espaço a uma imagem de extremo abandono nos ambientes urbanos de todo o Brasil, com destaque para Salvador. A mudança de abordagem e percepção sobre esses rios é fundamental para promover a transformação do ambiente. Antes de propor essa mudança, é preciso conhecer a comunidade que convive com o rio urbano e seus problemas. Diante desse contexto, o objetivo desse artigo é avaliar a percepção da população que reside no entorno do Rio Camarajipe, em Salvador-Bahia, quanto às suas condições urbano-ambientais. Com o intuito de coletar as percepções da

população, foi utilizada a técnica do Grupo Focal. Com as gravações e/ou filmagens feitas em cada um dos três grupos focais realizados em três trechos do Rio, cada discurso foi transcrito de forma literal e estes foram analisados a partir do Discurso do Sujeito Coletivo (DSC). A análise das discussões promovidas pelos grupos focais permitiu concluir que a atual condição do Rio Camarajipe impacta negativamente a população que reside no seu entorno, em especial nos aspectos da saúde e do conforto ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rios urbanos; Percepção; Discurso do Sujeito Coletivo; Bacia do Rio Camarajipe; Salvador.

### EVALUATION OF THE POPULATION'S PERCEPTION ABOUT URBAN RIVERS USING THE COLLECTIVE SUBJECT DISCOURSE: A STUDY IN THE CAMARAJIPE RIVER BASIN, IN SALVADOR-BAHIA

**ABSTRACT:** The image that decades ago reflected a scenario where the river was a symbol of life for its biodiversity, as well as a leisure space and attractive landscape, gave way to an image of extreme abandonment in

urban environments throughout Brazil, with emphasis on Salvador. The change of approach and perception about these rivers is fundamental to promote the transformation of the environment. Before proposing this change, it is necessary to know the community that lives with the urban river and its problems. Given this context, the objective of this work is to evaluate the perception of the population that lives around the Camarajipe River, in Salvador-Bahia, regarding its urban-environmental conditions. In order to collect the population's perceptions, the Focus Group technique was used. With the recordings and/or filming made in each of the three focus groups carried out in three stretches of Rio, each speech was transcribed literally and these were analyzed from the Discourse of the Collective Subject (DSC). The analysis of the discussions promoted by the focus groups led to the conclusion that the current condition of the Camarajipe River has a negative impact on the population that lives in its surroundings, especially in terms of health and environmental comfort.

**KEYWORDS:** Urban rivers; Perception; Discourse of the Collective Subject; Camarajipe River Basin; Salvador.

## INTRODUÇÃO

Diversas são as definições que o ser humano apresenta para um rio urbano, seja de um espaço de lazer, de trabalho, de despejo/lançamento de dejetos, efluentes líquidos diversos e resíduos sólidos, entre outras, a depender da forma como a sociedade interage com o meio (SAKAI; FROTA, 2014). Mas, de modo geral, considera-se para este artigo a definição de rio urbano como aquele que está inserido dentro dos limites de uma cidade e que sofre os impactos do processo de urbanização.

Ao longo de muitos séculos, esses rios se configuram como elementos de expressiva relevância para o florescimento das civilizações, assumindo papel primordial para a formação e o crescimento de diversas cidades ao redor do mundo. O ser humano ao longo dos anos se organizou e formou comunidades preferencialmente próximas às águas existentes, objetivando o atendimento das suas necessidades básicas.

Porém, com o intenso processo de urbanização ocorrido no Brasil e em outros países, desencadeou-se, gradativamente, a degradação da qualidade das águas dos rios urbanos, em função da proliferação de ocupações com infraestrutura precária, pelo lançamento de efluentes por parte das indústrias, pela ausência de ações e serviços públicos de saneamento básico, assim como a ampliação dos processos de agropecuária urbana, dentre outros aspectos. Com isso, verifica-se que, antes entendido como uma riqueza para a sociedade, os rios do meio urbano passaram a ser compreendidos de forma repulsiva, com desprezo e como sinônimo de entrave para o desenvolvimento urbano.

Prova disso são as principais soluções encontradas pelos gestores para excluir os rios urbanos desse processo de desenvolvimento: muitos rios urbanos em diversas cidades do mundo estão sendo desviados e canalizados em tubulações subterrâneas ou canais de concreto; as margens de lagos estão sendo substituídas por docas ou muros de contenção; as águas estão sendo poluídas ou contaminadas; as matas ciliares estão

sendo impactadas para atender a interesses imobiliários e a formação de parques urbanos; e muitos estuários navegáveis estão sendo dragados e suas costas sendo transformadas em cais, diques e zonas comerciais (MELO, 2005; ALMEIDA; CORRÊA, 2012; HUGHES et al., 2014; UNESCO, 2015).

A atual situação dos rios urbanos nas cidades brasileiras é extremamente crítica. A condição insatisfatória da qualidade das águas possui influência significativa na saúde e na qualidade de vida das populações, além de ocasionar nas pessoas, em sua grande maioria, o sentimento de repulsa e o entendimento equivocado acerca da riqueza hídrica que ali se apresenta.

O planejamento urbano territorial, ao longo dos tempos, tem demonstrado um enfoque para a arquitetura, a moradia, a organização e a salubridade dos espaços em detrimento das características e da capacidade suporte dos sistemas naturais, com destaque para os sistemas fluviais. Porém, o planejamento urbano territorial ideal e efetivo deveria ser uma ferramenta importante para a conservação dos corpos d'água, garantindo a quantidade necessária e qualidade desejada para diferentes usos, mesmo diante dos diversos usos e ocupações do solo na bacia hidrográfica (MOTA, 1995).

Desse modo, essa riqueza natural que ao invés de ser apreciada e ser motivo de orgulho e felicidade pela população que pode contemplá-la/usufruí-la, passa a ser interpretada simplesmente como um esgoto a céu aberto, um canal para transporte de esgotos e resíduos sólidos, fonte dos mais diversos impactos/incômodos aos que estão em contato ou próximo a ela e auscultar essa população torna-se imprescindível para a governança das águas.

Visando conhecer e entender esses sentimentos provenientes dos moradores que residem em ambientes no entorno de rios urbanos, esse artigo tem por objetivo avaliar a percepção da população que reside no entorno do Rio Camarajipe, em Salvador-Bahia, quanto às suas condições urbano-ambientais, em pesquisa realizada por equipe da Universidade Federal da Bahia, com a utilização de grupos focais e do Discurso do Sujeito Coletivo.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONTEXTUALIZAÇÃO**

Ambientes de grande insalubridade, os rios nas grandes cidades do País, especialmente os rios urbanos de Salvador, se apresentam não somente como um grande problema ambiental, mas também como o reflexo de uma sociedade marcada por fortes desigualdades socioeconômicas. A capital baiana é circundada e entrecortada por água, sendo essa uma das condições decisivas para a sua implantação e consolidação no comércio mundial dos séculos XVII e XVIII (ANDRADE; BRANDÃO, 2009). Mas essa abundância significativa de corpos d'água tem se convertido atualmente em uma situação de escassez crescente, devido aos diversos impactos que estes vêm sofrendo ao longo

dos anos, principalmente a partir do lançamento de efluentes líquidos e resíduos sólidos (SANTOS et al., 2005).

Essa condição se agrava diante do processo de urbanização que a Cidade foi submetida, similar ao que ocorreu nas grandes cidades em todo o Brasil, que gerou e continua gerando desigualdade e exclusão. Além disso, a topografia acidentada, a presença de encostas bastante íngremes e os altos índices pluviométricos agravam ainda mais essa problemática (ANDRADE; BRANDÃO, 2009; CARVALHO; PEREIRA, 2014; MORAES et al., 2015).

As margens e os leitos dos rios soteropolitanos são os principais locais de ocupação das classes menos favorecidas da cidade de Salvador, que muitas vezes se expõem ao risco diante da falta de condições financeiras que atendam às exigências do setor imobiliário. Nesses locais, a ausência ou precariedade das ações e serviços públicos de saneamento básico somado ao lançamento de efluentes e resíduos sólidos industriais e a ausência de educação sanitária e ambiental resultam em uma das principais causas para a poluição das águas, levando a condições agravantes à saúde do ambiente e das pessoas.

A imagem que décadas atrás refletia um cenário onde o rio era símbolo de vida pela sua biodiversidade, assim como espaço de lazer e atrativo paisagístico, deu espaço a uma imagem de extremo abandono, onde a fauna e a flora, quando existem, estão vinculadas à degradação da qualidade, e as críticas, que antes refletiam o prazer e o orgulho em se admirar e residir próximo ao curso d'água deram lugar aos mais diversos comentários, cujos conteúdos traduzem sentimentos de tristeza e de aversão pelo ambiente que ali se instaurou.

Diante desse contexto, a mudança de abordagem e percepção sobre esses rios é fundamental para promover a transformação do ambiente (UNESCO, 2015), já que é fundamental que a população que vive em urbes formadas por rios urbanos, como Salvador, desenvolva certa consciência da importância que essa riqueza natural tem para os seres vivos que dela dependem (incluindo o próprio ser humano), bem como para as diversas relações ecológicas que ele promove, mantendo assim o equilíbrio natural do meio.

Faggionato (2005) entende a percepção ambiental como a tomada de consciência do ambiente no qual o ser humano está inserido, estando relacionada com as múltiplas relações que envolvem o ser humano e o ambiente, sendo que para Okamoto (2003) a percepção ambiental do ser humano é resultado dos componentes sensorial (reação dos sentidos) e racional (inteligência de cada indivíduo), assegurados por meio da ética ambiental de respeito ao ambiente.

No entanto, antes de propor essa mudança de abordagem e percepção, é preciso conhecer a comunidade que convive com o rio urbano e alguns dos seus problemas.

A bacia hidrográfica do Rio Camarajipe é totalmente inserida nos domínios de Salvador continental, abrange 42 bairros, sendo a terceira maior da Cidade com uma área de drenagem de 35,9km<sup>2</sup>, que corresponde a 11,6% do território (SANTOS et al., 2010).



As suas nascentes estão localizadas nos bairros de Marechal Rondon, Boa Vista de São, Caetano, Calabetão e Mata Escura, áreas abrangidas pelo vetor de expansão da pobreza, e a partir daí o Rio Camarajipe percorre cerca de 14km até a sua foz atual no bairro do Costa Azul. Santos et al. (2010) consideram que impactos sociais, ambientais e culturais vêm se intensificando nos últimos anos por problemas relacionados à precariedade na prestação dos serviços públicos de saneamento básico, principalmente os de esgotamento sanitário e resíduos sólidos, bem como pela falta de implementação das diretrizes de ordenamento do uso e ocupação do solo, que tem afetado a qualidade das águas do rio principal e de seus afluentes, e, conseqüentemente, as condições sociambientais da população circunvizinha aos mesmos.

## MATERIAL E MÉTODO

Com o intuito de coletar as percepções da população que reside no entorno do Rio Camarajipe, foi utilizada a técnica do Grupo Focal, que consiste em “[...] grupos de discussão que dialogam sobre um tema em particular, ao receberem estímulos apropriados para o debate” (RESSEL et al., 2008, p. 780). Tais estímulos são gerados pelo moderador, que, segundo Dias (2000), possui o papel de redirecionar a discussão, mas sem interromper nem interferir nas falas dos participantes.

De início, todo o planejamento das atividades envolvendo o trabalho com os grupos focais foi realizado. Um roteiro de entrevista com onze questões foi elaborado para guiar o moderador ao longo da atividade. Foi estabelecida a importância da gravação e/ou filmagem dos discursos dos participantes, com a permissão dos mesmos, a fim de facilitar a transcrição literal de cada um a posteriori. Além disso, ficou definida a realização de um controle dos respondentes ao longo de toda a atividade, com o intuito de verificar e alertar o moderador sobre quem não estaria participando das discussões.

Todo o curso principal do Rio Camarajipe foi dividido em três trechos: Alto, Médio e Baixo Camarajipe. Em cada um desses trechos foi realizado um grupo focal (Alto-próximo à nascente; Médio-entre os dois trechos; e Baixo-próximo à foz). Para a definição dos participantes de cada grupo, algumas categorias de representação foram consideradas: Moradores antigos; Moradores jovens; Usuários do rio; Associações de moradores; Membros de entidades religiosas; Associações beneficentes; Associações culturais; e Grupos ambientalistas.

Com base na bibliografia específica, o número de participantes de cada grupo focal deve estar entre 7 e 12 pessoas. Após o contato *in loco* com a comunidade de cada um dos três trechos de estudo, foram coletados os dados de pessoas interessadas em participar da atividade: nome completo, idade, categoria de representação, contato e disponibilidade de data e turno para a realização do grupo focal. Além disso, o local de realização da atividade foi definido junto à comunidade ainda no contato *in loco*.

Após o contato com cada potencial participante, foram agendadas as atividades. No local pré-estabelecido, os participantes se reuniram em círculo e antes do início de cada atividade ocorria uma dinâmica de grupo para que cada um pudesse se apresentar. Todos os integrantes de cada grupo foram informados sobre os objetivos do trabalho e sua importância. Eles foram convidados a assinar duas vias de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em que cada um ficou ciente de que sua participação seria voluntária, que teria o direito de desistir a qualquer momento e que as informações fornecidas teriam sua privacidade garantida, sem haver identificação de nenhum deles no momento da divulgação. Cada integrante ficou com uma via do TCLE e a equipe de pesquisa com a outra.

Com as gravações e/ou filmagens feitas, cada discurso foi transcrito de forma literal e estes foram analisados a partir da técnica do Discurso do Sujeito Coletivo (DSC). O DSC é uma técnica de tabulação e organização de dados qualitativos muito utilizada, tendo como fundamento a teoria da Representação Social. Trata-se de uma mudança nas pesquisas qualitativas, pois permite conhecer os pensamentos, representações, crenças e valores de uma coletividade sobre um determinado tema utilizando-se de métodos científicos. A pesquisa qualitativa trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes; com um nível de realidade que não pode ser totalmente quantificado. O DSC busca responder o desafio da auto-expressão do pensamento ou opinião coletiva, respeitando sua dupla condição qualitativa e quantitativa (FIGUEIREDO; CHIARI; GOULART, 2013, p. 129). Assim, o DSC consiste em uma proposta de organização e tabulação de dados qualiquantitativos provenientes de técnicas de captação de discursos pessoais (LEFÈVRE; LEFÈVRE; TEIXEIRA, 2000). Esta técnica é utilizada para a construção de apenas um discurso que expresse o pensamento de um grupo de pessoas a partir do agrupamento das principais ideias expressas nos discursos individuais de cada um (LEFÈVRE; LEFÈVRE; TEIXEIRA, 2000). Ainda segundo Lefèvre, Lefèvre e Teixeira (2000), o DSC se utiliza das figuras metodológicas, conforme mostrado na Figura 1.

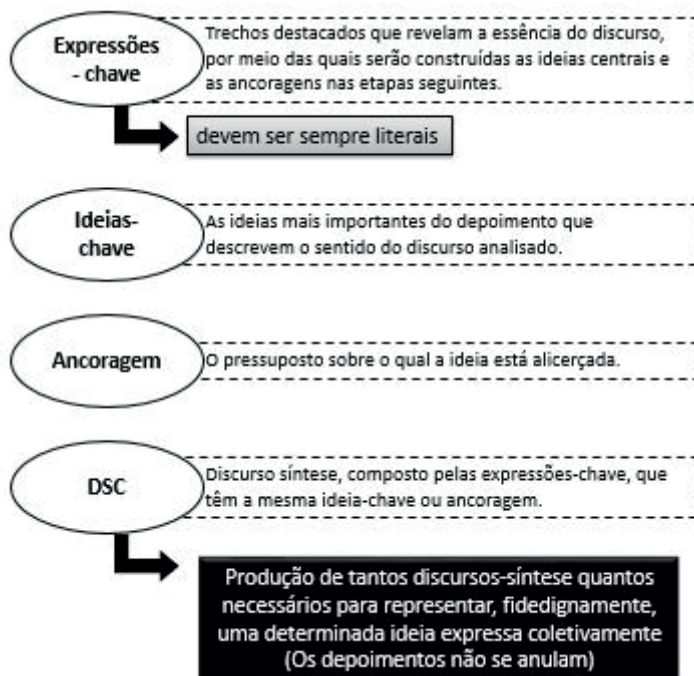


Figura 1: Figuras metodológicas da técnica do DSC

Fonte: Adaptado de Lefèvre, Lefèvre e Teixeira (2000).

Com o intuito de aperfeiçoar as análises dos discursos para a definição dos DSC de cada grupo focal, os dados coletados foram processados e organizados com o auxílio do *software* DSCsoft versão 1.3.0.0., elaborado para o desenvolvimento de pesquisas quali-quantitativas utilizando a técnica do DSC. Com o uso desse *software* é possível extrair, de forma literal, as Expressões-chave de cada discurso e, assim, gerar as Ideias-chave correspondentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa e sua discussão são apresentados a seguir nas subitens: Registro dos relatos dos participantes dos grupos focais e Apresentação e análise dos resultados - o DSC na prática.

### Registro dos relatos dos participantes dos grupos focais

Foi de grande relevância fazer as filmagens em paralelo às anotações escritas onde refletiu os conteúdos dos relatos dos moradores participantes dos grupos focais, bem como seus comportamentos não verbais (expressões faciais, gestos etc.). Logo após cada reunião com cada grupo focal, a equipe de pesquisa resumiu as informações, as

suas impressões e as implicações das informações relevantes para analisar tendências e padrões do estudo.

## Apresentação e análise dos resultados - o DSC na prática

Para ilustrar a aplicabilidade do DSC, foram incluídos alguns dados do estudo de caso sobre importância dos rios urbanos para sociedade que teve por objetivo principal avaliar a qualidade dos rios, por meio da percepção de moradores da área de abrangência (Alto/Médio/Baixo) do curso principal do Rio Camarajipe. Todos são moradores com idade entre 20 e 65 anos, dos gêneros masculino e feminino e com amplo conhecimento prévio a respeito da realidade ambiental do Rio que passa em seu bairro e do processo histórico e atual de urbanização e degradação das margens e de todo o curso do Rio. Os grupos focais foram compostos por 8-9 pessoas, duraram em média 90 minutos e foram realizados no segundo semestre do ano de 2016.

A partir dos depoimentos/relatos dos moradores foram extraídas as ideias-chave sobre o Rio Camarajipe e os rios urbanos em Salvador e a condição para o estado ambiental dos mesmos. O Quadro 1 apresenta as ideias-chave e a ancoragem sobre o Rio Camarajipe e os rios urbanos em Salvador, na percepção dos moradores quanto à questão aqui discutida.

|              |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ideias-chave | 1  | O Rio Camarajipe, se recuperado, melhoraria a qualidade de vida dos moradores como mais uma alternativa de lazer para os moradores.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|              | 2  | O Rio Camarajipe será viável se o Poder Público oferecer mais apoio aos moradores.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|              | 3  | O Rio Camarajipe torna-se mais invisível com participação e/ou omissão dos moradores em relação a sua degradação.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|              | 4  | O Rio Camarajipe não é viável, pois a poluição do mesmo impossibilita qualquer tipo de uso consutivo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|              | 5  | O Rio Camarajipe não é viável, pois a população, Poder Público e iniciativa privada têm outros interesses.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|              | 6  | A recuperação do Rio Camarajipe, não é viável, pois os diversos tipos de uso e ocupação do solo tornam suas áreas limitadas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|              | 7  | Os impactos físicos do Rio Camarajipe, tornam sua paisagem cada vez mais distante da possibilidade de conciliação social.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|              | 8  | O Rio Camarajipe não é viável, pois não há mais vida nele.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|              | 9  | O Rio Camarajipe e suas nascentes já foram palco de um cenário poético onde a comunidade supria suas necessidades com os usos consutivos e não consutivos em função da carga cultural e pelo fato do sistema de saneamento não ser prioridade e não deter de tecnologias que abrangessem a Cidade em totalidade, na época.                                                                                                              |
|              | 10 | A poluição e degradação do Rio Camarajipe, favoreceu a sucessão da flora nativa pela predominância da vegetação terciária, que desencadeou na migração e/ou extinção da fauna silvestre.                                                                                                                                                                                                                                                |
|              | 11 | Apesar de o Rio Camarajipe ter uma importância histórica social e ecológica, a sobreposição cultural associada ao conformismo da população, catalisa a ideia de sua canalização para solucionar seu estado natural.                                                                                                                                                                                                                     |
|              | 12 | As áreas de abrangência do Rio Camarajipe onde não há construções, são consideradas pela maioria da população como "zonas de abandono" e isso favorece ações antrópicas negativas: canalizações clandestinas, descarte de resíduos sólidos, dentre outros, que trazem como consequência para a população, o desconforto ambiental, tendo os odores como principais incômodos, além da proliferação de doenças transmitidas por vetores. |
|              | 13 | As obras de contenção no Rio Camarajipe rendem vultuosas quantias e favorecem contratos com empresas de construção civil, no entanto, não solucionam o problema intrínseco da degradação do mesmo, e sim, transfere o problema para jusante.                                                                                                                                                                                            |

|                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Ancoragem para o DSC do Rio Camarajipe em Salvador-BA</b></p> | <p>Os rios urbanos de Salvador têm potencial de melhorar a qualidade ambiental e de vida dos moradores, sobretudo, no que tange as opções de lazer, saúde e paisagística da Cidade. Para isso, é necessário apoio da sociedade: moradores, comunidade acadêmica, setores público e privado, dentre outros. Os principais pontos de entrave são os espaços físicos, pois suas margens encontram-se parcialmente e/ou totalmente ocupadas por residências, pequenas indústrias, além das zonas empresariais/comércio e serviços que detêm grande parte das áreas do seguimento fluvial e, dentre essa diversidade, que remetem ao uso e ocupação do solo às margens do Rio, muitos não possuem licença ambiental, assim como, nenhum comprometimento com as consequências causadas pelos seus impactos diários. Outro fator limitante se divide em três categorias de moradores (detentores). Na primeira categoria, encontram-se os detentores locais que, apesar de terem ciência dos impactos que causam diariamente ao lançarem resíduos sólidos (domésticos e de construção) e líquidos (domésticos, comercial, industrial, dentre outros) e que a omissão dessas atividades pelos mesmos deriva da falta de informação, independentemente da qualificação escolar e/ou classe social, preferem buscar atividades mais “rentáveis, favoráveis” em prol da “comodidade”. A segunda categoria refere-se aos moradores que demonstram interesse na disposição ambientalmente adequada dos esgotos e dos resíduos sólidos gerados, no entanto, se limitam a esperar que alguma instituição do Poder Público ou do setor privado intervenha na estruturação física, educacional e socioambiental do bairro. A terceira categoria refere-se aos moradores que são atendidos pelos serviços públicos de esgotamento sanitário e de coleta de resíduos sólidos, mas também se limitam a esperar pela intervenção de que alguma instituição do Poder Público ou do setor privado. Diante da inércia de tais agentes (sociedade, Poder Público e iniciativa privada), prorroga-se o processo de degradação dos rios, tornando-os insalubres e indesejados pela sociedade.</p> |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Quadro 1: Ideias-chave e ancoragem sobre as perspectivas para o Rio Camarajipe e os rios urbanos em Salvador, na percepção dos moradores que participaram dos grupos focais  
 Fonte: Adaptado de Lefèvre, Lefèvre e Teixeira (2000).

As falas acima resumem algumas das preocupações discutidas na presente pesquisa. Os moradores, ao longo das conversas, puderam expor e perceber não só questões de narrativa, mas também as questões relacionadas às possíveis relações com os impactos e o Rio urbano em questão. Compartilharam suas experiências ao longo de décadas, algumas com maior potencial de construção, tanto de um novo olhar quanto de um posicionamento mais crítico, outras ainda persistentes na visão de utilização do Rio de acordo com as suas necessidades, não considerando o equilíbrio socioambiental e seus resultados positivos. As narrativas representaram e construíram experiência na troca de conhecimentos entre os membros de cada grupo focal.

Os moradores compreenderam que o Rio sofreu e sofre diferentes tipos de impactos, como intensa ocupação das áreas próximas ao Rio, problemas políticos, sociais e da ausência ou precariedade das ações e serviços públicos de saneamento básico. Pode-se dizer que pelo menos um terço do grupo busca outros espaços de lazer, como praias, clube ou parques, principalmente devido ao odor desagradável e ao aspecto estético, já que o Rio encontra-se muito poluído e com acúmulo visível de resíduos sólidos em alguns trechos.

No entanto, um dos principais impactos do Rio sob a vida dessas pessoas é o impacto na saúde. O estado de poluição na qual o Rio se encontra atrai vetores transmissores de doenças, como ratos e insetos, para perto do convívio humano. Essa atração, aliada às precárias ou mesmo inexistentes estruturas de saneamento básico, acabam por proporcionar um ambiente de insalubridade para a população, que fica mais exposta à doenças, como leptospirose e dengue, como foi relatado.

Os moradores deixaram bem claro a falta de apoio do Poder Público ou demais

agentes que possam contribuir para a melhoria da situação. Em alguns trechos do Rio, a prestação dos serviços públicos de esgotamento sanitário e de coleta de resíduos sólidos é quase ou mesmo inexistente e isso explica, em parte, o fato do Rio se encontrar nesse estado. Para os moradores, a falta de investimento nesses serviços deve-se ao desinteresse dos políticos profissionais, já que seriam obras pouco retornáveis de votos aos mesmos. Apontou-se também o fato de que o governo municipal vem encapsulando alguns rios da Cidade como meio de solucionar o incômodo que eles têm provocado às populações circunvizinhas, o que para alguns dos entrevistados representa o descaso dos políticos profissionais, que preferem esconder os problemas ao invés de investir na restauração dos rios.

Outros agravantes apontados para os problemas do Rio foram os maus hábitos da população que, por falta de instrução ou mesmo por descaso ou comodismo, costumam jogar seus resíduos no Rio, sem a menor preocupação: são muitos os relatos de sofás, colchões, geladeiras usadas, dentre outros objetos, que são encontrados boiando no Rio. Em alguns casos, as pessoas justificam tais atitudes pela má prestação dos serviços públicos de coleta de resíduos sólidos pela prefeitura. Em outros casos, a justificativa é basicamente por puro hábito ou mesmo descaso com o Rio. Sob essa perspectiva, apontou-se como necessária a promoção da sensibilização dos moradores visando a sua conscientização, fazendo-os perceber a importância do Rio, de mantê-lo conservado e de lutar pela restauração do mesmo.

Tuan (1980) em sua obra *Topofilia* parte das relações biológicas existentes entre os órgãos sensoriais e os gêneros das pessoas e os espaços para, em seguida, destacar a influência fundamental das culturas sobre as percepções. Assim, compreende-se que apesar de dotados de órgãos sensoriais comuns, as pessoas têm noções de mundo diferentes de acordo com a cultura na qual estão inseridas. No entanto, a criação de mundos individuais transcende a cultura, pois considera aspectos subjetivos pessoais como a experiência espacial.

Uma parte dos participantes ainda permanece, de certa forma, muito interessada no processo de restauração do Rio. Alguns dos participantes mostraram-se descrentes quanto a essa possibilidade de restauração e acreditam que o Rio está “morto”. Outros, por sua vez, conseguem enxergar nos poucos seres vivos que ainda habitam o Rio o potencial de trazê-lo de volta e de restaurar, assim, a sua área de entorno.

Nesse sentido, um dos objetivos do grupo focal foi dar um “pontapé inicial” para que os moradores encontrassem motivação e algum conhecimento prévio para que possam buscar novos horizontes e construir coletivamente e com apoio do Poder Público ações de melhoria nas condições de convivência dos espaços, para as gerações atuais e futuras, sendo que os resultados da pesquisa foram retornados para os moradores.

## CONCLUSÃO

A análise das discussões promovidas pelos grupos focais permitiu concluir que a atual condição do Rio Camarajipe impacta negativamente a população que reside no seu entorno, em especial nos aspectos da saúde e do conforto ambiental. Apesar de apresentarem posturas distintas, os grupos focais apontaram tanto a sociedade, com seus conhecimentos, atitudes e práticas, nem sempre adequados, e pouca mobilização, quanto o Poder Público, com uma gestão na qual os interesses políticos partidários sobrepõem os interesses socioambientais, como responsáveis pela degradação do Rio.

Assim, faz-se necessário uma mudança de atitude da sociedade e do Poder Público em relação aos rios urbanos de Salvador, e em especial ao Rio Camarajipe, resgatando os mesmos como parte do tecido urbano da Cidade, por meio de ações estruturais e estruturantes diversas e de investimentos, visando a restauração dos mesmos, o que deve ser feito com participação e controle social, para garantir a efetividade das ações.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. Q.; CORRÊA, A. C. B. Dimensões da negação dos rios urbanos nas metrópoles brasileiras: o caso da ocupação da rede de drenagem da planície do Recife, Brasil. **Geo UERJ**, v. 1, n. 23, p. 114-135, 2012.
- ANDRADE, A. B.; BRANDÃO, P. R. B. **Geografia de Salvador**. 2.ed. Salvador: Edufba, 2009.
- CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (Ed.). **Salvador: transformações na ordem urbana**. Salvador: Letra Capital Editora Ltda., 2014.
- DIAS, C. A. GRUPO FOCAL: técnica de coleta de dados em pesquisas qualitativas. **Informação & Sociedade: Estudos**, v. 10, n. 2, p. 1-12, 2000.
- FAGGIONATO, S. Percepção ambiental. **Materiais e Textos**, n. 4, 2005. Disponível em: [http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m\\_a\\_txt4.html](http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt4.html). Acesso em: 17 fev. 2017.
- FIGUEIREDO, M. Z. A.; CHIARI, B. M.; GOULART, B. N. G. Discurso do Sujeito Coletivo: uma breve introdução à ferramenta de pesquisa quali-quantitativa. **Distúrbios da Comunicação**, São Paulo, v.25, n.1, p.129-136, abr. 2013.
- HUGHES, R. M.; DUNHAM, S.; MAAS-HEBNER, K. G.; YEAKLEY, J. A.; SCHRECK, C.B. A review of urban water body challenges and approaches: (1) rehabilitation and remediation. **Fisheries**, v. 39, n. 1, 2014, p. 18-29.
- LEFÈVRE, F.; LEFÈVRE, A. M.; TEIXEIRA, J. J. V. O discurso do sujeito coletivo: uma nova abordagem metodológica em pesquisa qualitativa. Caxias do Sul: EducS, 2000.
- MELO, V.M. Dinâmica das paisagens de rios urbanos. In: Encontro Nacional da ANPUR, 11., 2005, Recife. **Anais...** Recife: ANPUR, 2005.

MORAES, L. R. S.; SANTOS, M. E. P.; PINHO, J. A. G.; ROSSI, R. Caminho das águas em Salvador e suas diferentes dimensões. **Politécnica: Revista do Instituto Politécnico da Bahia.**, Salvador, v. 3, n. 8, p. 29-35, out. 2015.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Abes, 1995.

OKAMOTO, J. **Percepção ambiental e comportamento.** São Paulo: Makenzie, 2003.

RESSEL, L. B.; BECK, C. L. C.; GUALDA, D. M. R.; HOFFMANN, I. C.; SILVA, R. M.; SEHNEM, G. D. O uso de grupo focal em pesquisa qualitativa. **Texto Contexto Enferm.**, Florianópolis, v.17, n. 4, p. 779-786, out./dez. 2008.

SAKAI, D. I. S.; FROTA, J. A. D'A. Águas Urbanas: Caminhos Para um Resgate. In: Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restroções Ambientais em Parcelamento do Solo, 3., 2014, Belém. **Anais eletrônicos...** Belém: UFPA, 2014.

SANTOS, E.; PINHO, J. A. G.; MORAES, L. R. S.; FISCHER, T. **O caminho das águas em Salvador:** bacias hidrográficas, bairros e fontes. Salvador: CIAGS/UFBA; SEMA, 2010.

SANTOS, M. E. P.; MORAES, L. R. S.; SAMPAIO, R. M. ROSSI, R. A.; OLIVEIRA, M. T. C. S.; CASTRO, R. A Construção de um Sistema de Indicadores Urbano-Ambientais como Instrumento de Política Urbano-Ambiental: a Experiência do Dique de Campinas em Salvador-Bahia. In: Encontro Nacional da ANPAD, 29., 2005, Brasília-DF. **Anais...** Brasília: Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, 2005. v.1. p. 1-16.

TUAN, Yi-Fu. **Topofilia:** um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente. São Paulo: DIFEL, 1980.

UNESCO. **Água para um mundo sustentável: Sumário Executivo.** Perugia: WWDR, 2015.



# AÇÕES PARA REDUÇÃO DE INADIMPLÊNCIA

---

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Gabriel Eustáquio Elias**

Bacharel em Administração pela Universidade Santo Amaro. Pós graduando em Gestão Estratégica de Pessoas pelo INEX. MBA em Gestão de Negócios. Agente de Saneamento da COPASA-MG.

### **Wilson Ribeiro dos Santos**

Técnico em Contabilidade. Agente de Saneamento da COPASA-MG.

### **Antonio Maximiano Pedro**

Técnico em Contabilidade. Agente de Saneamento da COPASA-MG.

### **Lucimilia Pereira Marques**

Técnico em Contabilidade, Agente de Saneamento da COPASA-MG.

**RESUMO:** Conseguir receber por todos os serviços prestados e faturados e no menor prazo possível é importante para a perenidade de toda empresa. Quando falamos de empresas de saneamento, é imprescindível manter os índices de inadimplência em níveis controlados, principalmente em empresas que não possuem subsídios tarifários e sua única fonte de receita são as faturas mensais de

consumo e serviços tarifados emitidas a seus clientes. Níveis elevados de evasão de receitas neste setor podem levar ao endividamento da empresa e interferir na continuidade do abastecimento a população, na capacidade de investimento e melhorias necessárias a expansão do setor e no alcance das metas de universalização do saneamento. Acompanhar o número de clientes/imóveis inadimplentes e propor um Plano de Ação exequível, ajuda a controlar o nível de evasão de receitas. Mudar a forma de abordagem ao cliente, disponibilizando novos canais de contato, dando mais oportunidade e condições de regularização da situação de débito, pode trazer resultados satisfatórios, como os descritos neste artigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inadimplência no setor de Saneamento, Negociação de dívidas.

## **INTRODUÇÃO**

O controle da inadimplência sempre foi uma questão fundamental para a sobrevivência das empresas em um mercado cada vez mais competitivo. Aliar os baixos índices de inadimplência à

manutenção da fidelidade dos clientes é um desafio que exige criatividade e ações de curto e médio prazos. Somado a isso, há que se considerar fatores externos adversos, como foi o advento da Covid-19.

Desde o início da pandemia, as empresas do setor de saneamento públicas e privadas já registravam uma elevação da inadimplência de quase 25% de seus consumidores. Sendo que no caso das estatais, que respondem pela maior parte de prestação do serviço no país, a taxa média era de 23,91%, com variação entre 12,93% e 31,7% a depender da região, segundo a AESBE. Com isso, novas formas de negociação de débitos se mostraram de suma importância para manter a saúde financeira das empresas, já que não foram abertas novas linhas de crédito para suportar as despesas operacionais e investimentos.

Além disso, empresas pararam de cortar água dos inadimplentes, e o consumo residencial se elevou, em razão das pessoas estarem mais em casa, adotando as medidas sanitárias e outras atividades que exigiam maior frequência do uso de água, como, por exemplo, higienização das mãos e preparo de refeições. Neste cenário, a Unidade de Negócios Oeste (UNOE) buscou aliar o recebimento dos débitos com a satisfação dos clientes com a continuidade do fornecimento de água em suas residências, uma vez que os níveis de desemprego já apresentavam elevações, em razão do *lockdown*, e levou ao endividamento das famílias brasileiras e, por consequência, o aumento da inadimplência no setor de saneamento.

Em média 80% dos clientes inadimplentes quitam seus débitos após a suspensão do serviço, porém, no período pandêmico, uma das medias adotadas para o enfrentamento da Covid-19 foi a não interrupção do serviço por motivo de inadimplência. Frente a isso, foram discutidas opções de efetuar a cobrança de forma a receber pelos serviços e causar menor impacto no orçamento doméstico, e também no equilíbrio econômico financeiro da Companhia. A Equipe Comercial (ECO) da UNOE, abraçou esse desafio, mostrando uma capacidade de adaptação rápida, motivada por uma situação inesperada (Covid-19), e conseguiu resultados além do inicialmente esperado.

## OBJETIVOS

Manter a inadimplência sob controle, evitando seu crescimento para não causar impacto negativo para a Companhia e, ao mesmo tempo, assegurar a satisfação dos clientes com a continuidade da prestação dos serviços de abastecimento. Inadimplência mantida dentro de patamares controlados é fundamental para que empresas possam planejar e cumprir seus cronogramas de custeio e investimentos em melhorias de processos, novos produtos e serviços. Na UNOE, onde aplicamos as ações descritas, o montante da inadimplência era de R\$ 11.579.691,00 e representava 3,01% do valor faturado nos últimos 12 meses.

O acompanhamento e controle da cadeia de cobrança dos clientes/imóveis em

situação real de água, diariamente, por gerência, a partir da emissão dos relatórios de Aviso de Débito, permitiu identificar os débitos não solucionados, com ações de cobrança automática pela plataforma Sistema Comercial (SICOM), seguida de cobrança por Comunicações Externas (carta administrativa) e Cobrança Administrativa por empresa contratada.

Com a pandemia da Covid-19, por força de Decreto Estadual, ficou estabelecido o fechamento das Agências de Atendimento presenciais, a paralização das visitas aos imóveis para negociação de débitos e a realização do corte do fornecimento de água. Assim, foi necessário encontrar novos meios para fazer a cobrança e permitir acesso ao cliente a canais de negociação, visando manter o indicador sob controle.

Alinhado ao mapa estratégico, dentro da perspectiva sustentabilidade, as ações para o controle da inadimplência, estão diretamente associadas aos objetivos “Assegurar o equilíbrio econômico-financeiro” e “Transformar a experiência do Cliente”.

Normalmente, a implantação de novos projetos, práticas, processo e programas via de regra iniciam com “o que fazer” e “como fazer”. Porém em razão do cenário externo a prática iniciou pelo “porque fazer”, levando a equipe à necessidade de mudar e evoluir de forma inclusiva em todos os níveis, para se adequar a um novo ambiente no setor e no mercado.

## METODOLOGIA

Utilizamos o PDCL (*Plan, Do, Check, Learn*), tendo como orientador o PGP-DRM-033/2 que norteia as diretrizes para ações de cobrança da Companhia.

Inicialmente, a ECO fez o monitoramento semanal dos débitos da UNOE. Depois passou a ser mensal, a fim de ter maior amplitude entre as ações planejadas e as realizadas, objetivando avaliar a eficácia dessas ações. O planejamento das ações começou com o levantamento do percentual de inadimplência e de relatórios dos valores pendentes de pagamento, seguido da definição de clientes-alvo.

Após discussões nas reuniões, a partir do resultado do indicador e da análise de situações como as que durante os primeiros meses do *lockdown* o ponto de serviço dos clientes não podia ser suspenso, seguida da prorrogação de vencimento das faturas dos clientes da categoria Comercial, a ECO iniciou o trabalho com o envio sistêmico de cartas-cobrança informando o valor do débito, as formas de negociação e os canais disponíveis para efetivar a negociação e esclarecer dúvidas. Também definiu pela realização de Campanhas Especiais para negociação de débitos, bem como a divulgação das condições de negociação na mídia local e nos canais de atendimento. Dentre as ações a que mais surtiu efeito foi o envio de carta-cobrança para os clientes das categorias Residenciais e Comerciais e imóveis da categoria Pública não centralizados, todos com débitos a partir de R\$ 1.000,00.

Ações implementadas, fruto do acompanhamento feito nas reuniões periódicas de análise crítica da ECO:

- Acompanhamento diário dos débitos, de maneira a conferir maior celeridade ao processo;
- Implantação da Ordem de Serviço de Suspensão (alerta de corte), a partir de março/2021, para os débitos acima de R\$499,99;
- Acompanhamento por meio de relatórios de débitos, disponibilizados no Business Intelligence (BI), para emissão das cartas-cobrança para envio aos clientes. A quitação/negociação dos débitos era verificada no SICOM e no acompanhamento da evolução de indicadores de desempenho no BI;
- Treinamentos para Leituristas e Atendentes Comerciais, para realizar transações na plataforma SICOM e *Customer Relationship Management* (CRM);
- Disponibilização do *Webchat*, *WhatsApp*, atendimento virtual pelo site da COPASA MG e do aplicativo para solicitação de serviços, para serem utilizados pelos clientes, a partir de junho/2021.
- Adesão a campanhas especiais de negociação de débitos implantadas em nível corporativo, “Fique em Dia” e “Dias Azuis”, promovendo a ampla divulgação dos períodos de negociação em condições especiais nos meios de comunicação local e canais de atendimento da Companhia.

A ECO também orientou os Leituristas a prestar informações sobre a prática sempre que questionados pelos clientes no momento da execução da leitura.

Nas reuniões mensais a ECO, avaliando os resultados do indicador, verificava as alterações e ajustava o plano de ação para corrigir distorções ou melhorar os resultados positivos. A cada obstáculo encontrado, a equipe analisava criticamente a situação e realiza as mudanças necessárias, sempre alinhadas ao objetivo estratégico de “Transformar a Experiência do Cliente”.

Resumidamente, nas reuniões, a ECO analisa os motivos que impulsionam a inadimplência, a segmentação com maiores débitos (Residencial, Pública, Industrial e Tarifa Social) e as possibilidades de ampliar as formas de pagamento (a vista, parcelado, pix, cartão de crédito), além de definir o alvo a ser trabalhado e oferecer ao cliente uma área acessível e intuitiva para negociar os débitos.

## RESULTADOS OBTIDOS

Iniciando no segundo semestre de 2020 após a definição de estratégias de atuação e desenho do fluxo de negociações *on-line* para os clientes, foram elaboradas e enviadas em lotes as cartas-cobrança para os clientes definidos como alvo. As ações levaram a um volume de negociações com clientes, pessoa física, que chegaram ao montante de R\$ 2.296.980,79, representando 40,6% do montante original de R\$ 5.655.566,97. Foram

enviadas 2.585 cartas-cobrança. Já no início de 2021 notamos o impacto no percentual de clientes inadimplentes, quando o resultado mensal ficou abaixo da média anual, ao longo de todo ano de 2021. Mesmo com o avanço dos casos de Covid-19, ainda com medidas restritivas para a circulação de pessoas e realização de eventos e atividades considerados não essenciais, as ações de incentivo ao cliente permanecer adimplente continuaram tendo efeito positivo. Os débitos de pessoas jurídicas tiveram um tratamento especial e resultaram também em recuperação considerável, como a negociação do débito de Prefeitura Municipal no valor de R\$ 2.027.534,00.

Com a aplicação de uma prática simples tivemos uma redução ao longo de 2 anos de 2,94% para 1,55%. Do ponto de vista da sociedade, o nível de evasão de receitas sendo baixo e controlado, contribui para a empresa pagar em dia seus fornecedores, o que garante todos os insumos necessários para as atividades de tratamento e distribuição da água, promovendo, assim, a continuidade do serviço de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos.

A Tabela 1 mostra os índices de inadimplência na UNOE no início do período pandêmico. A Tabela 2 traz o resultado da Unidade ao final de 2021, já com as práticas consolidas.

| <b>Faturamento acumulado 12 meses(R\$)</b> | <b>Debito 90 a 359 dias (R\$)</b> | <b>Inadimplência (%)</b> |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 384.610.168,83                             | 11.578.691,68                     | 3,01                     |

Tabela 1: Inadimplência UNOE Janeiro 2020.

| <b>Faturamento acumulado 12 meses(R\$)</b> | <b>Debito 90 a 359 dias (R\$)</b> | <b>Inadimplência (%)</b> |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 452.419.662,08                             | 7.158.684,23                      | 1,58                     |

Tabela 2: Inadimplência UNOE Dezembro 2021

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A ECO, inicialmente, fazia o monitoramento semanal dos débitos pendentes, definindo por concentrar os esforços de cobrança nos clientes com débitos superiores a R\$1.000,00 e nos órgãos públicos que não tinham as faturas centralizadas. Para superar o impedimento de contato direto, essas cobranças foram feitas por meio de cartas personalizadas, abordando o cliente de uma forma diferente do habitual, convidando-o a regularizar seus débitos para evitar o acúmulo de faturas vencidas em seu nome e a incidência de multa, juros e atualizações monetárias. Ao mesmo tempo, divulgou os canais virtuais disponíveis para a negociação desses débitos, facilitando e agilizando o contato do cliente com a COPASA MG, garantindo também as medidas de contenção e enfrentamento à Covid-19, que as circunstâncias exigiam. Essas ações trouxeram resultados além do esperado.

Diante dos bons resultados, outras ações foram implementadas, como a realização do corte utilizando fita adesiva para bloquear o fluxo de água do registro, de maneira que o próprio cliente pode realizar a religação após a regularização do débito e o acompanhamento diário dos débitos com emissão de alerta para os encarregados comerciais de cada gerência. Isso contribuiu para que o percentual de inadimplência alcançasse o menor índice em três anos. A partir do ano de 2021 o processo foi aprimorado com o envio de alertas de débitos para os clientes por SMS e também por telefone.

As campanhas especiais implementadas pela COPASA MG, para negociação de valores pendentes, como a campanha “Dias Azuis”, contribuiu para o controle da inadimplência da UNOE, que alcançou 72,5% da meta de negociação proposta pela Companhia.

As ações de cobrança levam em conta a segmentação dos clientes pelas categorias de uso Industrial, Público, Comercial, Residencial e Tarifa Social, disponibilizando, de acordo com a capacidade de pagamento de cada cliente, condições atrativas. Por exemplo, clientes cadastrados na categoria Tarifa Social têm condições mais acessíveis de pagamento durante todo o ano, e durante as campanhas de negociação tem uma redução no percentual de entrada e prazo de financiamento mais dilatado, proporcionando melhoria nos resultados das ações de cobrança e apuração da inadimplência.

Na tabela 3 estão estratificadas a quantidade de cartas enviadas para os clientes-alvo em cada gerência da UNOE, e os resultados em R\$ e % dos débitos negociados a partir da iniciativa.

| Gerência    | Debito Total (R\$)  | Valor Negociado(R\$) | % Negociado | Cartas Enviadas |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------|-----------------|
| GRAX        | 1.005.596,32        | 354.704,94           | 35,2        | 471             |
| GRFL        | 1.644.428,75        | 932.160,79           | 56,7        | 820             |
| GRPM        | 3.005.541,90        | 1.010.115,10         | 33,6        | 1294            |
| <b>UNOE</b> | <b>5.655.566,97</b> | <b>2.296.980,79</b>  | <b>40,6</b> | <b>2585</b>     |

Tabela 3: Valores negociados após o envio de cartas aos clientes Residencial e Comercial

A figura 1 contém resultados comparativos entre os meses, onde vemos a evolução e eficiência das práticas implementadas para o controle do nível de inadimplência.

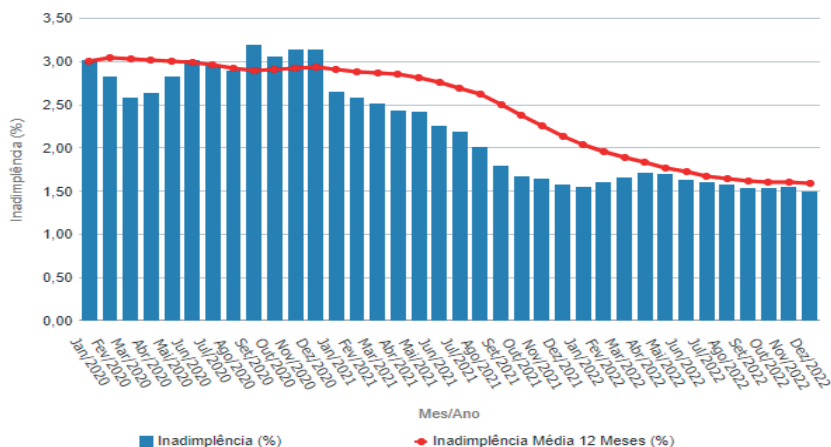


Figura 1: Evolução do Índice de Inadimplência na UNOE

A Figura 2 mostra os resultados de cada Unidade de Negócio da Companhia apurado em Março de 2023.

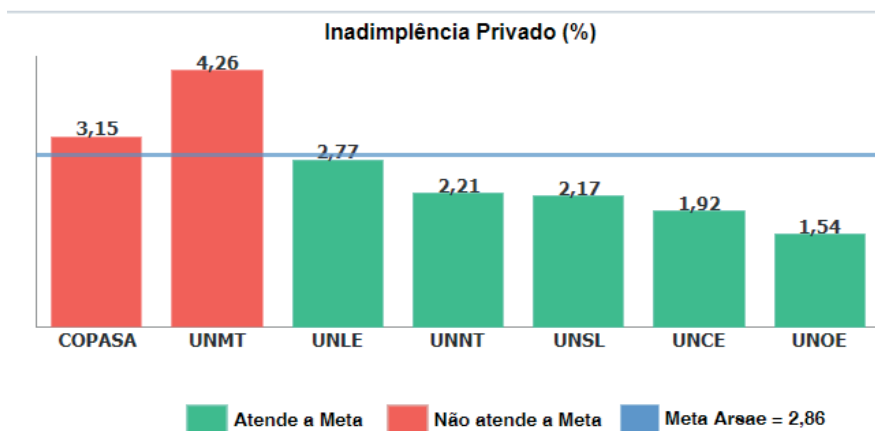


Figura 2: Indicador de inadimplência em Março/2023 comparativo entre Unidades de negócio da Companhia

## CONCLUSÕES

Durante o processo de acompanhamento e avaliação da prática, ficou evidenciado que antes da implantação da gestão integrada dos serviços comerciais e da criação da ECO, as ações eram pulverizadas e com resposta lenta ou passiva. A integração das ações mostrou ser uma lição favorável, pois proporcionou amadurecimento e constância de propósito. Entretanto, a maior lição aprendida foi que o compartilhamento de ideias e a mudança de paradigmas possibilitam a proximidade de colaboradores, reforçando o

conceito de trabalho em equipe com o propósito principal de atender bem o cliente, centro da Declaração Estratégica da Companhia.

A prática “Redução da Inadimplência na UNOE” auxilia nos demais processos das áreas comerciais, padronizando a gestão e otimizando o tratamento das demandas dos clientes, visando ao alcance dos objetivos organizacionais, metas e resultados, a partir da integração das equipes comerciais de todas as Gerências da UNOE.

Constatamos que uma abordagem diferenciada e personalizada, somada a um número maior de interações durante um ciclo e diversificação dos canais de relacionamento Cliente/Empresa, pode trazer resultados positivos, fortalecendo vínculos e criando valor para clientes e comunidade em que estamos inseridos.

## REFERÊNCIAS

1. RIBEIRO, A. D. S. *Recuperação Dos Clientes No Sistema De Cobrança De Uma Empresa De Saneamento* – anribeiro@aguasdoparaiba.com.br
2. RESOLUÇÃO ARSAE-MG 131/2019 de 11 de Novembro de 2019
3. NASCIMENTO, D. C. O. UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES –UCAM denise\_cristina@yahoo.com.br
4. FERREIRA, A. da S. UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE- EFF ailtonsilvaferreira@yahoo.com.br
5. ZOOP <https://zoop.com.br/blog/pagamento/como-reduzir-inadimplencia/> acesso em 15/06/2020
6. AESBE- Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento acesso ao site <https://aesbe.org.br/novo/saneamento-ja-tem-quase-25-de-inadimplencia/> acesso em 15/06/2020
7. PGP-DRM-033/2 Padrão Gerencial/ Ações de Cobrança
8. CAPODEFERRO, M. W. e SMIDERLE, J.J. *A Resposta do setor de Saneamento no Brasil à COVID-19*.



# COBRANÇA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO PELO USO DA ÁGUA NO BRASIL: VALORAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Inaldo de Souza Albuquerque**

Mestrando da Universidade do Estado do Amazonas-UEA, Escola Normal Superior, Av. Djalma Batista, 2470- Chapada, CEP: 69050-300, Manaus – AM  
<http://lattes.cnpq.br/5353180254875709>

### **Simone de Souza Albuquerque**

Graduada em Normal Superior pela Universidade do Estado do Amazonas–UEA, Centro de Estudos Superiores de Parintins/UEA, Estrada Odovaldo Novo, S/N, Dejard Vieira – 69.150-000-Parintins-AM  
<http://lattes.cnpq.br/3112326723046022>

### **João D' Anúzio Menezes de Azevedo Filho**

Professor Doutor da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Centro de Estudos Superiores de Parintins/UEA, Estrada Odovaldo Novo, S/N, Dejard Vieira – 69.150-000-Parintins-AM  
<https://www.escavador.com/sobre/7958609/joao-d-anuzio-menezes-de-azevedo-filho>

**RESUMO** - Segundo projeções do IBGE, o Brasil em 2020, tinha uma população de 211,8 milhões de habitantes e em 2021 passou para 213,3 milhões em 01 de julho

de 2021. Um crescimento populacional considerável, se for levado em consideração a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE dos últimos 10 anos que era de 189,6 milhões habitantes no país. Esse trabalho, objetiva fazer um breve panorama da implementação da cobrança pelo uso da água no Brasil e resultados preliminares após a implementação da cobrança, levando em consideração os aspectos históricos legais, bem como a implementação inserção da cobrança pelo uso da água em Bacias estaduais e interestaduais do país.

**PALAVRAS-CHAVE** – Recursos Hídricos, Lei das Águas, Governança.

**ABSTRACT** - According to IBGE projections, Brazil in 2020 had a population of 211.8 million inhabitants and in 2021 it increased to 213.3 million on July 1, 2021. A considerable population growth, if the Institute's estimate is taken into account Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE of the last 10 years which was 189.6 million inhabitants in the country. This work aims to make a brief overview of the implementation of the charge for the use of water in Brazil and preliminary results after the implementation of the charge, taking into account the legal historical aspects, as well

as the implementation of the insertion of the charge for the use of water in state basins and country's interstates.

**KEYWORDS:** Water resources, Law of Waters, Governance

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, como já estimado pelo IBGE, houve um grande salto no crescimento populacional no Brasil. Esse aumento da população brasileira, ocasiona um consumo cada vez maior dos recursos naturais do país, e consequentemente, um maior uso dos recursos hídricos, por estar envolvido em todos os âmbitos das atividades humanas.

A gestão de recurso hídrico no Brasil é implementada Política Nacional de Recursos Hídricos- PNRH, instituída pela Lei nº 9.433/97. A PNRH, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos- SINGHER. O Sistema, é composto por um conjunto de órgãos que auxiliam na gestão da água a Luz da Lei das Águas.

Dentre os instrumentos de gestão disciplinados na PNRH, a Cobrança pelo uso de recursos hídricos é um dos maiores desafios para do país, haja vista que, o Brasil compreende um território com extensão 8.515.759,090 km<sup>2</sup>, com diversidades culturais, socioeconômicas e ambientais muito diversificadas.

Os valores arrecadados pela Cobrança de uso dos recursos hídricos, compete à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, criada pela Lei nº 9.984/00, arrecadar e repassar à Agência de Água da bacia, ou à entidade delegatária de funções de Agência de Água, conforme determina a Lei nº 10.881/04.

A Lei das Águas, no art. 1º, trata dos fundamentos, dentre eles é descrito “a água como um bem de domínio público; recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Por tanto, valorando a água, sustentando a implantação do IV Instrumento da Política Nacional de Recurso Hídricos Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos como instrumento de gestão política para as águas.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico ressalta que (ANA, 2022) “A Cobrança não é um imposto, mas uma remuneração pelo uso de um bem público, cujo preço é fixado a partir da participação dos usuários da água, da sociedade civil e do poder público no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica – CBHs “

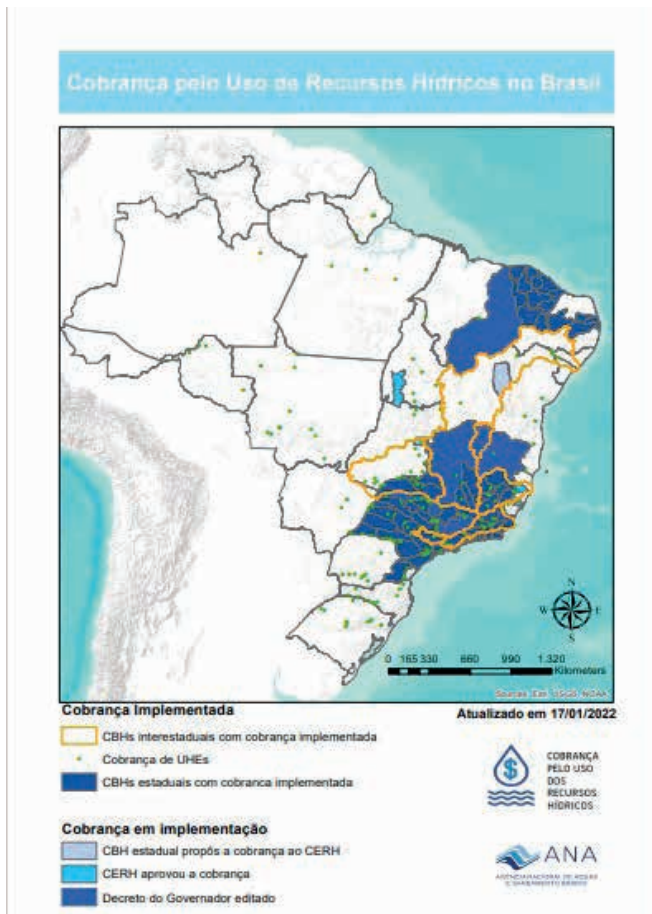
A distribuição hídrica do país é desproporcional nas 12 regiões hidrográficas estabelecidas pela PNRH. De um lado, a densidade demográfica muito grande e pouca disponibilidade hídrica, como o é caso das regiões hidrográficas do Nordeste (população 27,3% - água 3%), por outro lado, bacia hidrográfica amazônica (população 8,6% - água 68%). Este trabalho, objetiva fazer um breve panorama da implementação da cobrança pelo uso da água no Brasil e resultados preliminares após a implementação, inserção da cobrança pelo uso da água em Bacias estaduais e interestaduais.

## METODOLOGIA

Este trabalho é resultado de pesquisas feitas sobre a implementação do Instrumento de Cobrança no Brasil. Os dados foram obtidos por meio do portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), agência que faz a relação da a regulação da água no Brasil.

A figura 1, apresenta os estados brasileiros em que a ANA já atua com a implementação da cobrança pelo uso dos recursos Hídricos em atividades até ano de 2022.

O relatório é divulgado anualmente pela Agência Nacional de Águas-ANA, aponta cobranças em execução nas bacias hidrográficas interestaduais. e bacias hidrográficas de domínio estaduais.



**Figura 1:** Mapa de cobrança de água no Brasil

Fonte: ANA, 2022.

Os dados trabalhados para o resultado desse estudo, são dados referentes aos rios de domínio do Estado do Rio de Janeiro, Estado de São Paulo, Estado de Minas Gerais,

Estado do Paraná, Estado da Paraíba e Estado do Ceará e rios interestaduais, esses, dominados pela União.

### COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NO BRASIL

As políticas públicas no âmbito dos Recursos Hídricos no Brasil, especialmente no aspecto da cobrança pelo uso, têm se mostrado muito tímido em relação a efetivação de arcabouços legais deferidos a mais uma década por meio da Lei 9.433/97 (Lei das Águas). A execução do Instrumento de Cobrança pelo uso da água disciplinado na Política Nacional de Recursos hídricos, ainda é um fator de difícil aceitação entre os atores usuários de água. O quadro 1 faz uma amostragem de valores cobrados e valores arrecadados pela cobrança de uso dos recursos no ano de 2021.

As informações quanto valores cobrados e arrecadados, estão restritos apenas nos estados Estado do Rio de Janeiro, Estado de São Paulo, Estado de Minas Gerais, Estado do Paraná, Estado da Paraíba e Estado do Ceará e rios interestaduais, como mostra o quadro 1, pelo motivo do relatório anual disponibilizado pela agência está disponibilizando somente esses dados.

| Bacia Hidrográfica |                                            | Domínio | Início | 2021    |            | TOTAL    |            |
|--------------------|--------------------------------------------|---------|--------|---------|------------|----------|------------|
|                    |                                            |         |        | Cobrado | Arrecadado | Cobrado  | Arrecadado |
| INTERESTADUAL      | Paraíba do Sul (CEIVAP)                    | União   | mar/03 | 22,76   | 21,85      | 228,83   | 222,51     |
|                    | Piracicaba, Capivari, Jundiá (Comitês PCJ) | União   | jan/06 | 23,52   | 25,32      | 297,00   | 257,69     |
|                    | São Francisco (CBHSF)                      | União   | jul/10 | 39,87   | 32,17      | 318,20   | 283,34     |
|                    | Doce (CBH-Doce)                            | União   | nov/11 | 13,59   | 12,03      | 116,67   | 101,10     |
|                    | Paranaíba (CBH Paranaíba)                  | União   | mar/17 | 12,49   | 11,23      | 39,95    | 36,46      |
|                    | Verde Grande (CBH Verde Grande)            | União   | abr/17 | 0,14    | 0,13       | 0,61     | 0,52       |
|                    | TOTAL INTERESTADUAL                        |         |        | 112,38  | 102,73     | 1.001,26 | 901,61     |

|                |                                            |    |        |        |        |          |          |
|----------------|--------------------------------------------|----|--------|--------|--------|----------|----------|
| CEARÁ          | Em todas as bacias hidrográficas do Estado | CE | nov/96 |        |        | 148,19   | 136,98   |
|                | Coreaú                                     | CE | nov/96 | 0,32   | 0,31   | 4,32     | 2,76     |
|                | Acaraú                                     | CE | nov/96 | 4,03   | 3,95   | 29,05    | 27,99    |
|                | Litoral                                    | CE | nov/96 | 0,94   | 0,82   | 8,80     | 8,57     |
|                | Curu                                       | CE | nov/96 | 2,24   | 2,07   | 9,87     | 8,18     |
|                | Metropolitana                              | CE | nov/96 | 187,38 | 186,64 | 1.281,95 | 1.263,60 |
|                | Baixo Jaguaribe                            | CE | nov/96 | 2,20   | 2,06   | 7,14     | 7,16     |
|                | Parnaíba (Sertão Crateús e Serra Ibiapaba) | CE | nov/96 | 1,37   | 1,33   | 12,77    | 11,83    |
|                | Banabuiú                                   | CE | nov/96 | 1,24   | 1,18   | 9,67     | 9,66     |
|                | Médio Jaguaribe                            | CE | nov/96 | 2,88   | 2,65   | 26,85    | 25,52    |
|                | Alto Jaguaribe                             | CE | nov/96 | 1,34   | 1,32   | 10,93    | 10,08    |
|                | Salgado                                    | CE | nov/96 | 5,17   | 4,93   | 37,80    | 32,90    |
|                | Total CE                                   |    |        | 209,11 | 207,28 | 1.587,35 | 1.545,21 |
| RIO DE JANEIRO | Médio Paraíba do Sul                       | RJ | jan/04 | 1,66   | 1,28   | 17,72    | 14,84    |
|                | Piabanha                                   | RJ | jan/04 | 1,58   | 1,59   | 13,57    | 13,88    |
|                | Rio Dois Rios                              | RJ | jan/04 | 1,68   | 1,66   | 12,11    | 12,62    |
|                | Baixo Paraíba do Sul                       | RJ | jan/04 | 1,30   | 1,28   | 7,58     | 7,63     |
|                | Baía de Guanabara                          | RJ | mar/04 | 10,59  | 10,07  | 76,48    | 73,40    |
|                | Baía da Ilha Grande                        | RJ | mar/04 | 0,92   | 0,90   | 6,14     | 6,57     |
|                | Guandu                                     | RJ | mar/04 | 42,41  | 39,49  | 391,94   | 349,42   |
|                | Itabapoana                                 | RJ | mar/04 | 0,11   | 0,10   | 1,09     | 1,02     |
|                | Lagos São João                             | RJ | mar/04 | 2,60   | 2,46   | 22,83    | 23,51    |
|                | Macaé e Rio das Ostras                     | RJ | mar/04 | 2,53   | 2,59   | 21,05    | 22,47    |
|                | Total RJ                                   |    |        | 65,38  | 61,42  | 570,52   | 525,36   |

|           |                                 |    |        |        |        |          |          |
|-----------|---------------------------------|----|--------|--------|--------|----------|----------|
| SÃO PAULO | Paraíba do Sul                  | SP | jan/07 | 14,67  | 14,47  | 87,59    | 86,19    |
|           | PCJ (paulista)                  | SP | jan/07 | 24,09  | 21,83  | 266,43   | 256,45   |
|           | Sorocaba e Médio Tietê          | SP | ago/10 | 10,72  | 10,65  | 94,94    | 86,20    |
|           | Baixada Santista                | SP | jan/12 | 7,16   | 7,17   | 85,60    | 86,50    |
|           | Baixo Tietê                     | SP | jun/13 | 6,55   | 4,08   | 54,17    | 36,48    |
|           | Alto Tietê                      | SP | jan/14 | 56,00  | 54,99  | 299,24   | 295,23   |
|           | Tietê Jacaré                    | SP | ago/16 | 10,69  | 9,75   | 45,79    | 40,46    |
|           | Tietê Batalha                   | SP | mai/16 | 4,29   | 3,48   | 18,33    | 15,82    |
|           | Ribeira de Iguape e Litoral Sul | SP | ago/16 | 6,84   | 6,82   | 24,82    | 24,79    |
|           | Pardo                           | SP | ago/17 | 7,52   | 7,06   | 28,68    | 23,41    |
|           | Baixo Pardo/ Grande             | SP | out/17 | 3,85   | 3,99   | 14,13    | 10,47    |
|           | Sapucaí-Mirim/ Grande           | SP | out/17 | 3,14   | 2,49   | 10,66    | 7,90     |
|           | Mogi                            | SP | nov/17 | 8,12   | 7,18   | 31,30    | 23,30    |
|           | Serra da Mantiqueira            | SP | jan/18 | 0,18   | 0,17   | 0,65     | 0,62     |
|           | Turvo Grande                    | SP | abr/18 | 4,88   | 5,03   | 16,38    | 14,98    |
|           | Pontal do Paranapanema          | SP | jun/18 | 2,52   | 2,11   | 6,08     | 4,57     |
|           | Médio Paranapanema              | SP | jul/18 | 4,27   | 3,65   | 10,30    | 9,15     |
|           | Aguapeí/Peixe                   | SP | nov/18 | 4,97   | 4,71   | 12,64    | 11,22    |
|           | Alto Paranapanema               | SP | nov/19 | 2,13   | 1,61   | 3,71     | 3,07     |
|           | Total SP                        |    |        | 183,19 | 171,77 | 1.112,03 | 1.037,33 |

|                                                   |                 |                                         |        |        |        |          |          |
|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|----------|----------|
| MINAS GERAIS                                      | PJ              | MG                                      | jan/10 | 0,07   | 0,05   | 1,27     | 1,23     |
|                                                   | das Velhas      | MG                                      | jan/10 | 10,24  | 8,22   | 123,57   | 101,06   |
|                                                   | Araguari        | MG                                      | jan/10 | 6,89   | 2,70   | 67,42    | 58,96    |
|                                                   | Piranga         | MG                                      | jan/12 | 1,95   | 1,06   | 35,85    | 29,96    |
|                                                   | Piracicaba      | MG                                      | jan/12 | 5,52   | 4,49   | 93,13    | 89,78    |
|                                                   | Santo Antônio   | MG                                      | jan/12 | 1,74   | 1,07   | 24,36    | 23,00    |
|                                                   | Suaçuí          | MG                                      | jan/12 | 1,63   | 0,39   | 12,13    | 6,85     |
|                                                   | Caratinga       | MG                                      | jan/12 | 0,41   | 0,28   | 10,04    | 7,12     |
|                                                   | Manhuaçu        | MG                                      | jan/12 | 0,70   | 0,16   | 9,85     | 8,13     |
|                                                   | Preto/Paraibuna | MG                                      | nov/14 | 0,82   | 0,69   | 10,55    | 8,95     |
|                                                   | Pomba/Muriaé    | MG                                      | nov/14 | 0,56   | 0,34   | 9,85     | 8,23     |
|                                                   | Pará            | MG                                      | jan/17 | 3,20   | 2,68   | 13,46    | 12,09    |
|                                                   | Total MG        |                                         |        | 33,72  | 22,11  | 411,49   | 355,37   |
|                                                   | PARANÁ          | Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira | PR     | set/13 | 4,44   | 3,74     | 28,53    |
| Total PR                                          |                 |                                         | 4,44   | 3,74   | 28,53  | 27,19    |          |
| PARAÍBA                                           | Litoral Sul     | PB                                      | jan/15 | 1,71   | 1,43   | 8,32     | 7,94     |
|                                                   | Paraíba         | PB                                      | jan/15 | 1,83   | 1,52   | 10,62    | 9,78     |
|                                                   | Litoral Norte   | PB                                      | jan/15 | 0,80   | 0,68   | 3,77     | 3,41     |
|                                                   | Piranhas        | PB                                      | jan/15 | 0,29   | 0,11   | 0,83     | 0,43     |
|                                                   | Outras bacias   | PB                                      | fev/15 | 0,02   | 0,02   | 0,08     | 0,08     |
|                                                   | Total PB        |                                         |        | 4,63   | 3,75   | 23,61    | 21,63    |
| TOTAL NO PAÍS (cobranças em bacias hidrográficas) |                 |                                         |        | 612,84 | 572,79 | 4.734,80 | 4.413,71 |

**Quadro 1:** Mapa de cobrança de água no Brasil

Fonte: ANA, 2022.

Os rios interestaduais (domínio da União) e os seis (06) estados demonstrados no quadro 1, efetivam as cobranças do uso da água. Esses, concedem anualmente o relatório para dar maior transparência sobre os valores cobrados e arrecadados no Brasil. Os dados mais atuais disponibilizados pela ANA, são datados no de 2021.

No estado do Ceará apontado no quadro acima, a cobrança teve início no ano de 1996. Essa Cobrança é realizada por meio da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos-

COGERH/CE, qual, também é responsável pela efetivação das ações de gestão dos recursos hídricos no estado instituído pela Lei Estadual nº 14.844/10.

O relatório anual disponibilizado pela COGERH/CE, oferece dados de cobrança pelo uso dos recursos hídricos no estado. De acordo as informações repassadas pela COGERH, os valores cobrados no ano de 2022 é de R\$ 1.587,35 e valor arrecadado R\$ 1.545,21.

No Rio de Janeiro a responsável é o Instituto estadual de Meio Ambiente- INEA/RJ cobre a demanda de 10 bacias hidrográficas estaduais e no ano de 2021, o valor cobrado R\$ 570,52 e valor/arrecadado R\$ 525,36.

No estado de São Paulo são 14 bacia hidrográficas estaduais setorizadas e gerenciadas pela Secretaria de Saneamento e Recurso Hídricos do Estado de São Paulo- SSRH/SP, dão conta dos setores para implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos o valor cobrado R\$ 1.112,03 e um total de valor arrecadado R\$ 1.037,33.

No estado de Minas Gerais operação fica por conta do Instituto Mineiro de Gestão das Águas- IGAM/MG. que em seu relatório anual datado do ano de 2021, concede informações de valores em real os valores cobrados R\$ 411,49 e valor arrecadado R\$ 355,37.

No estado do Paraná, o valor cobrado R\$ 28,53 e valor arrecadado R\$ 27,19 e estado da Paraíba valor cobrado R\$ 23,61 e valor arrecadado R\$ 21,63. Observa-se que os valores são muito baixos em relação ao real valor desse recurso esgotável.

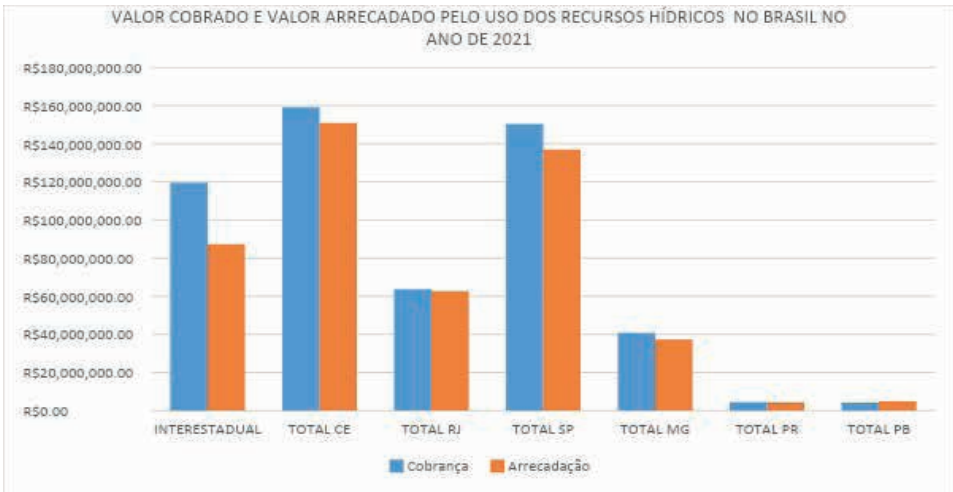


Figura 2: Amostragem do levantamento de valores cobrados/arrecadados 2021

Fonte: ANA, (2018) Adaptado por Albuquerque, 2022.

A figura 2, apresenta os dados referentes ao quadro 1. Com essas informações, fica perceptível que na grande maioria das arrecadações pelo uso dos recursos hídricos no Brasil não condiz com o total cobrado pelo uso nas devidas atividades.

A cobrança tem sido trabalhada para valorar os recursos hídricos no sentido de se



fazer uso e gestão de quantidade com qualidade eficiente. Para ANA (2018), essa cobrança não é um imposto ou tarifa cobrados pelas distribuidoras de águas na cidade, mas sim uma remuneração pelo uso de um bem público. Todos e quaisquer usuários que captem, lancem efluentes ou realizem usos não consuntivos diretamente em corpos de água necessitam cumprir com o valor estabelecido.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos apontam que a gestão de recursos hídricos no Brasil anda em passos lentos quanto ao a implementação do Instrumento de Cobrança pelo Uso da Água após a criação da Lei 9.433/97.

Nos dias atuais, apenas seis estados e seis rios de domínio da União estão com seus dados quanto a cobrança e valor arrecadado nos bancos de dados da ANA.

Os relatórios anuais disponibilizados pelos 06 estados que cumprem seu papel na gestão no setor de arrecadação, apontam, que apenas no ano de 2010 os setores usuários começam a retribuir financeiramente o uso da água.

Outro fator que se verifica nos relatórios anuais disponibilizados pelos estados, é que apesar dos valores cobrados serem baixos, calculados em metro cubico, o que equivale na média 1.000 litros de água, em todos os setores o valor que se cobra não é efetuado na arrecadação.

Das BH que implementam as cobranças no país, nem uma disponibiliza em seu relatório anual valores relacionados a arrecadação do setor agrícola.

A não obrigatoriedade na aplicação dos recursos obtidos nas bacias de origem, também é visto como um elemento pode prejudicar nessa arrecadação, haja vista que, os setores contribuintes cobram por melhorias locais.

Reforçar o diálogo entre os órgãos gestores e usuários, afim de uma gestão participativa é uma necessidade urgente. Isso se faz necessário pela

Por fim, a falta de aplicação do instrumento de cobrança em outros estados e Distrito Federal, causa afeito negativo no processo de gestão dos recursos hídricos no país, uma vez que, a valoração recursos hídricos no Brasil, no sentido de conscientização, conservação e incentivar o uso racional para todos os atores usuários de água deixa de existir nesses casos.

## AGRADECIMENTOS

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior–CAPES– Código de Financiamento 001, do Programa de Mestrado Profissional, em Rede Nacional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos– ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°.2717/2015. Agradecimentos à Agência Nacional

das Águas pela cessão de dados distribuídos gratuitamente e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM

## REFERÊNCIAS

ANA, Histórico da Cobrança. Disponível em: > <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca/historico-da-cobranca> Acesso em: 04 de junho de 2022

ANA, **Cadernos De Capacitação Em Recursos Hídricos: Cobrança Pelo Uso De Recursos Hídricos**. Vol 7. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR) Brasília – DF ANA 2014. Disponível em:> [https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/259/1/CADERNO\\_07.zip](https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/259/1/CADERNO_07.zip) > Acesso em: 11 de maio. 2022.

ANA, **Normativos da Cobrança**. Disponível em:> <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/cobranca/normativos-cobranca> > Acesso em: 11 de maio. 2022

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da lei nº 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7990 de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acesso em: 14 de maio. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro

SANTOS, Marilene de Oliveira Ramos Múrias dos. **O Impacto Da Cobrança Pelo Uso Da Água No Comportamento Do Usuário**. Rio De Janeiro, Rj - Brasil Abril De 2002 Disponível em: > <file:///C:/Users/xx/Desktop/Edy/9.pdf> > Acesso em 11 de maio. 2022.

MENDONÇA, Cristine Pedroso de, Larissa Fernanda Rosa De Almeida, Synara Aparecida Olendzki Broch, Teodorico Alves Sobrinho. **Cobrança pelo uso da água: a visão do setor industrial**. REGA, Porto Alegre, v. 14, e4, 2017 Disponível em > [https://www.researchgate.net/publication/319033503\\_Cobranca\\_pelo\\_uso\\_da\\_agua\\_a\\_visao\\_do\\_setor\\_industrial](https://www.researchgate.net/publication/319033503_Cobranca_pelo_uso_da_agua_a_visao_do_setor_industrial) >Acesso em 10 de maio 2022.

# PARADIGMA DAS ESTRUTURAS TARIFÁRIAS DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

---

*Data de submissão: 07/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Hector Honório Santos Tomelin**

Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Jaraguá do Sul – SC  
Jaraguá do Sul, SC  
<https://orcid.org/0009-0004-3961-8059>

### **Ricardo Alexandre de Mello Oliveira**

CIA Águas de Joinville  
Joinville, SC  
<https://orcid.org/0009-0004-78801-8059>

### **Thiago Zschornack**

CIA Águas de Joinville  
Joinville, SC  
<https://orcid.org/000-0002-0644-8194>

### **Ricardo Pitta**

Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento  
Florianópolis, SC  
<http://lattes.cnpq.br/7805230605373889>

### **Almir de Oliveira**

Cia Águas de Joinville  
Joinville, SC  
<http://lattes.cnpq.br/7761135744243284>

### **Sydney Marques de Oliveira Junior**

Cia Águas de Joinville  
Joinville, SC  
<https://orcid.org/0009-0001-2021-0422>

**RESUMO:** Na prestação dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, por décadas, predominou a regra de cobrança pelo consumo mínimo de água. Essa regra estipula a tarifa mínima de dez metros cúbicos para cada economia, independentemente da quantidade de metros cúbicos de água efetivamente consumidos. A partir do décimo primeiro metro cúbico tem início a tarifa variável. Este artigo tem como objetivo apresentar a quebra de paradigma do sistema tarifário brasileiro à luz das mudanças na estrutura tarifária dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário ocorridas na estatal CASAN/SC e no Serviço Autônomo Municipal de Águas e Esgoto (SAMAEE) de Jaraguá do Sul/SC. O artigo divide-se em revisão da metodologia da estrutura tarifária historicamente aplicada no país e da nova metodologia de estrutura tarifária aplicada nas empresas supracitadas. Além disso, versa sobre as preocupações referentes ao cálculo da estrutura tarifária proposta. Assim, observa-se a necessidade da manutenção da receita tarifária geral do prestador de serviço sem impactos relevantes, bem como, a garantia da isonomia e da modicidade tarifária aos usuários dos serviços. Nesse contexto os

novos paradigmas da estrutura tarifária servem para garantir a sustentabilidade dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e a cobrança justa pelos serviços prestados ou postos à disposição dos usuários.

**PALAVRAS-CHAVE:** abastecimento de água. esgotamento sanitário. alteração de estrutura tarifária.

## PARADIGM OF TARIFF STRUCTURES IN SANITATION

**ABSTRACT:** In sanitation, for decades, there has been a rule of charging for minimum water consumption. This rule stipulates a minimum tariff of ten cubic meters for each establishment, regardless of lower consumption. Despite the foundation based on the WHO recommendation, which estimates a minimum consumption of 100 liters of water per inhabitant per day (which would give approximately 10 m<sup>3</sup> for an average Brazilian family), several questions have been raised in the most different spheres. Considering that the General Systems Theory, formulated by Bertalanffy in the 60's, aims to investigate commonalities between the different fields of knowledge, starting from the parts to the whole, this paper presents the paradigm breaking of the current Brazilian tariff system in the light of changes made in some sanitation companies. The study is divided into a review of the general theory of the system and its interdisciplinarity and of the tariff structures in basic sanitation, having as cases the companies SAMAE of Jaraguá do Sul and CASAN, from the State of Santa Catarina. At SAMAE, it can be seen that TBO - Basic Operating Fee - kept its revenue unchanged after its implementation in 08/2015 and CASAN changed to TBO after the public civil action by ARESC. The methodology used includes the qualitative method, whose scientific investigation focuses on the subjective character of the analyzed object, studying its particularities and individual experiences. It is noticed that the structural coupling explains that the system and the man are linked, it means that the environment (in this case, the man) can change the direction of the operation inside the system without a direct invasion. Structural coupling is applied in basic sanitation due to the interdependence of a system to its environment, which involves several agents. In this context, the new tariff structure paradigms serve to guarantee sustainability.

**KEYWORDS:** tariff structure. sanitation. water supply.

## 1 | INTRODUÇÃO

Desde o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) criado em 1971 e o esgotamento do modelo de financiamento das companhias estaduais prestadoras de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário na década de 1980, muito pouco se avançou em relação à política de saneamento básico no Brasil. Esse plano tinha como principal objetivo buscar a ampliação da oferta dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, satisfazendo as demandas criadas pelo crescimento da população urbana (VENTURI, 2010 *apud* Mello, et al, 2019).

A estrutura tarifária das prestadoras de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário vem da época do PLANASA instituído em 1971. Portanto, é inadequada para os tempos atuais, pois não foi adequada tanto à realidade do Código

de Defesa do Consumidor - Lei nº. 8.078/1990 (BRASIL, 1990), quanto ao novo marco legal do saneamento básico, a Lei 11.445/07 alterada pela Lei 14.026/2020. As políticas tarifárias estão integradas às amplas políticas públicas e interferem diretamente sobre a condição socioeconômica dos usuários dos serviços públicos ao tempo que promovem a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, bem como o desenvolvimento social.

A análise das diferentes formas de cobrança dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário associada às mudanças ocorridas no Estado Brasileiro remetem a uma reflexão maior das relações entre Estado, sociedade e capital (Warken, 2018), tendo como exemplo a CASAN do Estado de Santa Catarina.

Nesse artigo serão apresentadas duas metodologias de estrutura tarifárias de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, a primeira originária do PLANASA e aplicada, atualmente, pela maioria dos prestadores desses serviços e a segunda, uma evolução técnica, legal e jurisprudencial, exemplificada pela nova estrutura tarifária do Serviço Autônomo Municipal de Águas e Esgoto (SAMAÉ) do município de Jaraguá do Sul/SC.

As alterações de estrutura tarifária voltadas ao setor de abastecimento de água e de esgotamento sanitário têm como foco a busca da sustentabilidade econômico-financeiro por meio do seu regime tarifário, dependendo cada vez menos dos orçamentos estatais (Hirata, 2020).

O artigo está estruturado em quatro capítulos, incluindo a presente introdução e sua problemática. O capítulo 2 objetivo do artigo no capítulo 3 as metodologias de cobranças de tarifárias dos clientes (usuários), estrutura tarifária praticada pela maioria dos prestadores de serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário tais como a CASAN do Estado de Santa Catarina e de Jaraguá do Sul (SAMAÉ/SC) requisitos a serem observados para alterar as estruturas tarifárias desses serviços. O capítulo 4, discorre sobre a alteração da estrutura tarifária do SAMAÉ de Jaraguá do Sul/SC e os principais aprendizados colhidos dessa nova estrutura tarifária, e finalmente, o capítulo 5, análise e os resultados obtidos e o capítulo 6 considerações finais.

## 1.1 Saneamento Básico

Considera-se saneamento básico o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água, constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição; esgotamento sanitário, constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou

seu lançamento de forma adequada no meio ambiente; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020).

O déficit do setor de saneamento básico no Brasil ainda é elevado, sobretudo no que se refere aos serviços de esgotamento sanitário, com maior carência nas áreas periféricas dos centros urbanos e nas zonas rurais, onde se concentra a população que necessita de maior apoio estatal. Este fato é verídico nas maiores cidades catarinenses, onde menos de 50% da população tem acesso à rede de esgoto. Assim, a necessidade de investimentos identificada nos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário implica elevação do nível tarifário (ARAUJO & GEOVANA, 2018).

#### *1.1.1 Política Tarifária no Saneamento*

Uma política tarifária compreende basicamente um conjunto de diretrizes, uma estrutura de cobrança e algumas métricas necessárias para remuneração de um de um serviço prestado garantindo a sua exequibilidade financeira ao prestador.

Para Junior (2011), uma política tarifária adequada aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário deve contemplar objetivos estratégicos, entre os quais destacam-se:

- a) Universalização do acesso: Acesso a todos principalmente aos mais pobres, conforme o Lei 4.162/2019 que destaca que a cobertura do abastecimento de água deve chegar à 99% e o tratamento de esgoto à 90% até 31/12/2033;
- b) Eficiência e modicidade tarifária: Manter a eficiência da operação dos serviços com tarifa módica.
- c) Equidade: Política tarifária, a adoção de preços relativos proporcionais aos ônus que cada usuário impõe ao sistema, ressalvado o primeiro objetivo (de universalização do acesso).
- d) Viabilidade econômica e financeira: a política tarifária deve contribuir para viabilidade econômica do sistema, garantindo a viabilidade financeira da empresa operadora do serviço, no curto e longo prazo.
- e) Simplicidade: as tarifas cobradas devem ser facilmente entendidas pelos consumidores de forma que estes possam decidir livremente sobre as formas de uso e pagamentos dos serviços a que correspondem.

Para ARSESP (2019), a estrutura tarifária deve contemplar principalmente os aspectos descritos a seguir e todas as alternativas deverão ser justificadas.

a) Substituição do consumo mínimo por inclusão de:

(i) parcela tarifária fixa, que cubra integral ou parcialmente os custos fixos, independente do consumo efetivo mensal e

(ii) parcela variável baseada no consumo.

b) Segregação das categorias residenciais e não residenciais em individual e coletiva para determinação da parcela tarifária fixa e variável, em substituição ao consumo mínimo por economia. O faturamento atual para os condomínios residenciais considera um consumo mínimo por economias e com a substituição desse conceito por uma parcela fixa, é necessário apresentar tratamento diferenciado entre ligações individuais e coletivas.

c) Expansão da cobertura da tarifa social, com redefinição dos critérios de elegibilidade baseado no Cadastro Único do Governo Federal, apresentando mais de 1 cenário de abrangência, informando o consumo médio, a estimativa de economias enquadradas e o impacto resultante da adoção de cada cenário.

#### *1.1.1.1 Estruturas tarifárias praticadas no Brasil*

A estrutura tarifária praticada pelos prestadores de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário tem como origem o PLANASA. O Capítulo IV do Decreto N° 82.587, de 6 de novembro de 1978 apresenta os aspectos técnico das estruturas tarifárias.

*Art. 12 - A estrutura tarifária deverá representar a distribuição de tarifas por faixas de consumo, com vistas à obtenção de uma tarifa média que possibilite o equilíbrio econômico-financeiro das companhias estaduais de saneamento básico, em condições eficientes de operação.*

*Art. 13 - Os usuários serão classificados nas seguintes categorias: residencial, comercial, industrial e pública.*

*Parágrafo único - As categorias referidas no caput deste artigo poderão ser subdivididas em grupos, de acordo com suas características de demanda e/ou consumo, sendo vedada, dentro de um mesmo grupo, a discriminação de usuários que tenham as mesmas condições de utilização dos serviços.*

*Art. 14 - As tarifas da categoria residencial serão diferenciadas para as diversas faixas de consumo, devendo, em função destas, ser progressivas em relação ao volume faturável.*

*Art. 15 - Os usuários das categorias comercial e industrial deverão ter duas tarifas específicas para cada categoria, sendo uma, referente ao volume mínimo e a outra ao excedente, em que a segunda será superior à primeira, e esta maior do que a tarifa média.*

*Art. 16 - Os usuários da categoria pública deverão ter no máximo duas tarifas, sendo*

um referente ao volume mínimo e a outra ao excedente, em que a segunda será maior do que a primeira e esta superior à residencial inicial.

Art. 17 - Para os grandes usuários comerciais e industriais, bem como para os usuários temporários, poderão ser firmados contratos de prestação de serviços com preços e condições especiais.

Parágrafo único - Os contratos de que trata este artigo serão admissíveis, em cada caso, desde que se possa estabelecer um preço que permita melhorar a situação econômico-financeira das companhias estaduais de saneamento básico

Atualmente no Brasil, a maioria dos prestadores de serviço ainda considera elementos deste decreto, em especial quanto a classificação das categorias de consumo, a cobrança por um consumo mínimo, ao uso de poucas faixas de consumo em cada categoria e, acima de tudo, a busca por um equilíbrio econômico-financeiro baseado no subsídio cruzado.

Como exemplo de estrutura tarifária que segue essas orientações faz-se uso da estrutura tarifária antiga da CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento, conforme Tabela 1.

| CATEGORIA                                  | FAIXA | CONSUMO<br>m³  | ÁGUA<br>R\$          |
|--------------------------------------------|-------|----------------|----------------------|
| RESIDENCIAL "A"<br>(SOCIAL)                | 1     | até 10         | 7,91/ mês            |
|                                            | 2     | 11 a 25        | 2,2152/ m³           |
|                                            | 3     | 26 a 50        | 10,6499/ m³          |
|                                            | 4     | maior 50       | 12,9982/ m³          |
| RESIDENCIAL "B"                            | 1     | até 10         | 42,19/ mês           |
|                                            | 2     | 11 a 25        | 7,7314/ m³           |
|                                            | 3     | 26 a 50        | 10,8470/ m³          |
|                                            | 4     | maior 50       | 12,9982/ m³          |
|                                            | 5     | TARIFA SAZONAL | 16,2475/ m³          |
| COMERCIAL                                  | 1     | até 10         | 62,27/ mês           |
|                                            | 2     | 11 a 50        | 10,3330/ m³          |
|                                            | 3     | maior 50       | 12,9982/ m³          |
| MICRO E PEQUENO<br>COMÉRCIO                | 1     | até 10         | 43,99/ mês           |
|                                            | 2     | maior 10       | 10,3330/ m³          |
| INDUSTRIAL                                 | 1     | até 10         | 62,27/ mês           |
|                                            | 2     | maior 10       | 10,3330/ m³          |
| ESPECIAL > 5.000m³                         | 1     | maior 5.000    | CONTRATO<br>ESPECIAL |
| PÚBLICA                                    | 1     | até 10         | 62,27/ mês           |
|                                            | 2     | maior 10       | 10,3330/ m³          |
| PÚBLICA ESPECIAL<br>(Entidade Beneficente) | 1     | até 10         | 18,68/ mês           |
|                                            | 2     | maior 10       | 3,0999/ m³           |

TARIFA DE ESGOTO = 100 % DO VALOR DA TARIFA DE ÁGUA

Tabela 1: Estrutura tarifária praticada pela CASAN em 2017/2018.



Excluindo da análise a categoria especial, a qual se refere a grandes consumidores, observa-se na Tabela 1 que a primeira faixa de consumo de cada categoria de usuários é contemplada com um valor fixo de tarifa respaldada em uma franquia de consumo de até 10 metros cúbicos. Após o décimo metro cúbico, as demais faixas de consumo se referem à tarifa variável por metro cúbico efetivamente consumido (ARESC, 2019).

A diretriz nacional de saneamento básico atual define que a estrutura de remuneração e de cobrança dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário irá considerar, dentre outros fatores, a quantidade mínima de consumo ou de utilização do serviço, visando à garantia de objetivos sociais, como a preservação da saúde pública, o adequado atendimento dos usuários de menor renda e a proteção do meio ambiente (BRASIL, 2007)

Observa-se que a diretriz atual autoriza a cobrança de uma tarifa fixa baseada em uma franquia de consumo de até 10 metros cúbicos (quantidade mínima). Todavia, o Superior Tribunal Federal (STF) em sede de recurso extraordinário, assentou jurisprudência no sentido de que é ilícita a cobrança de tarifa de água no valor do consumo mínimo multiplicado pelo número de economias existentes no imóvel, quando houver único hidrômetro no local (BRASIL, 2011).

A jurisprudência assentada pelo STF coloca em questionamento a segurança jurídica das estruturas tarifárias referenciadas no consumo mínimo, de tal modo, que novas metodologias são vislumbradas pelos reguladores e pelos prestadores de serviços.

Além dos questionamentos jurídicos, esse tipo de estrutura tarifária não atende a diretriz nacional de inibição do consumo supérfluo e do desperdício de recursos (BRASIL 2007). Isso porque ao considerar a franquia de até 10 metros cúbicos consumidos, promove-se o incentivo do consumo da água de modo desregrado, já que o valor pago não varia se o consumo se limitar até 10 metros cúbicos.

#### *1.1.1.2 Estruturas tarifárias e requisitos a serem observados para suas alterações.*

Antes de adentrar as particularidades da estrutura tarifária “padrão” (baseada nos princípios do PLANASA) é importante analisar a relação dos custos fixos e variáveis com as receitas fixas e variáveis.

Os custos fixos, geralmente são definidos como capital e operacionais que são incorridos independentemente do valor de água entregue e geralmente incluem custos relacionados à operação e à manutenção de instalações, bem como reembolsos de dívidas e depreciação do sistema. Em contrapartida, os custos variáveis dependem diretamente da quantidade de água entregue ao usuário, tais como custos químicos de tratamento, energia utilizada no bombeamento entre outras (SPANG, 2015 *apud* PITTA, 2018).

Ainda, quanto aos custos fixos, variáveis e receitas, faz mais sentido manter a estabilidade financeira ao se alinhar os custos fixos com receitas fixas e custos variáveis

com receitas variáveis, para que os custos totais estejam perfeitamente alinhados com receitas totais resultantes do faturamento do serviço prestado (AWWA, 2012 *apud* PITTA, 2018). Nesse contexto, para os prestadores de serviço de água e esgotamento sanitário os custos são assumidos como fixos em 80% e variáveis de 20%, sendo esta uma estimativa razoável com base nos relatórios das agências reguladoras (SPANG, 2015 *apud* PITTA, 2018). Assim, a proporcionalidade entre custos fixos e variáveis implica, mantendo as proporções, que grande parte da receita tarifária tenha como origem uma tarifa fixa e uma menor parte advenha de uma tarifa variável (MASTEN, 2010 *apud* PITTA, 2018). Porém, pode haver problemas com a capacidade de pagamento do usuário, caso a receita tenha a maior parte de sua origem na tarifa fixa, além de gerar efeito contrário ao uso racional do recurso (água), porquanto o custo marginal em se consumir uma unidade de água a mais se torna irrisório (JORDAN, 1993 *apud* PITTA, 2018).

Para neutralizar esse problema e amplificar o incentivo ao consumo sustentável de água e conservação dos recursos, muitas agências reguladoras têm escolhido, para contrabalancear o saldo entre custos fixos e variáveis e receitas fixas e variáveis, aumentar a parcela da fatura do usuário que é derivada de tarifas variáveis. Na verdade, para promover a preservação deste recurso natural, o manual de melhores práticas de gerenciamento da California Urban Water Conservation Council, recomenda que as tarifas cobradas dos usuários tenham no mínimo 70% de sua origem com base no consumo por metro cúbico efetivamente consumido (fração variável) e, conseqüentemente, no máximo 30% tenham como origem tarifas fixas (fração fixa) (SPANG, 2015 *apud* PITTA, 2018).

Continuando, a maioria da receita depende da quantidade de metros cúbicos consumidos pelos usuários do serviço público de abastecimento de água, logo a prestação do serviço depende da receita variável para ajudar a recuperar uma grande proporção de custos fixos. Por exemplo, se os custos são 80% fixos e 20% variáveis e a receita é fixa em 30%, logo a receita variável cobre 100% dos custos variáveis e 62,50% dos custos fixos, como o que segue apresentado na Figura 1 (PITTA, 2018).

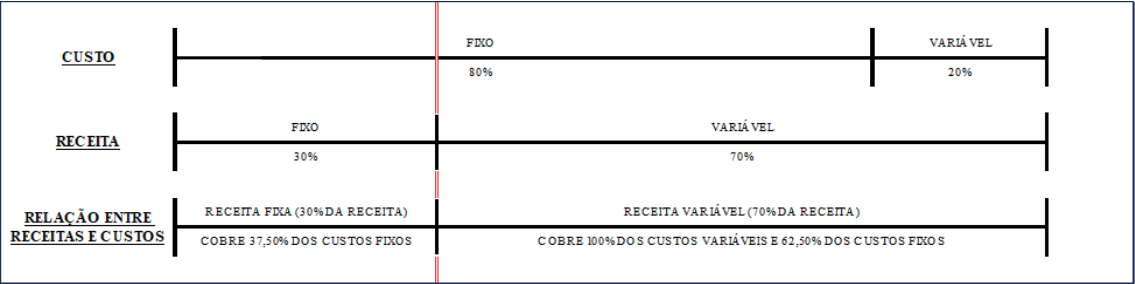


Figura 1: Relação entre custos e receitas.

Fonte: SPANG, Edward S. 2015.

Portanto, a falta de simetria entre custos fixos e variáveis e as receitas é especialmente

problemática se houver uma súbita e significativa diminuição da demanda de água, seja conduzida por diversos fatores, por exemplo, recessão econômica, anormalidade climática, mudança no comportamento de consumo, elevação da consciência ambiental da população reduzindo o consumo, elevação dos preços da água. Assim, qualquer diminuição da demanda de água não prevista irá afetar a capacidade do prestador de serviço recuperar seus custos fixos por meio de receitas variáveis (PITTA, 2018).

Portanto, verifica-se que a literatura internacional reconhece que a maioria dos prestadores do serviço público de abastecimento de água apresentam custos fixos superiores aos custos variáveis, além disso, considerando a orientação da Lei Federal 11.445/2007 de promover a inibição ao consumo supérfluo e desperdício de recursos não se torna possível manter as receitas fixas e variáveis nas mesmas proporções que os custos fixos e variáveis.

Desse modo, na alteração da estrutura tarifária é importante definir quais componentes dos custos são fixos e quais são variáveis. Por mais que seja inviável a receita fixa ser proporcional aos custos fixos, é importante destacar que, em respeito ao artigo 30º, inciso IV, da Lei Federal 11.445/2007, a receita fixa não pode ser superior aos custos fixos, mas o inverso não é verdadeiro.

Duas limitações são relevantes para avaliação da adequação da alteração da estrutura tarifária. A primeira se refere ao impacto econômico-financeiro que a alteração irá gerar nos usuários, considerando o metro cúbico consumido e a categoria de usuário dos serviços. A segunda se refere ao impacto que a alteração poderá causar na receita tarifária do Prestador de Serviços (BALDISSERA; PITTA; SKRIPNIK, 2021).

A limitação referente ao impacto econômico-financeiro que a alteração irá gerar aos usuários tem como objeto a comparação entre o que é cobrado atualmente com o que será cobrado com a nova estrutura tarifária proposta, observando o impacto em valor absoluto e percentual relativo (BALDISSERA; PITTA; SKRIPNIK, 2021). Segue avaliação realizada pela CASAN em sua alteração de estrutura tarifária, consoante da Figura 2.

|                                      | Volume<br>(m³) | Paga<br>(R\$) | Vai pagar<br>(R\$) | ↑ Acréscimo<br>↓ Redução |
|--------------------------------------|----------------|---------------|--------------------|--------------------------|
| <b>CASAS</b>                         |                |               |                    |                          |
| Casa 1                               | 10             | 45,19         | 49,09              | ↑ 8,63%                  |
| Casa 2                               | 8              | 45,19         | 45,17              | ↓ 0,04%                  |
| Casa 3                               | 6              | 45,19         | 41,25              | ↓ 8,72%                  |
| <b>Total</b>                         | <b>24</b>      | <b>135,57</b> | <b>135,51</b>      | ↓ <b>0,06</b>            |
| <b>APARTAMENTOS DE UM CONDOMÍNIO</b> |                |               |                    |                          |
| Apto. 1                              | 12             | 61,75         | 67,31              | ↑ 9%                     |
| Apto. 2                              | 10             | 45,19         | 49,09              | ↑ 8,63%                  |
| Apto. 3                              | 8              | 45,19         | 45,17              | ↓ 0,04%                  |
| Apto. 4                              | 6              | 45,19         | 41,25              | ↓ 8,72%                  |
| Apto. 5 *                            | 0              | 45,19         | 29,49              | ↓ 34,74%                 |
| <b>Total</b>                         | <b>36</b>      | <b>242,51</b> | <b>232,31</b>      | ↓ <b>4,21 %</b>          |

Figura 2: Exemplo de avaliação do impacto da alteração da estrutura tarifária.

Fonte: CASAN (2021)

A segunda limitação à modificação da metodologia de cobrança das tarifas nos prestadores de serviço é a possibilidade de variação da receita tarifária. Para isso, é necessário simular a receita tarifária da nova estrutura tarifária, comparando-a com a receita tarifária da estrutura tarifária vigente (BALDISSERA; PITTA; SKRIPNIK, 2021). Relevante destacar que deverá ser considerado na análise o período mínimo de 12 meses de receita, expurgando efeitos de fatores sazonais da análise. Ainda, deverá ser desconsiderada os dados referentes à períodos extraordinários que por ventura venham a afetar o volume consumido dos usuários.

Compara-se a receita tarifária da estrutura tarifária atual com a receita tarifária simulada da estrutura tarifária proposta, sendo a diferença do somatório do período analisado igual a zero.

Todavia, é importante destacar a necessidade da margem de segurança, a qual tem como finalidade proteger o prestador de serviço quanto às mudanças no comportamento de consumo dos usuários, o que pode provocar redução na receita tarifária da prestadora de serviços (BALDISSERA; PITTA; SKRIPNIK, 2021).

Portanto, ainda que a nova estrutura seja moldada para que a receita tarifária se iguale a estrutura tarifária anterior, é relevante que se considere uma margem de segurança, ou seja, uma pequena majoração da receita tarifária resultante da nova estrutura tarifária, considerando a realidade na qual a nova estrutura tarifária incentive o usuário ao consumo conciente da água.

## 2 | OBJETIVO

Apresentar a quebra de paradigma do sistema tarifário brasileiro à luz das mudanças

na estrutura tarifária dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário ocorridas na estatal CASAN/SC e principalmente no Serviço Autônomo Municipal de Águas e Esgoto (SAMAE) de Jaraguá do Sul/SC.

### **3 | METODOLOGIA**

A escolha da pesquisa qualitativa como metodologia de investigação é feita quando o objetivo do estudo é entender o porquê de certas coisas, como a mudança das estruturas tarifárias ao consumidor de diversas categorias (residências, públicas, industrial e comercial), bem como a percepção dos consumidores. (Fachin, 2001). Tratar-se-á aqui, sinteticamente, do saneamento básico, em especial os serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e suas metodologias de cobrança de tarifárias dos usuários de uma estatal como a CASAN e municipal como Jaraguá do Sul (SAMAE).

### **4 | ALTERAÇÃO DA ESTRUTURA TARIFÁRIA DO SAMAE DE JARAGUÁ DO SUL**

A análise será sobre a mudança da estrutura tarifária do SAMAE de Jaraguá do Sul determinada pela Deliberação 015/2015 da Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS) e pela Ação Civil Pública, Autos n. 036.12.012382-2 da Vara da Fazenda da Comarca de Jaraguá do Sul.

#### **4.1 SAMAE de Jaraguá do Sul**

O estudo técnico para a revisão tarifária definiu, sob o viés econômico e social, uma estrutura e composição tarifária apta ao cumprimento das metas (de curto, médio e longo prazo) previstas para a ampliação e o aperfeiçoamento do sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário, que atende tanto ao Plano Municipal de Saneamento Básico, assim como dos quesitos constantes na Ação Civil Pública, Autos n. 036.12.012382-2 da Vara da Fazenda da Comarca de Jaraguá do Sul.

Ainda, a ARIS compreendeu que as categorias existentes no Plano Tarifário atual necessitavam de melhor definição e precisão, a fim de atender os quesitos referentes à demanda judicial existente.

Todavia, o estudo foi modelado a fim de que não houvesse flutuações no faturamento do SAMAE, devendo-se então trabalhar de forma segura a mudança da estrutura tarifária, trazendo sustentabilidade técnico-econômico-financeira, social e ambiental em prol de todos os usuários. O comparativo entre a estrutura anterior à implantação da nova estrutura tarifária é apresentado na tabela 2 quanto à categoria residencial.

| Residencial |       |       |
|-------------|-------|-------|
| Faixa       | Atual | Nova  |
| 1           | 23,53 | 16,82 |
| 2           | 23,53 | 17,66 |
| 3           | 23,53 | 18,50 |
| 4           | 23,53 | 19,34 |
| 5           | 23,53 | 20,18 |
| 6           | 23,53 | 21,14 |
| 7           | 23,53 | 22,10 |
| 8           | 23,53 | 23,06 |
| 9           | 23,53 | 24,02 |
| 10          | 23,53 | 24,98 |
| 11          | 27,80 | 29,25 |
| 12          | 32,07 | 33,52 |
| 13          | 36,34 | 37,79 |
| 14          | 40,61 | 42,06 |
| 15          | 44,88 | 46,33 |

| Residencial |        |        |
|-------------|--------|--------|
| Faixa       | Atual  | Nova   |
| 16          | 49,58  | 51,76  |
| 17          | 54,28  | 57,19  |
| 18          | 58,98  | 62,62  |
| 19          | 63,68  | 68,05  |
| 20          | 68,38  | 73,48  |
| 21          | 73,72  | 79,51  |
| 22          | 79,06  | 85,54  |
| 23          | 84,40  | 91,57  |
| 24          | 89,74  | 97,60  |
| 25          | 95,08  | 103,63 |
| 26          | 100,47 | 110,26 |
| 27          | 105,86 | 116,89 |
| 28          | 111,25 | 123,52 |
| 29          | 116,64 | 130,15 |
| 30          | 122,03 | 136,78 |
| 31          | 128,13 | 144,62 |

**Observação:** A coluna “Atual” é até julho de 2015. A coluna “Nova” é competência de agosto de 2015, cujos vencimentos se darão em setembro de 2015, e que irão vigorar até dezembro de 2015.

Tabela 2 - Comparativo entre a estrutura tarifária antiga e a estrutura tarifária atual.

Fonte: Banco de Dados SAMAE Jaraguá do Sul (2015)

No início de 2015, a tarifa mínima era cobrada de acordo com determinados níveis de consumo. Nos casos dos usuários residenciais, qualquer consumo entre 0 e 10 metros cúbicos representava uma contrapartida financeira do usuário de R\$ 23,53. No novo modelo, a quantidade de água consumida por cada economia será levada em conta, de acordo com faixas de consumo: quanto menos se consome, menor é o valor da faturado. Assim, para um consumo de 8 metros cúbicos de água o valor total da fatura passou a ser de R\$ 23,06.

Neste modelo, porém, ainda existe uma tarifa fixa, chamada Tarifa Básica Operacional (TBO). Este valor serve para cobrir parte dos custos fixos do SAMAE. Para os clientes residenciais, a tarifa fixa é de R\$ 15,98, que será acrescida do valor correspondente a tarifa variável relacionada ao efetivo consumo por metro cúbico. Há valores diferenciados, ainda, para clientes comerciais, do poder público e com tarifa social (Martins, 2016).

O valor da TBO passou de R\$ 15,98 para R\$ 20,43, em 2020, na categoria residencial. Essa diferença decorre da aplicação da fórmula paramétrica de reajuste tarifário definida no item 3 da Deliberação 015/2015 da ARIS. Assim, a evolução do valor da TBO resulta da atualização monetária. A Tabela 3 apresenta a estrutura tarifária para 2020 do SAMAE de Jaraguá do Sul.

| Residencial |        | Comercial |        | Publica |        | Social  |        |
|-------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|--------|
| TBO         | 20,43  | TBO       | 34,56  | TBO     | 20,43  | TBO     | 7,86   |
| Class       | R\$/m³ | Class     | R\$/m³ | Class   | R\$/m³ | Class   | R\$/m³ |
| 0 a 5       | 1,08   | 0 a 5     | 1,54   | 0 a 5   | 1,08   | 0 a 5   | 0,32   |
| 6 a 10      | 1,23   | 6 a 10    | 2,63   | 6 a 10  | 1,23   | 6 a 10  | 0,93   |
| 11 a 15     | 5,46   | 11 a 30   | 8,02   | > 10    | 3,20   | 11 a 15 | 5,46   |
| 16 a 20     | 6,94   | 31 a 100  | 8,78   |         |        | 16 a 20 | 6,94   |
| 21 a 25     | 7,71   | > 100     | 10,03  |         |        | 21 a 25 | 7,71   |
| 26 a 30     | 8,48   |           |        |         |        | 26 a 30 | 8,48   |
| > 30        | 10,03  |           |        |         |        | > 30    | 10,03  |

Tabela 3: Estrutura tarifária ano-base 2020

Fonte: Banco de dados do SAMAE de Jaraguá do Sul (2020)

É relevante observar se a implementação da TBO gerou redução de receitas ou conflitos com os clientes. Para responder tal questão, deve-se comparar o comportamento dos clientes antes e depois, no que diz respeito ao consumo e pagamento das faturas. A medida do pagamento das faturas está na evolução do faturamento e pagamento das faturas, enquanto o consumo está no próprio nível de consumo.

Optou-se em comparar o faturamento dos 12 meses antes da implantação da TBO, e 24 meses após sua implementação, com os devidos ajustes (expurgando-se os reajustes de tarifas, e o crescimento natural da base de clientes). Além disso, os meses devem ser comparados o mesmo mês de outro período, por exemplo, o mês de dezembro de 2015, deve ser comparado com o mês de dezembro de 2014.

A razão disto reside no fato que o consumo de água possui flutuações sazonais ligadas ao clima e o calendário civil. Isto é senso comum e pode ser observado em tabelas de consumo *per capita* de qualquer prestadora de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. O comportamento em um mês de inverno é diferente de um mês no verão, ou de uma época de férias, quando há significativos deslocamentos da população.

Deste modo, antes da análise pretendida em si, foi necessário estabelecer a variação do número de economias, para que se possa expurgar dos dados o efeito do crescimento da população nas variações de consumo agregado e de faturamento.

| Ano  | Economias | Var.Anual | Var.%Mensal |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 2013 | 54.077,00 | -         |             |
| 2014 | 59.557,00 | 10,133698 | 0,8076      |
| 2015 | 61.142,00 | 2,661316  | 0,2191      |
| 2016 | 62.748,00 | 2,626672  | 0,2163      |
| 2017 | 63.884,00 | 1,810416  | 0,1496      |
| 2018 | 64.557,00 | 1,053472  | 0,0874      |

Tabela 4: Variação número de economias.

Fonte: Banco de dados SAMAE – Relatório SIG

A tabela 5 mostra o comportamento do faturamento e consumo, com o expurgo do crescimento populacional e o ajuste de todos os valores para o ano de 2015.

|                                                      |                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VALOR FAT. ÁGUA - R\$</b>                         | Valor do faturamento com água em R\$                                                                                                                                                                         |
| <b>Fat.Água Ajustado - R\$</b>                       | Valor do faturamento com água em R\$, ajustado para o ano de 2015, ou seja, os efeitos do reajuste nas tarifas foram corrigidos para o ano de 2015.                                                          |
| <b>Var.% pré TBO - Bruta</b>                         | A variação do faturamento em termos percentuais, em relação ao <b>MESMO MÊS DE 2014</b> , após as correções de tarifa feitos, mas sem considerar crescimento populacional (variação no número de economias). |
| <b>Var.% incremento clientes</b>                     | Crescimento médio da base de clientes. Média ponderada baseada no crescimento anual.                                                                                                                         |
| <b>Var.% Pré TBO - Expurgada Var. Clientes</b>       | Crescimento % do faturamento sem os efeitos de reajuste tarifário e crescimento da base de clientes.                                                                                                         |
| <b>Var.% Consumo relativa pré TBO</b>                | Variação em relação ao mesmo no período pré-TBO. Sem expurgo.                                                                                                                                                |
| <b>Var.% Consumo pré TBO, expurgada Var.Clientes</b> | Variação em relação ao mesmo no período pré-TBO. Descontado o crescimento populacional (variação no número de economias).                                                                                    |

Tabela 5: Significados das colunas da Tabela 5.



| mês/Ano | VALOR<br>FAT.<br>ÁGUA<br>- R\$ | Fat.Água<br>Ajustado<br>- R\$ | Var.% pré<br>TBO -<br>Bruta | Var.%<br>incre-<br>mento<br>clientes | Var.%<br>Pré TBO<br>- Expur-<br>gada Var.<br>Clientes | VOLUME<br>FATURA-<br>DO - m³ | VOLUME<br>MICRO-<br>MEDIDO<br>- m³ | Var.%<br>Consumo<br>relativa<br>pré TBO | Var.%<br>Consumo<br>pré TBO,<br>expurga-<br>da Var.<br>Clientes |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ago/14  | 2.193.442                      | 1.773.398                     | -                           | 5,1521                               | -                                                     | 794.679                      | 657.460                            | -                                       | -                                                               |
| set/14  | 2.261.270                      | 1.828.237                     | -                           | 4,5294                               | -                                                     | 808.768                      | 676.758                            | -                                       | -                                                               |
| out/14  | 2.266.130                      | 1.832.166                     | -                           | 3,9067                               | -                                                     | 809.110                      | 677.860                            | -                                       | -                                                               |
| nov/14  | 2.442.973                      | 1.975.144                     | -                           | 3,2840                               | -                                                     | 856.414                      | 739.433                            | -                                       | -                                                               |
| dez/14  | 2.386.774                      | 1.929.707                     | -                           | 2,6613                               | -                                                     | 843.090                      | 720.497                            | -                                       | -                                                               |
| jan/15  | 2.670.145                      | 2.158.812                     | -                           | 2,6584                               | -                                                     | 841.665                      | 709.456                            | -                                       | -                                                               |
| fev/15  | 2.594.862                      | 2.097.946                     | -                           | 2,6555                               | -                                                     | 819.300                      | 681.763                            | -                                       | -                                                               |
| mar/15  | 2.792.876                      | 2.258.040                     | -                           | 2,6527                               | -                                                     | 855.635                      | 720.558                            | -                                       | -                                                               |
| abr/15  | 2.530.937                      | 2.046.263                     | -                           | 2,6498                               | -                                                     | 803.699                      | 676.821                            | -                                       | -                                                               |
| mai/15  | 2.594.862                      | 2.097.946                     | -                           | 2,6469                               | -                                                     | 819.300                      | 689.960                            | -                                       | -                                                               |
| jun/15  | 2.501.399                      | 2.022.381                     | -                           | 2,6440                               | -                                                     | 795.882                      | 670.238                            | -                                       | -                                                               |
| jul/15  | 2.580.844                      | 2.086.613                     | -                           | 2,6411                               | -                                                     | 809.938                      | 682.076                            | -                                       | -                                                               |
| ago/15  | 2.680.336                      | 2.167.051                     | 22,20                       | 2,6382                               | 19,56                                                 | 679.600                      | 679.600                            | 3,3675                                  | 0,7293                                                          |
| set/15  | 2.774.885                      | 2.243.494                     | 22,71                       | 2,6353                               | 20,08                                                 | 708.776                      | 708.776                            | 4,7311                                  | 2,0958                                                          |
| out/15  | 3.117.966                      | 2.520.875                     | 37,59                       | 2,6324                               | 34,96                                                 | 749.907                      | 749.907                            | 10,6286                                 | 7,9961                                                          |
| nov/15  | 2.785.777                      | 2.252.301                     | 14,03                       | 2,6296                               | 11,40                                                 | 707.847                      | 707.847                            | -4,2717                                 | -6,9012                                                         |
| dez/15  | 2.833.773                      | 2.291.106                     | 18,73                       | 2,6267                               | 16,10                                                 | 712.218                      | 712.218                            | -1,1491                                 | -3,7757                                                         |
| jan/16  | 3.095.672                      | 2.502.850                     | 15,94                       | 2,4956                               | 13,44                                                 | 705.920                      | 705.920                            | -0,4984                                 | -2,9940                                                         |
| fev/16  | 2.989.937                      | 2.417.364                     | 15,23                       | 2,3645                               | 12,86                                                 | 691.839                      | 691.839                            | 1,4779                                  | -0,8865                                                         |
| mar/16  | 2.961.752                      | 2.394.577                     | 6,05                        | 2,2334                               | 3,81                                                  | 691.665                      | 691.665                            | -4,0099                                 | -6,2432                                                         |
| abr/16  | 2.950.218                      | 2.385.251                     | 16,57                       | 2,1023                               | 14,46                                                 | 684.597                      | 684.597                            | 1,1488                                  | -0,9534                                                         |
| mai/16  | 3.033.633                      | 2.452.693                     | 16,91                       | 1,9712                               | 14,94                                                 | 702.372                      | 702.372                            | 1,7990                                  | -0,1722                                                         |
| jun/16  | 2.950.736                      | 2.385.670                     | 17,96                       | 1,8401                               | 16,12                                                 | 669.377                      | 669.377                            | -0,1285                                 | -1,9686                                                         |
| jul/16  | 2.873.867                      | 2.323.522                     | 11,35                       | 1,7090                               | 9,64                                                  | 652.031                      | 652.031                            | -4,4049                                 | -6,1138                                                         |
| ago/16  | 2.965.751                      | 2.397.810                     | 35,21                       | 1,5779                               | 33,63                                                 | 676.440                      | 676.440                            | 2,8869                                  | 1,3090                                                          |
| set/16  | 2.838.771                      | 2.295.147                     | 25,54                       | 1,4468                               | 24,09                                                 | 659.242                      | 659.242                            | -2,5882                                 | -4,0350                                                         |
| out/16  | 2.931.325                      | 2.369.976                     | 29,35                       | 1,3157                               | 28,04                                                 | 681.172                      | 681.172                            | 0,4886                                  | -0,8271                                                         |
| nov/16  | 2.942.726                      | 2.379.194                     | 20,46                       | 1,1846                               | 19,27                                                 | 679.167                      | 679.167                            | -8,1503                                 | -9,3349                                                         |
| dez/16  | 3.071.592                      | 2.483.382                     | 28,69                       | 0,0000                               | 28,69                                                 | 704.614                      | 704.614                            | -2,2045                                 | -2,2045                                                         |
| jan/17  | 3.177.813                      | 2.569.262                     | 19,01                       | 0,9657                               | 18,05                                                 | 672.327                      | 672.327                            | -5,2334                                 | -6,1991                                                         |
| fev/17  | 3.331.173                      | 2.693.253                     | 28,38                       | 0,8779                               | 27,50                                                 | 707.655                      | 707.655                            | 3,7978                                  | 2,9199                                                          |
| mar/17  | 3.233.014                      | 2.613.892                     | 15,76                       | 0,7901                               | 14,97                                                 | 689.802                      | 689.802                            | -4,2684                                 | -5,0585                                                         |
| abr/17  | 3.428.880                      | 2.772.249                     | 35,48                       | 0,7023                               | 34,78                                                 | 719.728                      | 719.728                            | 6,3394                                  | 5,6371                                                          |
| mai/17  | 3.188.093                      | 2.577.573                     | 22,86                       | 0,6145                               | 22,25                                                 | 679.684                      | 679.684                            | -1,4893                                 | -2,1038                                                         |

|        |           |           |       |        |       |         |         |         |         |
|--------|-----------|-----------|-------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|
| jun/17 | 3.102.573 | 2.508.430 | 24,03 | 0,5267 | 23,51 | 661.391 | 661.391 | -1,3201 | -1,8468 |
| jul/17 | 3.168.534 | 2.561.760 | 22,77 | 0,4389 | 22,33 | 682.071 | 682.071 | -0,0007 | -0,4396 |

Tabela 5: Comparação do faturamento e do consumo, antes e depois da TBO

Fonte: Banco de dados do SAMAE de Jaraguá do Sul

## 5 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao observar a Tabela 5, percebe-se que não houve perda de faturamento, e por consequência arrecadação com a introdução da TBO, uma vez que nos registros, os dados extraídos do SIG (Sistema de Informações Gerenciais) e sistema de indicadores do SAMAE de Jaraguá do Sul, demonstra que não houve variação significativa na inadimplência nos 2 anos subsequentes à implantação da TBO.

Houve, de fato, crescimento no faturamento, o que se deve ao fato de que, além da introdução da TBO, procedeu-se a uma revisão tarifária, e não apenas uma mudança na tabela de tarifas em consonância com as pretensões do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que contou com a participação da sociedade e dos poderes públicos constituídos.

Isto foi fundamental, para que mesmo com um crescimento do faturamento, a população percebesse que o sistema de cobrança passou a ser mais justo em sentido amplo, tarifando a disponibilização e consumo, tornando o sistema mais justo.

Quanto ao consumo, pode se perceber que há uma variação discreta, mas que merece uma análise gráfica, para melhor entendimento. Ao observar a Figura 3, percebe-se flutuações positivas e negativas no consumo, sem indicar um ponto de inflexão incisivo.

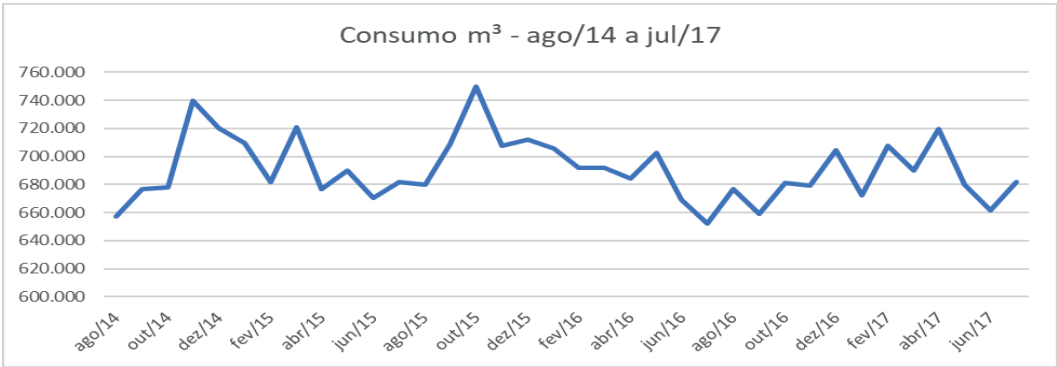


Figura 3 – Comportamento do consumo de água – Jaraguá do Sul

Ao observar os dados desta forma, pode-se ter um entendimento de grandes variações, mas ao se comparar a variação de consumo mensal para o mesmo mês do período imediatamente anterior à introdução da TBO (ago/14 a jul/15), tem-se uma percepção melhor do comportamento do consumo. Tal comportamento pode ser observado

na Figura 4:



Figura 4 – Variação percentual do consumo

Pode-se observar uma discreta diminuição no consumo, entretanto é quase nulo. Assim a interpretação adequada aos dados é de que não houve variações significativas no consumo no período pós implementação do TBO. Assim, este fato não influenciou o consumo. Isso reforça a conclusão da teoria econômica sobre os serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, sendo a demanda é inelástica na medida em que a prestação desses serviços é essencial e apresenta características de monopólio.

Deste modo percebe-se que a introdução da TBO não gerou efeitos negativos no faturamento e arrecadação da SAMAE de Jaraguá do Sul, além de não ter gerado nenhum impacto negativo no consumo deste produto essencial pela população interessada.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

À medida que o conhecimento avança, paradigmas são quebrados e outros são estabelecidos. No caso do saneamento, este artigo evidenciou a quebra de paradigma quanto à forma de cobrança dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Após questionamentos sucessivos realizados pelos clientes, em específico pela cobrança de consumo mínimo, a Justiça vem acatando tais demandas e solicitando às prestadoras de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário a cobrança pelo consumo efetivo. Essa mudança foi avaliada à luz alteração tarifária ocorrida no SAMAE de Jaraguá do Sul.

Embora várias prestadoras de serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário tenham alterado recentemente sua estrutura tarifária, foi utilizado como referência nesse estudo o SAMAE de Jaraguá do Sul.

O SAMAE promoveu a alteração da estrutura tarifária em 09/2015, passando a utilizar uma tarifa fixa pela disponibilidade operacional, denominada de TBO, e uma tarifa variável de acordo com a quantidade de metros cúbicos efetivamente consumidos. Tal mudança não impactou a receita tarifária da prestadora de serviços, pois, a prestação

dos serviços apresentou demanda inelástica, resultado já esperado, visto que se trata de prestação de serviços essencial e monopolista.

Quatro motivos principais levaram a esta mudança, sendo eles: sustentabilidade, isonomia, uso racional, acessibilidade e ação civil pública. A sustentabilidade implica no fato de que tarifa deve permitir recuperar os custos eficientes de prestação do serviço. A isonomia garante que a tarifa reflita os custos que cada tipo de usuário gera na prestação do serviço. O uso racional garante que a tarifa sinalize o uso racional do recurso e minimização do desperdício. Já a acessibilidade possibilita que o valor da tarifa seja de acesso universal e por sua vez a ação civil pública referente aos clientes que ingressaram na justiça para pagamento justo do seu faturamento.

Diversos prestadores de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário possuem estudos avançados ou estão em fase de implantação de metodologias que rompem com a visão tradicional de cobrança pelo consumo mínimo. Sendo assim, as empresas de saneamento seguem a tendência de repensar suas metodologias de cobrança, minimizando eventuais impactos negativos de metodologias que não evoluíram com o passar do tempo.

Portanto, recomenda-se que as orientações e experiências verificadas por este estudo sejam replicadas e aprimoradas pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário que pretendem alterar suas estruturas tarifárias, superando o modelo de consumo mínimo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE REGULAÇÃO E SERVIÇOS PÚBLICOS DE SANTA CATARINA (ARESC). **Gerencia de Regulação**. Florianópolis, 2019.

AGÊNCIA REGULADORA DE SANEAMENTO E ENERGIA. DELIBERAÇÃO ARSESP Nº 866, de 03 de maio de 2019 **Estabelece as diretrizes regulatórias a serem adotadas na elaboração de proposta de nova estrutura tarifária pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp**. São Paulo, 2019.

ARAUJO, F.C. GEOVANA, L.B. Saneamento Básico no Brasil: estrutura tarifária e regulação. **Planejamento e Políticas Públicas** – Brasília: IPEA, jul-dez/18.

BALDISSERA, Antoninho Luiz; PITTA, Ricardo Francisco; SKRIPNIK, Natasha Neves. **1ª REVISÃO TARIFÁRIA ORDINÁRIA E ALTERAÇÃO DA ESTRUTURA TARIFÁRIA DA COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE**. Florianópolis: A, 2021. 54 p. Disponível em: <https://www.aris.sc.gov.br/uploads/edital/6867/NIQsa0ihrqCtvqqUIKDNcZAD4BQYrsux.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2021.

BRASIL. Decreto nº 82.587, de 06 de novembro de 1978. Regulamenta a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978, que dispõe sobre as tarifas dos serviços públicos de saneamento e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D82587impressao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D82587impressao.htm). Acesso em 15 de julho de 2021.

BRASIL. IBGE. PESQUISA DE ORÇAMENTOS FAMILIARES, 2003. **Perfil das despesas no Brasil. Indicadores selecionados.** Rio de Janeiro, IBGE, 2007. Disponível em: [https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa\\_resultados.php?id\\_pesquisa=25](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=25). Acesso: 30/07/2019.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Brasília, DF, 05 jan. 2007

BRASIL. Superior Tribunal Federal. Recurso Extraordinário nº ARE 643351 DF. **Gravo em Recurso Extraordinário. Tarifa Mínima de Consumo de Água. Único Hidrômetro em Condomínio. Impossibilidade de Análise de Legislação Infraconstitucional. Ofensa Constitucional Indireta.** Publicado em 4 de agosto de 2011.

BRASIL. Lei nº 4.162/2019, de 15 de julho de 2020. **Novo marco legal do saneamento.** Disponível em: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acesso em setembro de 2020.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia.** São Paulo: Editora Saraiva, 2001.

HIRATA, Tais. **Empresas privadas de saneamento têm inadimplência de 25% e preveem queda de 48% da receita.** Valor econômico, São Paulo, 16 abr. 2020.

JORDAN, J., 1993. Why Should Utilities Practice Conservation: Perspective from a Small Water Utility. Proc. 1993 Georgia Water Resources Conf., Athens, GA.

JUNIOR, A.H.A. **Gestão estratégica do saneamento.** São Paulo: Editora Manole, 2011.

MARTINS, R. et. al. **Aplicação do Modelo de Tarifa Básica Operacional – Estudo de caso do SAMAE de Jaraguá do Sul.** ASSAMAE, Jaraguá do Sul, de 16 a 19/05/2016.

MELLO, R.A. ZCHORNACK, T., et al. **Paradigmas das estruturas tarifárias em saneamento.** EGC/ICKM, 2019.

PITTA, Ricardo Francisco. **EDUCAÇÃO AMBIENTAL: REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO.** 2018. 28 f. Curso de Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos Para a Gestão Ambiental Municipal de Recursos Hídricos, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Florianópolis, 2018.

SAMAE. **Banco de Dados.** Jaraguá do Sul, 2020.

SAMAE. **Sistema de Informação Gerencial.** Jaraguá do Sul, 2020.

SPANG, Edward S. et al. Consumption-Based Fixed Rates: Harmonizing Water Conservation and Revenue Stability. Journal Awwa, Davis, v. 1, n. 1, p.164-173, 01 mar. 2015.

VENTURI, Aline Zeli. **Cenários Tarifários para Cobrança de Água e Esgoto no Município de Joinville.** Pós Graduação em administração em Administração Pública. Fundação Getúlio Vargas. Joinville, 2010.

WHO - World Health Organization. (Org.). Investing in Water and Sanitation: Increasing Access, Reducing Inequalities. Un Water, Genebra, p.1-12, 2014.

WARKEN, Patricia Callegari. **Estrutura tarifária nos serviços municipais de saneamento**. 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Pública Municipal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

# DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO MÓVEL E PROGRAMA COMPUTACIONAL DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE CHUVA DESTINADOS À CIDADE DO RIO DE JANEIRO-RJ

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Ryan Rodrigues Domingos**

Engenharia Elétrica - Universidade do  
Estado do Rio de Janeiro (UERJ).  
<http://orcid.org/0000-0003-2977-8281>

### **Guilherme Nunes da Silva**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0009-0007-2774-5474>

### **Letícia Delduque Alves**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0002-0739-6875>

### **Caroline Moreira de Souza**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0003-0976-7155>

### **Jaqueline Costa Areas de Almeida**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<https://orcid.org/0000-0002-6104-1469>

### **Allexser Pacheco Bernacchi Alves**

Engenharia Civil - Universidade do Estado  
do Rio de Janeiro.  
<https://orcid.org/0000-0003-3772-4857>

### **Marcelo Obraczka**

Professor Associado do Departamento de  
Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente,  
da Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro  
<https://orcid.org/0000-0002-7322-9223>

### **Alfredo Akira Ohnuma Jr**

Professor Associado do Departamento de  
Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente,  
da Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro  
<https://orcid.org/0000-0002-0772-9334>

**RESUMO:** Devido às condições de estiagens prolongadas jamais observadas na história de dados pluviométricos monitorados desde o ano de 1910, tem sido relevante avaliar outras formas de abastecimento de água, como por exemplo, no uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. As alternativas de suprimento de água atendem não somente às demandas cada vez mais crescentes, mas também para amenizar os efeitos das crises de desabastecimento de água em determinadas regiões. Esse trabalho visa apresentar um aplicativo e um *website* denominado Reservatório de Água de Chuva (RAC-RJ) como proposta

de dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluviais e cálculo do tempo de retorno do investimento, especialmente para a cidade do Rio de Janeiro-RJ. O desenvolvimento dessas tecnologias digitais consiste da análise de séries históricas de mais de 20 anos de dados pluviométricos obtidos de 33 estações automáticas monitoradas pelo Sistema Alerta Rio do Rio de Janeiro-RJ. Foram empregados os métodos de Dias Consecutivos Sem Chuva e da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU N° 001/2005 para o cálculo da capacidade do reservatório. Os resultados obtidos demonstram facilidade de aplicação e operação do aplicativo e do programa computacional para condições de demanda de uso não-potável da água da chuva, fatores meteorológicos e de acordo com a localização geográfica da edificação.

**PALAVRAS-CHAVE:** aproveitamento de água de chuva, reservatório de água de chuva, aplicativo móvel, inovação, tecnologia digitais.

**ABSTRACT:** Due to prolonged drought conditions never before observed in the history of rainfall data monitored since 1910, it has been relevant to evaluate alternative water supply methods, such as the use of rainwater harvesting systems. These water supply alternatives not only meet the increasingly growing demands but also help mitigate the effects of water shortages in certain regions. This study aims to present an application and a website called Rainwater Reservoir (RAC-RJ) as a proposal for sizing rainwater harvesting system reservoirs and calculating the return-on-investment period, especially for the city of Rio de Janeiro, Brazil. The development of these digital technologies involves analyzing historical series of more than 20 years of rainfall data obtained from 33 automatic monitoring stations operated by the Alerta Rio System in Rio de Janeiro. The methods of Consecutive Rainless Days and Resolution SMG/SMO/SMU No. 001/2005 were used to calculate the reservoir capacity. The obtained results demonstrate the ease of application and operation of the application and the computer program for non-potable use demand of rainwater, meteorological factors, and according to the geographical location of the building.

**KEYWORDS:** rainwater harvesting, rainwater reservoir, mobile application, innovation, digital technology.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se observado uma crescente demanda no uso dos recursos hídricos, normalmente ocasionada pelo crescimento populacional acentuado e desordenado nos centros urbanos e devido ao aumento do consumo de água pela população, sendo necessário a implementação de programas de substituição das fontes de abastecimento, como novas formas de apropriação de bens fundamentais à sobrevivência, em substituição às convencionalmente existentes (IPARDES, 2001).

O aproveitamento de água da chuva precipitada nas residências do meio urbano surge como uma opção dadas às condições observadas desde a crise hídrica no ano de 2015, relacionadas aos problemas de desabastecimento e racionalização do uso da água. Além de proporcionar economia de água potável, o aproveitamento de água da chuva pode contribuir também ao amenizar volumes efetivos da precipitação, sobretudo quando



os reservatórios possuem distribuição constante, aplicação em larga escala, e de forma planejada (adaptado Tomaz, 2003). Nesse contexto, sistemas de águas pluviais têm sido utilizados como medidas compensatórias de drenagem urbana, por tratar a água da chuva como elemento de integração dos espaços, além de se apresentarem como soluções de custo reduzido quando comparados às medidas tradicionais, por oferecer fonte alternativa de combate à escassez hídrica e as crises de desabastecimento de água, sobretudo para fins não-potáveis.

Sistemas de aproveitamento de água da chuva relacionam o volume pluviométrico precipitado e a área de captação da cobertura do telhado da edificação de modo a gerar como resultado a precipitação efetiva do local. Dessa forma, as dimensões do reservatório de aproveitamento tornam-se parâmetros físicos essenciais como resultado de cálculo do volume de armazenamento de água da chuva, seja em função do volume de demanda pelo usuário, assim como da oferta pluviométrica da região de interesse. Além disso, na implementação do sistema como um todo, os reservatórios podem representar até cerca de 60% do custo total de instalação, conforme suas dimensões e tipologia construtiva adotada (Callado, 2023).

Assim, programas computacionais para determinação de volumes de aproveitamento de águas pluviais têm sido desenvolvidos de forma flexível para aplicação no sentido de facilitar e otimizar resultados de dimensionamento de reservatórios (Mierzwa, *et al.*, 2007; Moruzzi e de Oliveira, 2010; Ghisi e Cordova, 2014). Quando consolidados, esses programas tornam-se ferramentais de apoio e suporte na tomada de decisão, de modo a não apenas possibilitar o acesso ao conhecimento para diferentes setores sociais e áreas de conhecimento, mas também de garantir resultados respaldados em critérios técnicos e científicos.

O objetivo desse trabalho é apresentar e validar o aplicativo denominado Reservatório de Água de Chuva - RJ (RAC-RJ), e sua extensão em *website*, desenvolvidos de modo a oferecer ao usuário carioca o resultado de cálculo do volume de armazenamento do reservatório de um determinado sistema de aproveitamento de águas pluviais e o tempo de retorno do investimento, a partir de metodologia específica válida para a cidade do Rio de Janeiro, RJ.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O aplicativo intitulado RAC-RJ constitui-se de um *aplicativo* para sistemas operacionais Android®, como ferramenta básica de: 1) dimensionamento de reservatórios de água da chuva disponível de forma exclusiva à cidade do Rio de Janeiro-RJ, com base de cálculo no Método dos Dias Consecutivos Sem Chuva (GROUP RAINDROPS, 2002) e no Método da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU N° 001/2005 (PRJ, 2005); 2) determinação do tempo retorno do investimento, a partir de estimativa de cálculo de

implantação do sistema de captação e aproveitamento da água de chuva, baseado no método de playback simples (Lorenzet, 2013).

O cálculo pelo Método de Dias Consecutivos Sem Chuva considera o estudo dos eventos de máxima estiagem diária consecutiva (dias sem chuva) de uma determinada série histórica. Os registros diários de precipitação são obtidos do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTARIO, 2017), composto por 33 estações pluviométricas automáticas e distribuídas em locais estratégicos do município do Rio de Janeiro. A série histórica analisada para os cálculos necessários deste estudo é composta de 19 anos consecutivos, entre 1997 e 2015.

De cada estação pluviométrica obtém-se dados observados de 15 minutos de modo que se permite determinar a precipitação diária acumulada. Com esses registros, estimam-se volumes totais de origem pluvial para cada zona pluviométrica na condição de oferecer aos usuários por região ou bairro do município o volume máximo aproveitado de chuva, assim como os dias consecutivos secos para suprir determinadas demandas em períodos de estiagem prolongada.

O Método dos Dias Consecutivos Sem Chuva ou Dias Consecutivos Secos (GROUP RAINDROPS, 2002) identifica o maior intervalo consecutivo diário sem chuvas a partir de série histórica de dados de precipitação, com ajuste estatístico de distribuição de frequência de Gumbel para determinado período de recorrência. O método considera precipitações diárias abaixo de 1 mm como dias secos ou sem chuva. A determinação dos dias consecutivos secos, neste trabalho, considera período de retorno de 10 anos ou uma probabilidade de 10% de ocorrer o evento de estiagem num dado ano (Equação 1).

$$x = \bar{x} - \sigma \left[ 0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left( \ln \frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (1)$$

Sendo  $x$  Dias consecutivos secos da série histórica selecionada; Média dos dias secos consecutivos;  $\sigma$  Desvio padrão da amostra;  $TR$  Período de retorno em anos.

A determinação do volume de armazenamento ou de preservação  $V_{res}$  considera a demanda diária de água ( $D_{ap}$ ) para fins não-potáveis, assim como os dias consecutivos secos ou de estiagem ( $Est$ ) a partir da equação (2).

$$V_{res} = Est \times D_{ap} \quad (2)$$

Para determinação da estiagem máxima considera-se o número de dias consecutivos secos observados em cada ano da série histórica analisada das estações pluviométricas pertencentes ao Sistema Alerta Rio (ALERTA RIO, 2017). Na elaboração do aplicativo identificam-se como opção ao usuário a seleção da localidade da área de estudo distribuída, de forma adaptada aos bairros cariocas (Portal Geo, 2017). Cada bairro obteve de maneira restrita a influência de uma determinada estação pluviométrica de modo a estabelecer no cálculo dos dias secos consecutivos a correspondência ao local selecionado.

Após determinar a estiagem  $Est$  do bairro ou o número de dias secos do local, multiplica-se esse valor pela demanda diária total de água  $D_{ap}$  na residência pelo usuário, para fins não potáveis de modo a resultar no volume do reservatório  $V_{res}$  necessário para o aproveitamento de água da chuva, relacionado aos períodos de estiagens prolongadas. O cálculo da demanda diária média de água considera os valores por aparelho sanitário da Tabela 1.

| Uso                              | Cálculo                                                                          |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Vaso Sanitário c/ Válvula Hidra  | (5 descargas/dia) x (12 litros/descarga) x Número de pessoas                     |
| Vaso Sanitário c/ Caixa Acoplada | (5 descargas/dia) x (6 litros/descarga) x Número de pessoas                      |
| Torneira para limpeza de jardim  | Área do jardim (m²) x dias de lavar jardim (dias / mês) x 2 (litros/dia/m²)      |
| Torneira para limpeza de pisos   | Área de limpeza (m²) x dias de limpeza (dias / mês) x 2 (litros/dia/m²)          |
| Limpeza de veículo               | Número de carros x dias de lavar carro (dias / mês) x 150 (litros / carro / dia) |

Tabela 1 – Valores médios de consumo de água na edificação (adaptado TOMAZ, 2009)

O Método proposto pela Resolução Conjunta N° 001 SMG/SMO/SMU (PRJ, 2005) preconiza a capacidade do reservatório de acumulação em função da localização do empreendimento nas áreas de planejamento da cidade do Rio de Janeiro pela equação (3).

$$V_{res} = 0,15 \times A_i \times h \tag{3}$$

Sendo:  $V_{res}$  o volume do reservatório (m³),  $A_i$  a área de cobertura do telhado (m²) e  $h$  a altura de chuva (em metros) em função das áreas de planejamento do município do Rio de Janeiro. Edificações localizadas nas áreas de planejamento 1, 2 e 4 utilizam  $h = 0,06$  m, e aquelas localizadas nas áreas de planejamento 3 e 5 consideram o valor de  $h = 0,07$  m.

De forma geral, a cidade do Rio de Janeiro é composto de 5 grandes áreas de planejamento, que correspondem às regiões político – administrativas da cidade. Para as áreas de planejamento 1, 2 e 4, constam localizadas as estações pluviométricas: Vidigal, Urca, Rocinha, Tijuca, Santa Teresa, Copacabana, Grajaú, Jacarepaguá/Tanque, Saúde, Jardim Botânico, Barra/Barrinha, Jacarepaguá/Cidade de Deus, Barra/Riocentro, Est. Grajaú/Jacarepaguá, Grota Funda, Alto da Boa Vista, Recreio dos Bandeirantes, Laranjeiras, São Cristóvão e Tijuca/Muda. Para as áreas de planejamento 3 e 5, consideram-se as estações pluviométricas: Ilha do Governador, Penha, Madureira, Irajá, Bangu, Piedade, Guaratiba, Santa Cruz, Grande Méier, Anchieta, Campo Grande, Sepetiba e Av. Brasil/Mendanha.

De modo similar ao cálculo da estiagem localizada, cada área de planejamento

obteve associação junto aos bairros, com objetivo de se determinar o local da área de cobertura do telhado e as alturas de chuva, definidas pela Resolução Conjunta N° 001 SMG/SMO/SMU (PRJ, 2005). Este método diferencia-se do Método de Dias Consecutivos Sem Chuva (MDCS) ao incluir a área de captação ou de cobertura da edificação, no entanto despreza-se o valor de demanda de água do usuário. A determinação do volume de armazenamento de águas pluviais considera o maior valor entre os obtidos dos dois métodos (Jacob *et al.*, 2016). Integrado ao sistema de aproveitamento de águas pluviais, dimensiona-se também o volume de descarte inicial ou de *first flush*, considerado elemento fundamental no tratamento da água de chuva armazenada, definido para a lavagem do telhado os primeiros 2 milímetros de chuva.

Na determinação dos volumes de aproveitamento de águas pluviais obtidos como resultado de simulação deste trabalho foi considerada demanda fixa por região ou bairro identificado pelas estações pluviométricas. Os dados de consumo de água são válidos para 01 (uma) unidade habitacional de caráter unifamiliar composta por 03 (quatro) pessoas, com projeção de aproveitamento de 90 m<sup>2</sup> de área de cobertura do telhado da edificação e: 10 m<sup>2</sup> de área para limpeza de piso, 20 m<sup>2</sup> de área para irrigação de jardim, lavagem de 01 veículo e uso de vaso sanitário com caixa acoplada. De maneira respectiva, as frequências mensais de uso dessas atividades são: 2 limpezas de piso, 2 vezes a irrigação e 2 lavagens de veículos.

O aplicativo RAC-RJ também determina os custos de implantação do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva, cujos resultados detalhados dos volumes de armazenamento compreendem 2 (dois) cenários distintos de demanda mensal não potável em: (1) limpeza de pisos, irrigação de jardins e lavagem de veículos e (2) cenário (1) mais a demanda em bacia sanitária com caixa acoplada. O *aplicativo* calcula também o tempo de *payback simples* de modo a obter o prazo de recuperação do investimento aplicado no sistema de aproveitamento de água de chuva, com análise corrigida no tempo, devido às perdas anuais do valor monetário pela inflação (IPCA, 2016). O cálculo dos custos de materiais teve como referência preços pesquisados de fornecedores de referência em materiais de construção, como: Leroy Merlin, Casa & Construção e Amoedo, via consulta de *internet*. Além do custo total relacionado a metragem das tubulações, adicionam-se:

- 15% na metragem final, devido as conexões e válvulas (ABNT/NBR 5626/98);
- 40% para mão de obra (Perez, 2001) e
- 27,5% de Benefícios e Despesas Internas (BDI), de acordo com a Tabela de Composição de Preços Orçamentários (TCPO, 2012).

Na estimativa de custo final do sistema utilizou-se a inflação anual de 6,9% (Oliveira, 2016) de modo a determinar o tempo em que se efetiva o *payback* do investimento, além de considerar os critérios de cobrança da Companhia Estadual de Águas e Esgoto da cidade do Rio de Janeiro, cujas tarifas são diferenciadas entre duas grandes áreas de

abrangência, como tarifa A e tarifa B (CEDAE, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cálculo do número de dias consecutivos secos utiliza dados de chuva diários obtidos das estações pluviométricas localizadas na cidade do Rio de Janeiro de modo a resultar o mapa de isolinhas (Figura 1), construído pelo *Método de Krigagem* a partir do programa *Surfer* e período de recorrência de 10 anos, como representação e distribuição espacial das regiões afetadas pelas estiagens (Jacob, *et al.*, 2016).

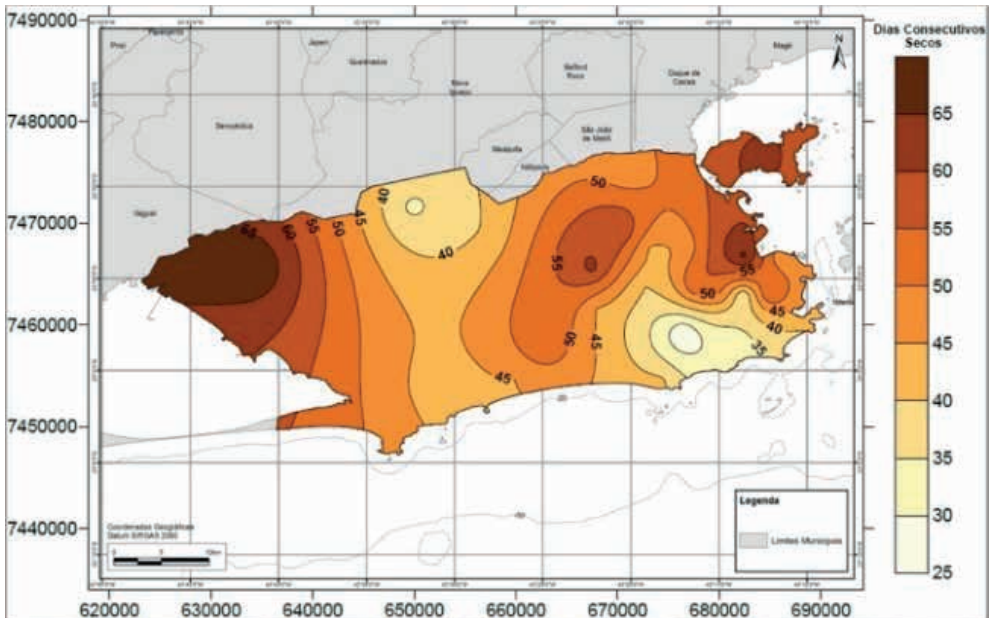


Figura 1: Dias consecutivos secos observados com tempo de retorno de 10 anos na cidade do Rio de Janeiro-RJ (JACOB, *et al.*, 2016).

Como exemplo de operação do aplicativo RAC-RJ para determinação da demanda de água não potável pelo usuário, foi considerado o aproveitamento da água da chuva em 2 cenários distintos: (1) soma do uso não potável em limpeza de pisos, irrigação de jardins e lavagem de veículos com total de 420 litros ao mês e (2) soma do cenário (1) mais o uso em bacia sanitária com caixa acoplada, com total de 3120 litros ao mês.

A Figura 2 ilustra a tela inicial e a tela de entrada de dados no aplicativo para o dimensionamento do reservatório. Na tela inicial é possível observar as funcionalidades de navegação disponíveis ao usuário, com os botões: Sobre o App; Utilizando o Programa, Dimensionamento, Sobre o Rio de Janeiro, Custo de Implementação, Coleta de Águas e Referências e Sair. A tela de entrada dados para o dimensionamento do sistema aproveitamento de água de chuva, consiste na principal funcionalidade do aplicativo, pois

é onde o usuário insere os dados de entrada para a obtenção das dimensões do sistema e do tempo de retorno do investimento, como: bairro onde pretende instalar o sistema de água de chuva na cidade do Rio de Janeiro, área do telhado, área de jardim (se disponível), número de dias ao mês em que rega o jardim, número de veículos (se disponível), número de lavagens de veículo ao mês, área de limpeza, número de vezes que realiza a limpeza ao mês, número de moradores da residência e o tipo de válvula de descarga do vaso sanitário (Portal Geo, 2017; Tomaz, 2009).

**Dimensionamento**

**Dados Gerais**  
 Bairro no distrito do Rio de Janeiro?  
 Recreio dos Bandeirantes

**Telhado**  
 Área m²  
 100

**Jardim**  
 Área m²  
 20  
 Quantidade de lavagens ao mês  
 5  
 Número de dias  
 2  
 Quantidade de lavagens ao mês  
 2

**Área de limpeza**  
 Área m²  
 20  
 Quantidade de limpezas ao mês  
 5

**Vaso sanitário**  
 Quantidade de pessoas na residência  
 2  
 Tipo de válvula  
 Caixa Acoplada

**LIMPAR** **CALCULAR**

Figura 2: Layout das telas inicial e de entrada de dados de dimensionamento do aplicativo RAC-RJ e exemplo de cálculo de demanda no bairro Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro-RJ.

O reservatório comercial considera as dimensões disponíveis no mercado, em atendimento ao volume superior calculado imediatamente acima do reservatório teórico. Na obtenção do reservatório comercial, estima-se o valor do custo implementação do sistema captação e aproveitamento de água da chuva (em elaboração), baseado em premissas técnicas e específicas de: área de cobertura, calhas, condutores verticais e horizontais, localização do reservatório de água de chuva, filtros, sistema de recalque, etc. A Figura 3 apresenta um exemplo da tela dos resultados da simulação realizada no aplicativo RAC-RJ, de uma residência no bairro do Recreio dos Bandeirantes.



Figura 3: Resultado do dimensionamento do reservatório de água de chuva, custos e tempo de retorno do investimento, de acordo com o cálculo do consumo de água não potável numa edificação do bairro do Recreio dos Bandeirantes

O sistema online de dimensionamento de reservatório de água de chuva, disponível para moradores da cidade do Rio de Janeiro-RJ, encontra-se publicado e atualizado no site do projeto de Sistemas de Águas Pluviais em disponível em <http://www.projetosap.uerj.br/> (acesso em 10 de setembro de 2023).

No acesso ao sistema online de dimensionamento do reservatório de água de chuva, abre-se a janela de entrada de dados, relacionados à: data da simulação de forma automática, de acordo com o calendário gregoriano; seleção da região de interesse por bairro da cidade do Rio de Janeiro-RJ; área do telhado da edificação; área de irrigação do jardim (quando houver) e frequência de uso; área de limpeza de pisos e calçamentos e frequência de uso; número de veículos que realiza lavagens em casa (quando houver) e frequência de uso; bacia sanitária com caixa acoplada ou válvula hidra (Figura 4).

## Dimensionamento de Reservatório

**Dados Gerais**

**Data:**

**Região:**

**Dados de consumo de água**

**Telhado**

**Área do Telhado (m²):**

**Irrigação**

**Área de Jardim para Irrigação (m²):**

**Nº de dias de irrigação do jardim no mês?**

**Limpeza**

**Área de limpeza (m²):**

**Quantas vezes faz limpeza por mês?**

**Lavagem de veículos**

**Quantidade de Veículos:**

**Quantidade de vezes que lava o veículo por mês?**

**Vaso Sanitário**

**Nº de pessoas na residência:**

**O vaso sanitário aproveita água de chuva?** ☒ Sim ☐ Não

**Tipo de válvula:** ☐ Hidra ☒ Caixa Acoplada

Figura 4: Sistema online de dimensionamento do reservatório de água de chuva RAC-RJ, disponível em <http://www.projetosap.uerj.br/> (acesso em 10 de setembro de 2023)

Após a entrada de dados pelo usuário, o resultado do dimensionamento do reservatório é apresentado na tela seguinte, com a estimativa do tempo de retorno do investimento (Figura 5). No detalhamento dos resultados, constam informações aproximadas, sobretudo na estimativa de custos, cuja referência considera telhado com dimensões no formato de área quadrada e pé direito da edificação de 3 metros, com condutor horizontal responsável



por conectar os condutores verticais até o reservatório de água da chuva.

Resultado:

|                                                         |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| Volume do reservatório teórico                          | 2.784 litros |
| Volume do reservatório comercial                        | 2.850 litros |
| Volume First Flush (separação inicial da água da chuva) | 100 litros   |
| Custo do reservatório comercial                         | R\$ 1.359,45 |
| Custo do sistema sem calhas                             | R\$ 3.169,96 |
| Custo do sistema com calhas                             | R\$ 8.242,81 |
| Consumo médio de água por dia                           | 92,80 litros |
| Tempo de retorno do investimento sem calhas             | 10 meses     |
| Tempo de retorno do investimento com calhas             | 25 meses     |

(\*) Valor estimado de custo de instalação do sistema incluso material e mão de obra do ano-base 2021.  
(\*\*) Payback-simples com base na estrutura tarifária da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE-RJ), publicado no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, pág.14 ano XLJ - nº 114 - parte 1, de 30 de Junho de 2015.

Figura 5: Resultados do sistema online de dimensionamento do reservatório de água de chuva

Ao final do cálculo, os resultados dos cálculos realizados, tanto no *aplicativo* quanto no *website*, são armazenados em um banco de dados de acesso restrito aos administradores do sistema (Figura 6).

Região

Buscar

Gerar planilha

| ID | Região            | Área do telhado | Área de irrigação | Qtd de pessoas | Acionamento da válvula | Área de limpeza | Volume do reservatório teórico | Volume do reservatório comercial | Custo do reservatório | Custo do sistema sem calhas | Custo do sistema com calhas | Recuperação do investimento sem calhas | Recuperação do investimento com calhas |        |
|----|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------|
| 19 | Alto da Boa Vista | 20 m²           | 5 m²              | 2              | 6                      | 2 m²            | 1.972,00                       | 2.060,00                         | 1.210,00              | 2.688,00                    | 5.332,00                    | 13 meses                               | 23 meses                               | Apagar |
| 18 | Andaraí           | 5888 m²         | 289 m²            | 858            | 6                      | 588 m²          | 52.992,00                      | 53.000,00                        | 20.770,00             | 39.808,00                   | 76.618,00                   | 7 meses                                | 13 meses                               | Apagar |
| 17 | Vidigal           | 20 m²           | 10 m²             | 4              | 6                      | 10 m²           | 4.112,00                       | 4.200,00                         | 2.152,00              | 4.666,00                    | 7.110,00                    | 10 meses                               | 15 meses                               | Apagar |
| 16 | Rocinha           | 20 m²           | 10 m²             | 4              | 12                     | 10 m²           | 9.825,00                       | 9.850,00                         | 4.249,00              | 8.625,00                    | 11.068,00                   | 8 meses                                | 10 meses                               | Apagar |
| 15 | Rocinha           | 20 m²           | 10 m²             | 4              | 12                     | 2 m²            | 9.792,00                       | 9.850,00                         | 4.249,00              | 8.625,00                    | 11.068,00                   | 8 meses                                | 10 meses                               | Apagar |
| 14 | Barra/Barrinha    | 5 m²            | 10 m²             | 3              | 6                      | 50 m²           | 8.800,00                       | 8.850,00                         | 3.885,00              | 7.938,00                    | 9.319,00                    | 8 meses                                | 9 meses                                | Apagar |
| 13 | Rocinha           | 30 m²           | 60 m²             | 2              | 6                      | 10 m²           | 5.530,00                       | 5.600,00                         | 2.306,00              | 4.958,00                    | 7.880,00                    | 8 meses                                | 12 meses                               | Apagar |
| 12 | Copacabana        | 50 m²           | 10 m²             | 2              | 6                      | 10 m²           | 2.537,00                       | 2.600,00                         | 1.343,00              | 3.138,00                    | 6.818,00                    | 11 meses                               | 23 meses                               | Apagar |
| 11 | Barra/Barrinha    | 20 m²           | 20 m²             | 2              | 12                     | 30 m²           | 6.002,00                       | 6.100,00                         | 2.455,00              | 5.238,00                    | 7.682,00                    | 8 meses                                | 11 meses                               | Apagar |
| 10 | Alto da Boa Vista | 133 m²          | 25 m²             | 4              | 6                      | 45 m²           | 4.576,00                       | 4.600,00                         | 230.615,00            | 495.686,00                  | 1.075.856,00                | 10 meses                               | 20 meses                               | Apagar |

Figura 6: Tela com histórico de simulações realizadas no aplicativo RAC-RJ e sistema online de dimensionamento de reservatórios de água de chuva na cidade do Rio de Janeiro

O banco de dados permite a criação de um histórico de simulações realizadas, no qual também é possível gerar uma planilha para análise estatística e discussão detalhada, quanto: ao consumo de água não potável, frequência de uso, dimensionamento do sistema e custos.

No desenvolvimento do sistema computacional, os autores possuem patente de Programa de Computador com número de registro: BR 51 2016 001436-9, data de

criação: 14 de junho de 2016, válido por 50 anos, intitulado: “*RAC - Sistema de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Água de Chuva*” pela Instituição de Registro INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Ohnuma Jr. e Reis, 2016), BR 51 2017 000305-0, data de criação: 30 de novembro de 2017, válido por 50 anos, intitulado: “*Sistema online para dimensionamento de Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva*” pela Instituição de Registro INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Ohnuma Jr. e Santos, 2017) e processo de submissão de registro BR 51 2021 002807-4, data de submissão: 25 de novembro de 2021, intitulado: “*SAP-RJ – Sistemas de aproveitamento de água de chuva aplicado aos bairros cariocas*” pela Instituição de Registro INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Domingos, et al., 2021).

## CONCLUSÕES

O desenvolvimento do *aplicativo* e do *website* denominados Reservatório de Água de Chuva para o Rio de Janeiro pode trazer benefícios socioambientais, sobretudo por apresentar critérios técnicos e de abrangência para os bairros ou regiões administrativas da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, na apresentação dos custos de implantação e do tempo de retorno do investimento, é possível o usuário estimar o valor de material e mão de obra dos serviços de instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva, com e sem sistema de calhas, bem como o tempo de recuperação do investimento inicial.

O *aplicativo* e o *website* apresentados como RAC-RJ obtém dados de consumo de água não potável da população da cidade do Rio de Janeiro e dimensiona volumes de reservatórios, conforme metodologias específicas. No cálculo de volumes para grandes áreas de coberturas, o volume de armazenamento pelo método da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº 01/2005 supera o resultado de volume calculado pelo MDCS. Assim, é fundamental análise das condições locais em favor da segurança, além de não sobrecarregar os custos do projeto.

Dessa forma, tanto o aplicativo quanto o sistema online se propõem a fornecer dados de forma simples como ferramenta de cálculo disponível a população, sem esgotar as possibilidades de aprimoramento e de outros métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva.

## REFERÊNCIAS

ABNT/NBR 5626/1998. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Instalação Predial de Água Fria. Set, 1998.

ALERTA RIO. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Registro de dados pluviométricos. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/>. Acesso em 10/09/2023.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. Estrutura Tarifária. Data-base: Agosto de 2016. Disponível em: [https://www.cedae.com.br/Portals/0/Estrutura\\_tarifaria\\_2016.pdf](https://www.cedae.com.br/Portals/0/Estrutura_tarifaria_2016.pdf). Acesso em 10/09/2023.

DOMINGOS, R.R.; SOUZA, W.H.S.; SOUZA, C.M.; ALVES, L.D.; OBRACZKA, M.; OHNUMA JR., A.A. SAP-RJ – Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva aplicado aos bairros cariocas. Registro BR512021002807-4. Data 24/11/2021.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4**. Manual do usuário. Universidade Federal de Santa, Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, jun. 2014 Disponível em: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4\\_Junho2014.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4_Junho2014.pdf). Acesso em: 10/09/2023.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da água da chuva. KOBIYAMA et al. (tradução). Curitiba-PR, Organic Trading, 196 p. 2002.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Agenda 21. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Curitiba: Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e social – IPARDES, 2001. 260p.

IPCA. Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo. Banco Central. Brasília, 2016.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Manual para Captação Emergencial e Uso Doméstico de Água de Chuva. São Paulo – SP. Jul, 2015. Disponível em: [http://www.ipt.br/download.php?filename=1200-Manual\\_para\\_captacao\\_emergencial\\_e\\_uso\\_domestico\\_de\\_AGUA\\_DA\\_CHUVA.pdf](http://www.ipt.br/download.php?filename=1200-Manual_para_captacao_emergencial_e_uso_domestico_de_AGUA_DA_CHUVA.pdf). Acesso em 10/09/2023.

JACOB, R.V.B., OHNUMA JR, A.A., SICILIANO, W.C., REIS, A.W. DE OLIVEIRA, I. Dias Consecutivos Secos para Estimativa de Volumes de Aproveitamento de Águas Pluviais em Períodos de Estiagem na Cidade do Rio De Janeiro. *In: Anais do 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Belém-PA. 15-18 Nov, 2016.

LORENZET, L. Análise da Viabilidade de Investimento de uma Empresa do Ramo de Distribuição de Gás Natural Comprimido (GNC), 2013.

MIERZWA, J. C. *et al.* Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. REGA. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 4, p. 29-37, 2007.

MORUZI, R.B.; DE OLIVEIRA, S.C. aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial da cidade de Ponta Grossa, PR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.2, nº. 2. Abr, 2010.

OHNUMA JR., A.A.; REIS, A.W.Q.R. Sistema Computacional RAC-RJ - Sistema de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Água de Chuva. Registro BR5120161436-9. 20/10/2016.

OHNUMA JR., A.A.; SANTOS, M.B. Sistema online para dimensionamento de reservatório de aproveitamento de água de chuva. Registro BR512017000305-0. 30/11/2017.

OLIVEIRA, K. Banco Central Projeta Inflação de 6,9% para 2016. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-06/banco-central-projeta-inflacao-de-69-para-este-ano>. Acesso em: 10/09/2023.

PEREZ, R. Qual o Percentual que Devo Usar Para Orçar o Custo de Mão-de-Obra em Relação ao Custo Total Previsto da Obra? Quais Serviços Compõem essa Mão-de-Obra (Inclui Serviços de Pintura por Exemplo)? Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/qual-o-percentual-que-devo-usar-para-orcar-o-custo-83163-1.aspx>. Acesso em 10/09/2023. Matéria publicada em 28/06/2001.

PORTAL GEO. Armazém de Dados. Banco de Dados dos bairros cariocas. Disponível em: [http://portalgeo.rio.rj.gov.br/bairros Cariocas/index\\_bairro.htm](http://portalgeo.rio.rj.gov.br/bairros Cariocas/index_bairro.htm). Município do Rio de Janeiro. Acesso em 10/09/2023.

PRJ/SMG/SMO/SMU. Secretaria Municipal de Urbanismo da cidade do Rio de Janeiro. **Resolução Conjunta** SMG/SMO/SMU n° 1/2005 que disciplina os procedimentos a serem observados no âmbito das secretarias no cumprimento do Decreto n° 23940 de 30/01/2004.

TCPO 14. Tabela de Composições de Preços Orçamentários. Pini, 2012.

TOMAZ P. Previsão de Consumo de água não potável - Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, 2009.

TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva. 1 ed. São Paulo: Navegar, 2003. 183 p.

# GESTÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NA GRPM

---

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Ricardo Luiz Borges**

Graduado em Administração de Empresas. Pós graduando em Gestão Estratégica de Negócios - Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.  
Patos de Minas - MG - Brasil

### **Saulo de Lima Bernardes**

Engenheiro Civil pela Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG. Pós graduado em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET MG.  
Patos de Minas - MG - Brasil

**RESUMO:** Para cumprir o compromisso da Copasa, de buscar “a universalização dos serviços de água e esgoto, com qualidade e de forma sustentável”, a Gerência Regional Patos de Minas - GRPM realiza a gestão contínua de sua interação com o ambiente em que atua. O cuidado com os impactos sempre foi presente na rotina operacional, embora seu acompanhamento não fosse evidenciado de forma estruturada. Para preenchimento dessa lacuna, a GRPM buscou inovar seu processo de gestão

dos aspectos e impactos socioambientais, implantando uma prática que promovesse a interação da gerência e empregados com reflexos da operação no meio ambiente e sociedade. Desenvolveu-se, então, um modelo cujo desenvolvimento contou com a cooperação de áreas corporativas, unidade de negócio, gerencial regional e sistemas, sendo estes últimos o foco dos trabalhos, por ser onde ocorrem todos os processos produtivos. Na rotina operacional de suas unidades, identifica os aspectos e trata os impactos sociais e ambientais negativos de seus produtos, processos e instalações por meio do PAMDA – Plano Anual de Melhoria do Desempenho Socioambiental, desenvolvido com base em requisitos da NBR ISO 14001, principal referência ambiental disponível no mercado. As equipes operacionais identificam os aspectos adversos e os analisam conforme legislação pertinente, utilizando-se a planilha Laisa – Levantamento dos Aspectos e Impactos Socioambientais. Verificado o não atendimento à regularidade ou a existência de passivos sociais e ambientais, são geradas ações de tratamento, registradas no PAMDA. A relação entre impactos identificados e mitigados gera um índice de conformidade, expresso no indicador MISA

– Mitigação de Impactos Socioambientais. O PAMDA tem revisão anual e monitoramento trimestral. Todo o processo é orientado pelo padrão “PGP DOP Gestão dos Aspectos e Impactos Socioambientais”.

**PALAVRAS-CHAVE:** Impactos, ambientais, sociais, mitigação, PAMDA.

## MANAGEMENT OF SOCIAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS AND IMPACTS AT GRPM

**ABSTRACT:** To fulfill Copasa’s commitment to seek “the universalization of water and sewage services, with quality and in a sustainable way,” the Regional Management Patos de Minas - GRPM performs continuous management of its interaction with the environment in which it operates. Care with impacts has always been present in the operational routine, although its follow-up was not evidenced in a structured way. To fill this gap, GRPM sought to innovate its management process of socio-environmental aspects and impacts, implementing a practice that promoted interaction between management and employees with reflections of the operation on the environment and society. A model was then developed, with the cooperation of corporate areas, the business unit, regional management, and systems, the latter being the focus of the work, as it is where all production processes take place. In the operational routine of its units, it identifies aspects and deals with the negative social and environmental impacts of its products, processes, and facilities through the PAMDA - Annual Plan for the Improvement of Social and Environmental Performance, developed based on the requirements of NBR ISO 14001, the main environmental reference available on the market. The operational teams identify the adverse aspects and analyze them according to the relevant legislation, using the Laisa worksheet - Survey of Socio-environmental Aspects and Impacts. Once non-compliance with regularity is verified or the existence of social and environmental liabilities, treatment actions are generated, registered in the PAMDA. The relationship between identified and mitigated impacts generates a compliance index, expressed in the MISA indicator - Mitigation of Socio-environmental Impacts. The PAMDA has an annual review and quarterly monitoring. The entire process is guided by the “PGP DOP Management of Socio-environmental Aspects and Impacts” standard.

**KEYWORDS:** Impacts, environmental, social, mitigation, PAMDA.

## INTRODUÇÃO

A oportunidade de se implantar a prática de gestão surgiu a partir do desafio de alinhamento da forma de tratamento dos impactos sociais e ambientais aos requisitos do MEGSA - Modelo de Excelência em Gestão do Saneamento Ambiental, seguindo os critérios de avaliação do PNQS – Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento. A prática também contribuiria para o atendimento de compromissos e objetivos estratégicos da Copasa.

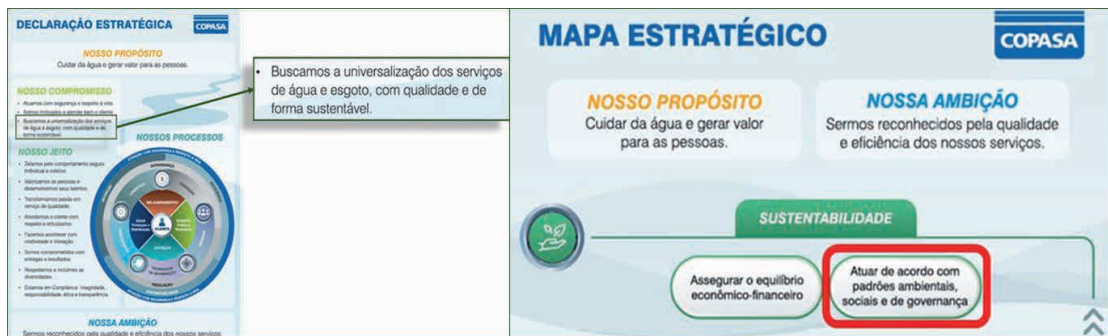


Figura 1 – Declaração Estratégica / Mapa Estratégico - Copasa

A identificação de aspectos e tratamento de impactos sociais e ambientais negativos dos produtos, processos e instalações, desde o projeto até a disposição final, apresentou lacunas quanto à abrangência da prática. Na fase de projetos, evidenciava-se o tratamento sistematizado, corporativamente, com apoio das unidades operacionais, por meio de estudos de impactos, que subsidiavam os pedidos de licenciamento para implantação dos empreendimentos. Na rotina operacional, no entanto, a prática não estava estruturada de forma a abranger todas as unidades. A atividade de Identificação de Aspectos e tratamento de Impactos era realizada por equipes dos Distritos Operacionais e as avaliações ocorriam nas cidades sedes desses distritos. O trabalho era realizado por um grupo reduzido sem o envolvimento da força de trabalho ou lideranças, sendo que a estas últimas, cabia somente a aprovação das ações definidas. Ainda que se apresentasse como um modelo adequado, orientado por requisitos na ABNT NBR ISO 14001, demandava tempo excessivo na avaliação das unidades e na elaboração dos documentos. Como forma de gerenciamento de ações no âmbito do distrito, produzia-se um plano de melhorias (PMDA) com base nas informações obtidas e os impactos eram tratados, por analogia das atividades das unidades, de forma global. O tratamento dos impactos adversos não contava com padronização, sendo os mesmos abordados com ações pontuais.

## OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é demonstrar a funcionalidade de uma prática que é importante ferramenta para gestão socioambiental na Copasa. O modelo desenvolvido tornou a identificação e o tratamento de impactos ambientais e sociais mais objetivos, com maior entendimento pelas pessoas. Na fase de projetos da companhia, evidenciava-se o tratamento sistematizado, corporativamente com apoio das unidades operacionais, por meio de estudos de impactos, que subsidiavam os pedidos de licenciamento para implantação dos empreendimentos. Na rotina operacional, no entanto, a prática não estava estruturada de forma a abranger todas as unidades. A atividade de Identificação de

Aspectos e tratamento de Impactos era realizada por equipes dos Distritos Operacionais (hoje denominados Gerências Regionais) e as avaliações ocorriam nas cidades sedes dos distritos. O trabalho era realizado por um grupo reduzido sem o envolvimento da força de trabalho ou lideranças, sendo que a estas últimas, cabia somente a aprovação das ações definidas. Ainda que se apresentasse como um modelo adequado, orientado por requisitos na ABNT NBR ISO 14001, demandava tempo excessivo na avaliação das unidades e na elaboração dos documentos. Como forma de gerenciamento de ações no âmbito do distrito, produzia-se um plano de melhorias (PMDA) com base nas informações obtidas e os impactos eram tradados, por analogia das atividades das unidades, de forma global.

| COPASA                                                                                                               |                                      | ASPECTOS AMBIENTAIS DO SISTEMA         |                                                                                             | Folha:                                         | Revisão:                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| UN. ORG. SIGLA: PMPM                                                                                                 |                                      | LOCALIDADE: Patos de Minas             |                                                                                             | SAA <input checked="" type="checkbox"/>        | SES <input type="checkbox"/>                                                        |
| CÓDIGO ASPECTO                                                                                                       | ASPECTOS IDENTIFICADOS               |                                        | UNIDADE OPERACIONAL                                                                         |                                                |                                                                                     |
| CAPT 01 - 01<br>AAB 03 - 16<br>AAB 04 - 19<br>ETA 02 - 32<br>ETA 03 -<br>ETA 04 -<br>ETA 06 -<br>RDA 03 -<br>FROT 02 | 01. Consumo de água do Rio Paranaíba |                                        | Captação<br>Adutora de Água Bruta<br>Adutora de Água Bruta<br>Estação de Tratamento de Água |                                                |                                                                                     |
| COPASA                                                                                                               |                                      | DIRECIONAMENTO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS |                                                                                             |                                                | FOLHA: 05                                                                           |
| UN. ORG. SIGLA: DTPM                                                                                                 |                                      | LOCALIDADE: Patos de Minas             |                                                                                             |                                                |                                                                                     |
| CÓDIGO ASPECTO                                                                                                       | ASPECTO AMBIENTAL                    | LEGISLAÇÃO PERTINENTE                  | SITUAÇÃO ATUAL                                                                              | CONCLUSÃO                                      |                                                                                     |
| ➤ AAB 02-11<br>EEAB 01-05<br>EEAT 01-38<br>AAT 01 - 55<br>OF 01- 70                                                  | COPASA                               |                                        |                                                                                             |                                                | Folha: 03                                                                           |
| UN. ORG. SIGLA: DTPM                                                                                                 |                                      | LOCALIDADE: PATOS DE MINAS             |                                                                                             |                                                |                                                                                     |
| ASPECTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO: Lançamento de pilhas e lâmpadas fluorescentes usadas no lixo comum                  |                                      |                                        |                                                                                             |                                                |                                                                                     |
| META: Selecionar lixo tóxico                                                                                         |                                      |                                        |                                                                                             |                                                |                                                                                     |
| ELABORADO POR:                                                                                                       | QUEM                                 | QUANDO                                 | ONDE                                                                                        | PORQUE                                         | COMO                                                                                |
| ➤ Implantar coleta seletiva de lixo                                                                                  | João Marcão                          | Diariamente                            | ➤ Sistema de Abastecimento de Patos de Minas                                                | ➤ Para evitar contaminação do ar, solo e água. | ➤ Separando lixo tóxico do lixo comum e destinando à entidades para aproveitamento. |
| ELABORADO POR: Gestores do Impacto Ambiental PMPM                                                                    |                                      |                                        |                                                                                             |                                                | ORÇAMENTO                                                                           |
|                                                                                                                      |                                      |                                        |                                                                                             |                                                | ➤ Lixeiras R\$120,00                                                                |
|                                                                                                                      |                                      |                                        |                                                                                             |                                                | DATA: 05/02/01                                                                      |

Figura 2 – Formulários do PMDA

O tratamento dos impactos adversos não contava com padronização, sendo os mesmos abordados com ações pontuais. A padronização do processo teve como objetivo integrar a identificação e o tratamento de eventuais e potenciais passivos em formatação que possibilitasse uma visualização global e a quantificação de ações propostas para a mitigação dos impactos identificados. A forma de abordagem das questões, por meio de check list, tornou-se o principal fator de originalidade do processo, pois proporciona facilidade de entendimento das questões abordadas e, conseqüentemente, agilidade na verificação de ocorrência de impactos. O padrão que orienta a prática é o PGP - DOP-1033/0 Gestão dos Aspectos e Impactos Socioambientais

Na planilha Laisa – Levantamento dos Aspectos e Impactos Socioambientais, são relacionados os processos da unidade:



- Água – captação, adução, tratamento, reservação e distribuição;
- Esgoto – coleta, transporte e tratamento;
- Processos de suporte.

| LEVANTAMENTO DE ASPECTOS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS<br>- LAISA - |                             |                  |                                                   |                |                                                            | LOTAÇÃO                                   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | REVISÃO        |        |        |  |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|--------|--------|--|
|                                                                  |                             |                  |                                                   |                |                                                            | DOP / UNOE / GRPM                         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 2022           |        |        |  |
| Código / Processo                                                | Código / Aspecto            | Código / Impacto | Classificação                                     | Direcionamento | Tratamento / Controle                                      | ATENDE / N. NÃO ATENDE / NA NÃO APLICÁVEL |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | N. ATENDIMENTO | %      |        |  |
|                                                                  |                             |                  |                                                   |                |                                                            | GM                                        | HA | AD | IM | JE | LA | LG | LO | LP | PM | PL | PT | PD | QT | SL | SM | SP | ST | GA | SA | SE | VE | VM | VZ |                |        | VC     |  |
| 1                                                                | Água: Captação              | 1                | Regularização Ambiental - outorgas                | 1              | Procedimento em curso, com prazo de 30 dias para conclusão | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 68,37  |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Tratamento de efluentes                           | 1              | Tratamento de efluentes                                    | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 1      | 100,00 |  |
|                                                                  |                             | 3                | Tratamento de efluentes                           | 1              | Tratamento de efluentes                                    | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 1      | 100,00 |  |
| 2                                                                | Água: Adução                | 1                | Transferência de responsabilidade de Adutora      | 1              | Transferência de responsabilidade de Adutora               | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Dependência energética e elétrica da Adutora      | 1              | Dependência energética e elétrica da Adutora               | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 3                | Dependência energética e elétrica da Adutora      | 1              | Dependência energética e elétrica da Adutora               | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
| 3                                                                | Água: Tratamento            | 1                | Ausência de licenciamento ambiental               | 1              | Ausência de licenciamento ambiental                        | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 3                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
| 4                                                                | Água: Reservação            | 1                | Alteração da capacidade de armazenamento          | 1              | Alteração da capacidade de armazenamento                   | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 3                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
| 5                                                                | Esgoto: Coleta e Transporte | 1                | Vazamento no PGR                                  | 1              | Vazamento no PGR                                           | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 3                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
| 6                                                                | Esgoto: Tratamento          | 1                | Ausência de licenciamento ambiental               | 1              | Ausência de licenciamento ambiental                        | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 3                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
| 7                                                                | Esgoto: Tratamento          | 1                | Operar SES sem tratamento                         | 1              | Operar SES sem tratamento                                  | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 3                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
| 8                                                                | Processos de Suporte        | 1                | Aumento nos volumes dos aterros                   | 1              | Aumento nos volumes dos aterros                            | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 2                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |
|                                                                  |                             | 3                | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais | 1              | Contaminação do ar, água, solo, pessoas e animais          | 1                                         | 4  | 3  | 1  | 2  | 4  | 1  | 1  | 1  | 14 | 1  | 3  | 1  | 1  | 3  | 2  | 3  | 3  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1              | 100,00 |        |  |

Figura 3 – Planilha LAISA

| Código / Processo | Código / Aspecto            | Código / Impacto                                                 |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1                 | Água: Captação              | 1 Regularização Ambiental - outorgas                             |
| 2                 | Água: Adução                | 1 Vazamento/compromisso de Adutora                               |
| 3                 | Água: Tratamento            | 1 Ausência de licenciamento ambiental                            |
| 4                 | Água: Reservação            | 1 Contaminação ar, água, solo, pessoas e animais                 |
| 5                 | Água: Distribuição          | 1 Destinação de lodo                                             |
| 6                 | Esgoto: Coleta e Transporte | 1 Abrangência do Serviço                                         |
| 7                 | Esgoto: Tratamento          | 1 Extravassamento em elevatórias                                 |
| 8                 | Processos de Suporte        | 1 Ausência de licenciamento                                      |
|                   |                             | 1 Destinação de lodo                                             |
|                   |                             | 1 Operar SES sem tratamento                                      |
|                   |                             | 1 Descarte de resíduos de Análises / Procedimentos Laboratoriais |
|                   |                             | 1 Descarte de resíduos recicláveis                               |

Figura 4 – Detalhe Planilha LAISA

A cada processo são associados os principais aspectos (interações com o ambiente) e, a esses os principais impactos, atuais e potenciais, sendo classificados como ambiental e/ou social. Para cada impacto há um direcionamento (legislação, norma ou padrões atinentes a eles) e forma de tratamento para sua mitigação e/ou controle.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A prática foi planejada de forma a atender aos requisitos necessários para identificação de aspectos e impactos, de forma ágil e objetiva. O trabalho foi, então, apresentado à gerência regional, que aprovou a implantação da prática de gestão. A capacitação das pessoas envolvidas foi realizada com o estudo do modelo proposto. Para concepção da prática utilizou-se somente *brainstorming*, explorando-se o conhecimento dos integrantes do grupo. As etapas cumpridas para concepção do modelo utilizado foram estudos da própria proposta, pesquisas na internet e análise de relatórios de organizações reconhecidas no Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento PNQS. O principal obstáculo encontrado foi promover o entendimento e o envolvimento das pessoas que não estavam diretamente envolvidas no processo. Para transpor essa dificuldade inicial foram realizadas apresentações em reuniões de grupos de trabalho e Workshops de Gestão da Unidade de Negócio Oeste - UNOE.



Figura 5 – Divulgação do PAMDA

A principal referência para construção da prática foi um modelo similar utilizado no passado, na própria GRPM. Sites de referência e relatórios de organizações também foram consultados, para verificação do alinhamento do modelo proposto com as práticas do mercado. Verificou-se que a estrutura do modelo estava condizente com os requisitos da proposta, que tem como foco a aderência aos requisitos do Modelo de Excelência em Gestão do Saneamento Ambiental ESG MEGSA ESG – controle de impactos adversos, observando-se os objetivos da ISO 14001. Referências: ISO 14001, Critérios de Avaliação MEGSA ESG. A forma de abordagem das questões, por meio de *check list*, tornou-se o principal fator de originalidade do processo, pois proporciona facilidade de entendimento

das questões abordadas e consequente agilidade na verificação de ocorrência de impactos. O preenchimento da planilha é uma indicação se a localidade atende (A) ou não atende (N) à regularidade do item. Há também a opção não se aplica (NA), quando o processo ou prática não estão no escopo de trabalho da localidade. A totalização dos itens gera um percentual de atendimento.

| Código / Impacto |                                                                     | AD | AL | AR | AA | BG | BO | BS | BB | CP |
|------------------|---------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1                | Não atendimento à legislação ambiental                              | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | N  |
| 1                | Descontinuidade na distribuição                                     | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  |
| 1                | Contaminação da água / vulnerabilidade da área                      | N  | N  | A  | A  | A  | N  | N  | A  | A  |
| 1                | Perdas, baixa pressão / interrupção no fornecimento                 | N  | N  | A  | A  | A  | A  | N  | A  | A  |
| 1                | Descumprimento da legislação / Comprometimento da imagem da empresa | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  |
| 1                | Não atendimento a totalidade da população                           | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  |
| 1                | Não atendimento a totalidade da população                           | NA | NA | A  | NA | NA | NA | A  | NA | A  |
| 1                | Contaminação ar, água, solo, pessoas e animais                      | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | A  |

Figura 6 – Preenchimento planilha LAISA

A Gestão dos Aspectos e Impactos Socioambientais contempla todas as unidades operacionais da GRPM, considerando-se a similaridade dos processos operacionais.

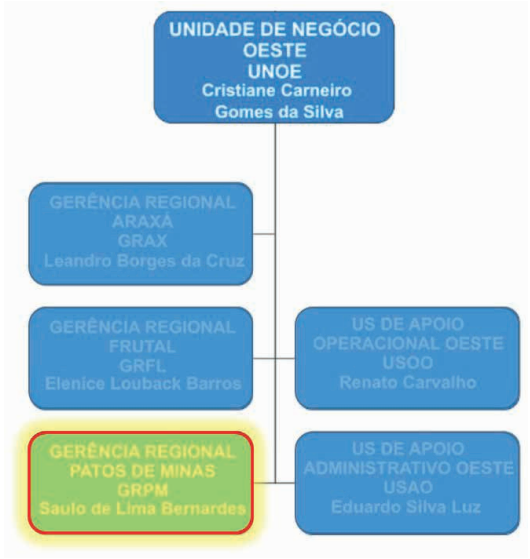


Figura 7 - Organograma da Unidade de Negócio Oeste – destaque GRPM

| INFORMAÇÕES GERAIS                                                                                                                                      |                                                   | LOCALIDADES |                          |       |                       |       |                     |       |                     |       |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|-----------------------|
| UNIDADE:                                                                                                                                                | Gerência Regional Patos de Minas                  | SIGLA       | NOME                     | SIGLA | NOME                  | SIGLA | NOME                | SIGLA | NOME                | SIGLA | NOME                  |
| LOTAÇÃO:                                                                                                                                                | DOP/UNOE/GRPM                                     | AD          | Abadia dos Dourados      | CA    | Catiara               | ID    | Indianópolis        | PM    | Patos de Minas      | GA    | São Gonçalo do Abaeté |
| REFERÊNCIA:                                                                                                                                             | 2022                                              | AL          | Alagoas                  | CL    | Claro de Minas        | IM    | Irai de Minas       | PL    | Pilar               | SA    | Serra do Salitre      |
| REVISÃO:                                                                                                                                                | 2023                                              | AR          | Areado                   | CO    | Coromandel            | JN    | João Pinheiro       | PI    | Pindaibas           | SE    | Sertãozinho           |
| ELABORAÇÃO:                                                                                                                                             | Philippe Correa de Oliveira / Ricardo Luiz Borges | AA          | Anaial dos Afonsos       | CF    | Cruzeiro da Fortaleza | LA    | Lagamar             | PF    | Ponte Firme         | VJ    | Varjão de Minas       |
| DATA:                                                                                                                                                   | 31/01/2023                                        | BG          | Baixadinha dos Gonçalves | DO    | Doleirina             | LG    | Lagoa Grande        | PO    | Presidente Olegário | VO    | Vazamor               |
| APROVAÇÃO:                                                                                                                                              | Saulo de Lima Bernardes                           | BIO         | Boassara                 | ES    | Estrela do Sul        | LN    | Lanhusos            | QT    | Quintinos           | VZ    | Vazante               |
| DATA:                                                                                                                                                   | 31/01/2023                                        | BS          | Bom Sucesso              | GR    | Grupiara              | LZ    | Luislândia do Oeste | SL    | Santa Lucia         | VL    | Vila Cabeludo         |
|  APÓS PREENCHER TODOS OS CAMPOS, CLIQUE AO LADO PARA INICIAR A AVALIAÇÃO |                                                   | BB          | Brejo Bonito             | GU    | Guarda-Mor            | JP    | Major Porto         | SM    | Santa Maria         |       |                       |
|                                                                                                                                                         |                                                   | CP          | Carmo do Paranaíba       | GM    | Guimarânia            | PA    | Pântano             | SP    | Santana de Patos    |       |                       |
|                                                                                                                                                         |                                                   | CR          | Cascalho Rico            | HA    | Horizonte Alegre      | PU    | Paracatu            | ST    | Santiago de Minas   |       |                       |

Figura 8 - Informações gerais da GRPM – relação das localidades

A avaliação das ações propostas no PAMDA ocorre em reuniões da GRPM, com participação da gerência, equipe técnica e encarregados dos sistemas.

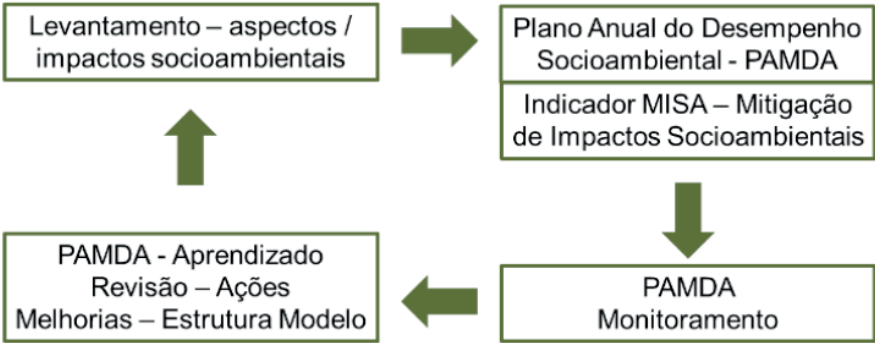


Figura 9 – Ciclo de planejamento, execução, controle e aprendizado

O monitoramento das ações definidas é realizado, também, em reuniões dos grupos de trabalho (Perdas, Qualidade de Água, Eficiência Energética, etc), oportunidade em que as pessoas discutem, também, a estrutura do modelo, promovendo-se o aprendizado. Em 2023, uma melhoria, para avaliação de 2022, foi o aumento do escopo. Anteriormente eram considerados 18. Nas discussões em grupo verificou-se a necessidade de se aumentar a abrangência da avaliação, em função de algumas mudanças de processos e consideração de impactos que, embora estivessem controlados, poderiam ser considerados potenciais. Assim, passaram a ser cosiderados 36 impactos. Outra melhoria na prática foi a adaptação digital. As ações do PAMDA passaram a ser inseridas no Planner, com acompanhamento contínuo pelas áreas/pessoas envolvidas no processo.

| COPASA    |                                                  | PLANO ANUAL DE MELHORIA DO DESEMPENHO SOCIOAMBIENTAL - PAMDA -                                  | UNIDADE                                   | LOTAÇÃO                 | REVISÃO    |
|-----------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|------------|
|           |                                                  |                                                                                                 | Gerência Regional Patos de Minas          | DOP/UNOE/GRPM           | 2023       |
| ITEM      | CÓDIGO IMPACTO                                   | O QUE FAZER                                                                                     | RESPONSÁVEL                               | PRAZO                   | POSIÇÃO    |
| 1         | 1.1.1                                            | Regularizar outorgas - apoiar USOD com informações e documentação                               | Juliano Miranda e Ricardo Borges          | dez/24                  | AN         |
| 2         | 1.1.2                                            | Adequar volume captado ao outorgado - ajustar operação / retificar outorga                      | Juliano Miranda e Ricardo Borges          | dez/23                  | AN         |
| 3         | 1.1.3                                            | Instalar medidores de vazão saída de poços. Construir / reformar lajes de proteção.             | Pitometria / Carlos                       | dez/23                  | AN         |
| 3         | 3.1.1                                            | Licenciar ETAs - apoiar USOD com informações e documentação                                     | Juliano Miranda, Ricardo Borges e Philipe | dez/23                  | AN         |
| 4         | 3.2.1                                            | Adequar descarte de embalagens de produtos químicos                                             | Encarregados do sistema                   | abr/23                  | CO         |
| 5         | 3.3.1                                            | Destinar adequadamente efluente da limpeza tanques de preparo de produtos químicos              | Finalizar UTRs - USEO                     | dez/23                  | AN         |
| 6         | 4.1.1                                            | Adequar reservação de Guarda-Mor                                                                | Philipe e Carlos                          | dez/23                  | AN         |
| 7         | 5.2.1                                            | Realizar ações para reduzir perdas de água - atendimento à meta do indicador                    | Philipe e Carlos                          | dez/23                  | AN         |
| 8         | 5.2.2                                            | Realizar ações para reduzir perdas de água - atendimento à meta do indicador                    | Philipe e Carlos                          | dez/23                  | AN         |
| 9         | 5.3.1                                            | Emitir aviso prévio para interrupções no abastecimento                                          | Encarregados do sistema                   | fev/23                  | CO         |
| 10        | 5.4.1                                            | Realizar ações para melhorar qualidade de água - atendimento de todas as localidades em nível 3 | Ricardo Borges                            | dez/23                  | AN         |
| 11        | 5.5.1                                            | Alcançar 100% abrangência RDA (Paracatu - São Sebastião)                                        | Philipe e Carlos                          | dez/23                  | AN         |
| 12        | 6.1.1                                            | Alcançar 100% abrangência RCE - Estrela do Sul / Major Porto                                    | USEO - Finalizar Obras                    | dez/23                  | AN         |
| 13        | 7.1.1                                            | Eliminar/reduzir liberação de odores fétidos em ETEs                                            | Elton e Gilberto                          | dez/23                  | AN         |
| 14        | 7.4.1                                            | Realizar tratamento de esgoto - AR / BS / ES / GM / QT / SP                                     | USEO - Finalizar Obras                    | dez/23                  | AN         |
| 15        | 8.1.1                                            | Aumentar abrangência de descarte de resíduos de análises / procedimentos laboratoriais          | Ricardo Borges e Wanderson                | dez/23                  | AN         |
| 16        | 8.4.1                                            | Implantar coleta seletiva / Programa Ambientação                                                | Fernando Eugênio Corrêa                   | dez/23                  | AN         |
| VALIDAÇÃO | ELABORAÇÃO                                       |                                                                                                 | DATA                                      | APROVAÇÃO               | DATA       |
|           | Philipe Correa de Oliveira / Ricardo Luiz Borges |                                                                                                 | 31/01/2023                                | Saulo de Lima Bernardes | 31/01/2023 |

Figura 10 – Plano Anual de Melhoria do desempenho Socioambiental

## RESULTADOS OBTIDOS

A prática tem aplicação anual. No primeiro trimestre do ano avalia-se o período anterior, verificando-se o desempenho das unidades operacionais quanto à mitigação dos impactos ambientais e sociais, apurando-se o indicador MISA. São verificados os itens de avaliação, podendo ser alguns extintos, em função de sua relevância, ou incluídos novos, por motivo de mudanças de processos ou operação de novas unidades ou localidades. A apuração do indicador MISA relação entre impactos identificados e impactos resolvidos, considerados ppor localidade, totalizando os números da GRPM.

O principal indicador de monitoramento é o Mitigação de Impactos Sociais e Ambientais – MISA, cuja meta é a melhoria constante. O objetivo é se aproximar, ao máximo, da excelência – 100%.

Com o aumento do escopo de avaliação, os impactos identificados passaram de 633 em 2022 para 1286 em 2023. Ainda assim o indicador apresentou melhoria significativa.

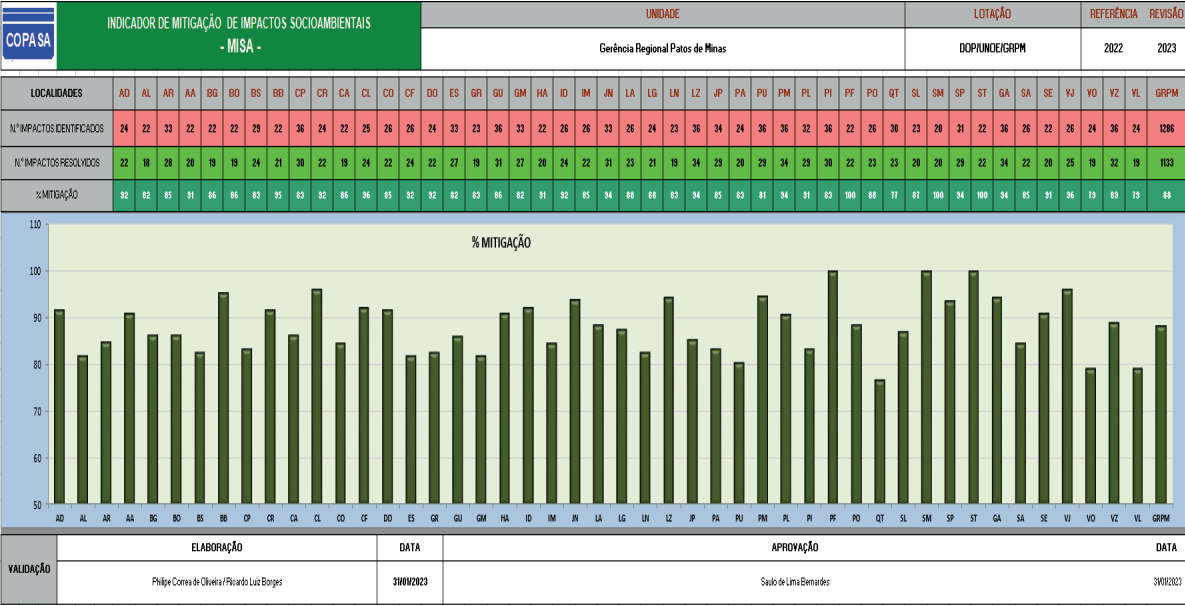


Figura 11 – Apuração MISA – Mitigação de Impactos Socioambientais

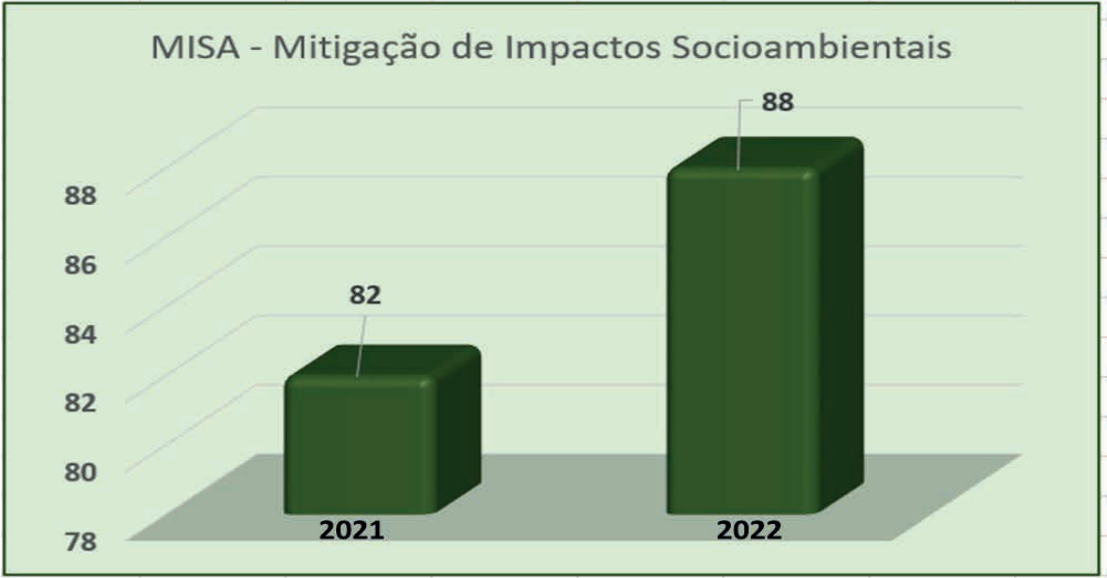


Figura 12 – Gráfico MISA – Mitigação de Impactos Socioambientais

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos apresentam evolução favorável, com 82% em 2021 e 88% em 2022, indicando que as ações desenvolvidas estão sendo bem sucedidas, o que é justificado pela conscientização e envolvimento de gestores, lideranças e colaboradores.

O principal benefício intangível foi contar com o envolvimento de mais pessoas e,

principalmente, das lideranças. A partir dessa interação e cooperação entre áreas e unidades da GRPM, a prática conseguiu abranger, de forma consistente, todas as localidades operadas. O conhecimento e envolvimento das pessoas com o objetivo de se aprimorarem os processos nas unidades estreitou seu relacionamento com as questões socioambientais, pela identificação de seus principais aspectos e impactos, promovendo maior efetividade nas ações e, consequentemente, melhoria na qualidade de vida dos trabalhadores e da sociedade e comunidades vizinhas. Relacionam-se, assim, os benefícios conferidos às principais partes interessadas:

- Força de Trabalho: maior envolvimento das pessoas com as questões socioambientais – identificação de requisitos e conhecimento de legislações atinentes aos temas abordados.
- Clientes: melhoria na qualidade dos serviços prestados – redução de impactos causados por atividades de manutenção junto aos imóveis;
- Sociedade: maior interação da empresa com a sociedade e comunidades vizinhas - redução de impactos causados por atividades e instalações da GRPM, como ruídos e serviços em vias públicas;
- Acionistas: otimização de processos e procedimentos, com a utilização do conhecimento interno - redução de custos e retrabalhos, promovendo a sustentabilidade e o fortalecimento da imagem da empresa.

## CONCLUSÕES

A gestão adequada dos aspectos e impactos socioambientais possibilita ações efetivas na redução dos passivos ambientais e sociais do setor de saneamento. Impactos relevantes como falta de abrangência dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos têm influência direta e negativa na qualidade de vida da população. A condensação dos fatores de impacto em um modelo único e abrangente favorece a visualização clara do desempenho das unidades, além de proporcionar maior entendimento pelas pessoas envolvidas nos processos. A adoção do modelo de gestão apresentado possibilitou a integração de diversas áreas com foco objetivo na questão ambiental. A evidência de sua inovação foi a disseminação para a UNOE e, com estudos, evidenciando os esforços direcionados para o cumprimento dos requisitos da agenda ESG. A prática desenvolvida na GRPM foi expandida para toda a Unidade de Negócio Oeste e, em 2023, passou a ser utilizada em toda a Copasa. A metodologia utilizada foi disseminada corporativamente e será um driver para a estruturação de um SGA na Companhia.

## REFERÊNCIAS

1 - de Matos, Daniela (Eng<sup>a</sup> Química) - NBR ISO 14001:2015 Comentada

2 - Responsabilidade Social - Contribuições do 1º grupo de trabalho do GVces sobre a ISO 26000.



3 - Di Bernardo, Luiz; Dantas, Angela Di Bernardo; Voltan, Paulo Eduardo Nogueira Métodos e Técnicas de Tratamento de Água – 3.ª Edição 2017 / Capítulo 12 – Resíduos de ETAs.

4 - APCER, Guia do Utilizador ISSO 14001:2015, março de 2016.

5 - PNQS, Critérios de Avaliação MEGSA ESG 2022.

6 - <https://brasil.un.org/pt-br/about/about-the-un>.

7 - <https://bibliotecadigital.fgv.br>.

8 - <https://tratabrasil.org.br/pt/estudo-blog/estudos-itb/itb-divulga-novo-estudo-sobre-o-balanco-do-setor-dois-anos-apos-a-aprovacao-do-novo-marco-legal-do-saneamento>.

9 - <https://ambipar.com/ambipar-environment/#coleta-e-transporte-de-residuos>.

10 - Lei – MG: 10 100, de 17/01/1990

11 - Lei nº 9.605 de 12/02/1998 - Lei de crimes ambientais.

12 - Lei Nº 12.305 - resíduos sólidos.

13 - DN COPAM 245/2022, 217/17.

14 - ABNT NBR 10004/04, NBR 15481, NBR 7500, NBR 14725

15 - DN Conjunta COPAM/CERH 01/2008.

16 - Norma regulamentadora NR 26.

17 - DN COPAM 232/2019.

18 - Resolução ARSAE 03/2010 - Art.15, 113 e 114.

19 - Portaria GM/MS nº 888/21.



# ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARÁ COMO SUBSIDIO À PREVENÇÃO E CONTROLE DA DENGUE

*Data de aceite: 27/10/2023*

**Luiza de Nazaré Almeida Lopes**

<http://lattes.cnpq.br/3332622265434535>

**Luiza Carla Girard Mendes Teixeira**

<http://lattes.cnpq.br/9773700229115395>

**RESUMO:** A pesquisa propõe a construção do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental da Dengue (IVD) nos municípios do estado do Pará, no período de 2007 a 2017. O estudo considerou a seleção de 34 indicadores das três componentes fundamentais da vulnerabilidade socioambiental: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. A metodologia para o IVD foi composta pelas etapas: (i) seleção de indicadores; (ii) definição dos indicadores; (iii) tratamentos estatísticos; (iv) cálculo do índice por análise multivariada; (v) normalização; e (vi) classificação do índice por meio da técnica percentis. Nos resultados observou-se que 43 municípios (30%) foram classificados com “Baixa vulnerabilidade”, com valores variando na faixa de 0,483 a 0,262. Cerca de 57 municípios (40%) apresentaram valores com “Média vulnerabilidade” na faixa de 0,581 a 0,483. Com referência a “Alta vulnerabilidade”, destacaram-se 43 municípios (30%) distribuídos na faixa

de 0,771 a 0,582. Os resultados obtidos a partir do perfil que caracterizou o IVD apresentou predominância de “Média a Baixa vulnerabilidade”. A cidade de Belém, capital do Pará e situada na região do Guajará, apresentou o menor valor para o IVD (0,262). Por outro lado, a maioria dos municípios da região do Marajó apresentou os maiores valores de IVD, sendo eles: Cachoeira do Arari, Chaves, Ponta de Pedras, Melgaço, Santa Cruz do Arari e Anajás. O fator que mais influenciou no resultado do índice foi “socioeconômico” das populações, sobretudo os indicadores de pobreza, renda, urbanização, analfabetismo e manejo de resíduos sólidos. Pode-se constatar que o índice é uma ferramenta importante para auxiliar em estratégias de prevenção e controle da dengue nos municípios.

**PALAVRAS CHAVE:** Vulnerabilidade socioambiental, dengue, Análise multivariada, índice

# ANALYSIS OF SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN THE MUNICIPALITIES OF THE STATE OF PARÁ AS A SUBSIDY TO THE PREVENTION AND CONTROL OF DENGUE

**ABSTRACT:** The research proposes the construction of the Dengue Socio-Environmental Vulnerability Index (IVD) in the municipalities of the state of Pará, from 2007 to 2017. The study considered the selection of 34 indicators of the three fundamental components of socio-environmental vulnerability: exposure, sensitivity and capacity adaptive. The methodology for the IVD consisted of the steps: (i) selection of indicators; (ii) definition of indicators; (iii) statistical treatments; (iv) calculation of the index by multivariate analysis; (v) normalization; and (vi) index classification using the percentile technique. In the results, it was observed that 43 municipalities (30%) were classified as “Low vulnerability”, with values ranging from 0.483 to 0.262. About 57 municipalities (40%) presented values with “Medium vulnerability” in the range of 0.581 to 0.483. With reference to “High vulnerability”, 43 municipalities (30%) stood out, distributed in the range from 0.771 to 0.582. The results obtained from the profile that characterized the IVD showed a predominance of “Medium to Low vulnerability”. The city of Belém, capital of Pará and located in the Guajará region, presented the lowest value for IVD (0.262). On the other hand, most municipalities in the Marajó region had the highest IVD values, namely: Cachoeira do Arari, Chaves, Ponta de Pedras, Melgaço, Santa Cruz do Arari and Anajás. The factor that most influenced the result of the index was the “socioeconomic” of the populations, especially the indicators of poverty, income, urbanization, illiteracy and solid waste management. It can be seen that the index is an important tool to assist in dengue prevention and control strategies in municipalities.

**KEYWORDS:** Socio-environmental vulnerability; Dengue; Multivariate analysis; Index;

## 1 | INTRODUÇÃO

O mosquito *Aedes aegypti* é o principal vetor responsável pela disseminação de doenças virais no mundo, como a dengue (DENV) que se tornou um dos principais problemas de saúde pública nas cidades brasileiras. As mudanças climáticas e o processo de urbanização sem controle constituem um importante fator de permanência do mosquito *Aedes aegypti* nas cidades, sendo sua população influenciada por aspectos ambientais e humanos (WHO, 2012; PAHO, 2017; GUO *et al.*, 2017).

A incidência de dengue é comumente observada nas regiões tropicais e subtropicais, onde o vírus da dengue tem potencial para ser transmitido, principalmente entre os paralelos (latitudes) 35° Norte e 35° Sul, (MORIN *et al.* 2013; MURRAY *et al.*, 2013). A relação entre o aquecimento global e as Doenças Tropicais Negligenciadas (DTN), bem como o aumento da temperatura em áreas acometidas por doenças tropicais, como a malária e a dengue, deve se expandir principalmente em áreas urbanas e semi-urbanas (NAISH, S *et al.*, 2014; EBI; NEALON, 2016; MORAES *et al.*, 2019).

Este estudo analisa a vulnerabilidade socioambiental, por meio de índices sintéticos que apresentem à diversidade nos municípios do estado do Pará, a partir da correlação de diversas variáveis para composição dos componentes fundamentais da vulnerabilidade,

considera que a exposição e a sensibilidade podem elevar a vulnerabilidade dos municípios analisados, enquanto a capacidade adaptativa pode reduzi-la (SANTOS *et al.* 2017; QUINTÃO, 2017 e MENEZES; 2018). Assim, o presente estudo tem como objetivo elaborar e aplicar um Índice de Vulnerabilidade Socioambiental da Dengue (IVD), que auxiliará no enfrentamento da doença nos 143 municípios paraenses, a partir dos dados disponíveis no período de 2007 a 2017, a fim de mensurar a realidade da população e propiciar aos tomadores de decisões, informações indispensáveis que visam o desenvolvimento de estratégias na vigilância em saúde para prevenção e controle da dengue.

## 2 | METODOLOGIA

O estado do Pará, pertencente a região Norte, considerado o segundo maior estado do país em extensão territorial, abrangendo uma área de que equivale a 15% do território nacional (IPEA, 2015; IBGE, 2017). Os municípios do estado integram as doze Regiões de Integração consideradas unidades de planejamento reconhecidas pelo Decreto nº 1.066, 19 de junho de 2008, conforme Figura 01, representam os principais rios dos seus territórios, aspectos físicos e dinâmicas socioeconômicas sendo definidas por: Araguaia (15 municípios), Baixo Amazonas (13 municípios), Tocantins (11 municípios), Carajás (12 municípios), Guamá (18 municípios), Lago de Tucuruí (7 municípios), Marajó (15 municípios), Guajará (5 municípios da Metropolitana), Rio Caeté (15 municípios), Rio Capim (16 municípios), Tapajós (6 municípios), e Xingu (10 municípios) (PARÁ, 2008).

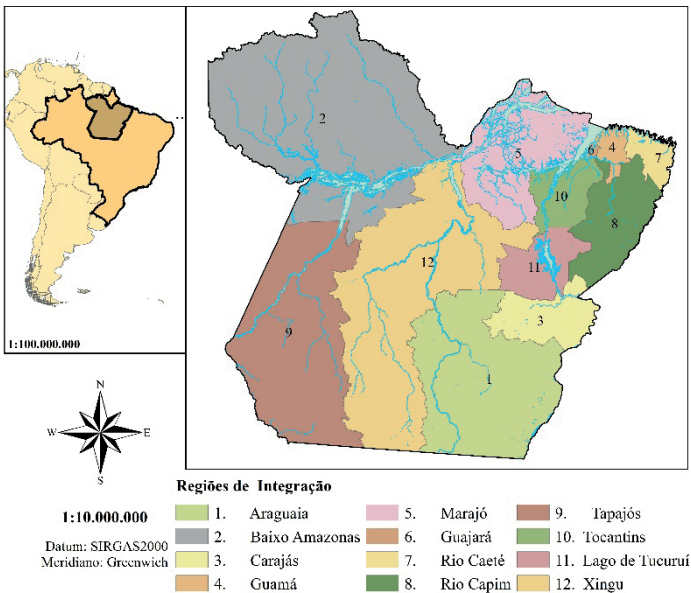


Figura 01 – Área de estudo, municípios compreendendo as Regiões de Integração do estado do Pará.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Para Cutter (2011) a ciência da vulnerabilidade é estudo associado a perdas ou danos que procura explicar as interações sociais, naturais e artificiais, tornando-se um campo multidisciplinar na abordagem de políticas de redução de riscos. O IVD é composto de 3 (três) componentes fundamentais: exposição (E), sensibilidade (S) e capacidade adaptativa (CA). O IPCC (2007) define a vulnerabilidade pela intrínseca relação entre esses três elementos de forma genérica pela Equação (1):

$$V = f(E, S, CA), \quad (1)$$

Onde: *E* significa a exposição do sistema (quem ou o que está em risco); *S*, a sua sensibilidade (quanto pessoas ou sistemas podem sofrer de choques) e *CA*, a capacidade adaptativa (a habilidade de se adaptar aos impactos).

A metodologia foi composta pelas seguintes etapas: (i) seleção e agrupamento de indicadores; (ii) definição dos indicadores; (iii) tratamentos estatísticos; (iv) cálculo do índice por análise multivariada; (v) normalização do índice; e (vi) classificação do índice por meio da técnica percentis. Feito isso, os dados foram analisados tendo por base a perspectiva sistêmica, de modo que seu valor do IDV varia entre 0 (zero) e 1 (um), onde o valor “zero” representa menor vulnerabilidade e o valor “um”, maior vulnerabilidade.

No estudo foram selecionados 34 indicadores resultantes de análise exploratória de várias literaturas científicas, conforme consta na Figura 02, os quais foram agregados tendo por base as três componentes da vulnerabilidade socioambiental. Nos estudos de Lindoso *et al.* (2014); Quintão *et al.* (2017) e Menezes *et al.* (2018) a exposição e a sensibilidade podem elevar a vulnerabilidade no sistema analisado, enquanto a capacidade adaptativa pode reduzi-lá. O banco de dados foi obtido à nível municipal, no período de 2007 a 2017, pelo acesso livre de informações ao público de instituições governamentais compreendendo os municípios do estado do Pará.

Na construção do índice foi considerado as grandezas na mesma unidade, ou seja, conferir a propriedade da comensurabilidade e colocá-los em uma mesma escala. De acordo com Santos *et al.* (2017) e Menezes *et al.* (2018) o método de transformação 0-1, para uma variável *X* qualquer, o valor da variável transformada 0-1 para a *i*-ésima observação é dado pela Equação (2):

$$v_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

Onde: *v<sub>i</sub>* é o valor transformado da *i*-ésima observação da variável *X*; *x<sub>min</sub>* é o valor mínimo da variável *X*; *x<sub>max</sub>* é o valor máximo da variável *X*.

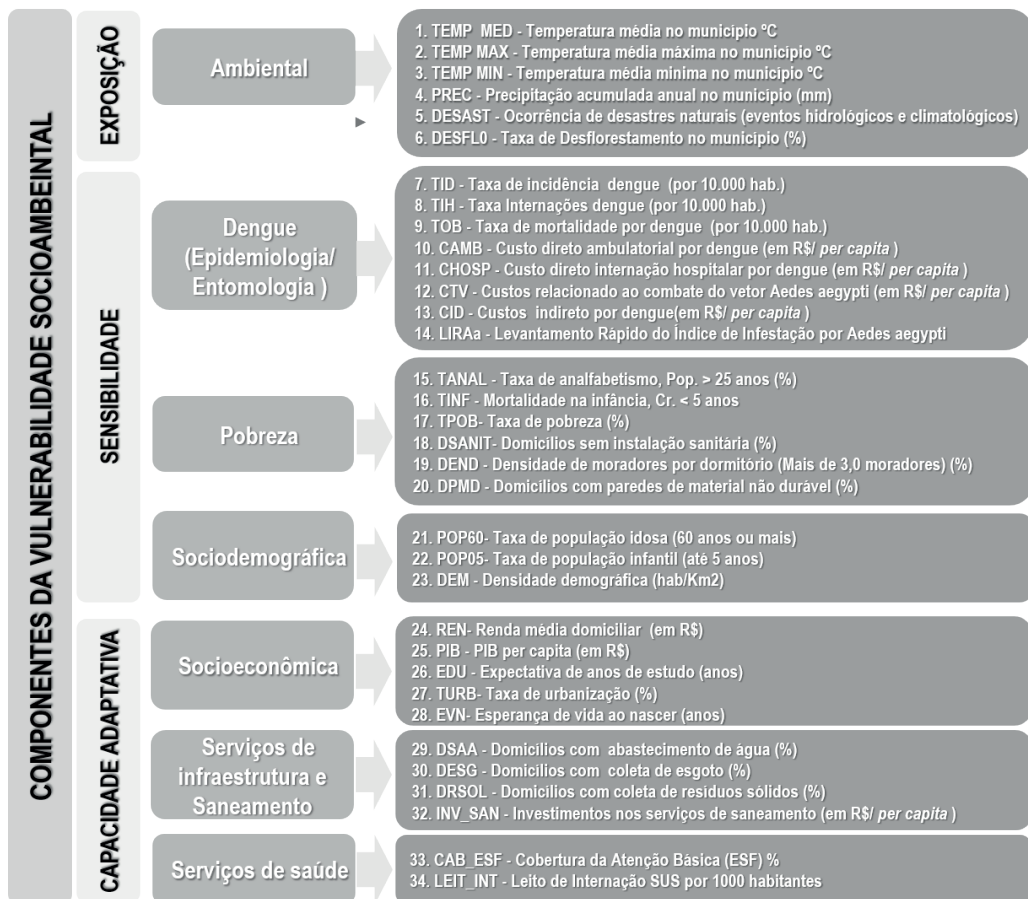


Figura 02 – Esquema metodológico da seleção dos indicadores da pesquisa para compor o IVD.

Fonte: Elaboração própria (2022).

O IVD foi construído por meio da técnica estatística multivariada de análise fatorial (AF) apresentado na forma matricial na Equação (3), conforme DILLON & GOLDSTEIN (1984), sendo  $p$  as variáveis aleatórias,  $m$  os fatores comuns e  $m < p$ . O emprego desta técnica, pretende-se a redução dos dados e a criação de indicadores que representam as variáveis originais, bem como identificar o grau com que cada variável é explicada para cada dimensão ou fator visando explicar o conjunto das variáveis com mesma habilidade ou capacidade cognitiva (HAIR *et al.*, 2009; FIELD, 2009; LÉLIS *et al.*, 2016).

$$X_i = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} F_j + \varepsilon_i \quad (3)$$

Onde:  $X_i$  = variáveis originais, representa o  $i$ -ésimo score da variável padronizada;  
 $\lambda_{ij}$  = cargas fatoriais da  $i$ -ésima variável no  $j$ -ésimo fator comum;  $F_j$  = variáveis não

observáveis ou variáveis latentes;  $\varepsilon_i$  = termo de erro ou fatores específicos que descrevem a variação residual específica da  $i$ -ésima variável (resíduo que afeta somente  $X_i$ ).

Para adequação do modelo estatístico foram analisadas algumas recomendações como a Medida de Adequação de Kaiser-Meyer- Olkin (KMO) que varia entre 0 e 1. Hair *et al.* (2009) recomenda 0,50 como patamar aceitável. O Teste de Esfericidade de Bartlett avalia a significância geral da matriz de correlação, ou seja, testa a hipótese de que as variáveis não sejam correlacionadas na população. Por conseguinte, a matriz anti-imagem, que fornece a Medida de Adequação da Amostra (MAA) quanto mais próximo de 1 o valor, mais adequada é a utilização da técnica AF.

O método de Componentes Principais foi adotado para a extração dos fatores para cálculo do IVD e, posteriormente, rotação ortogonal dos fatores pelo método Varimax. Para a escolha do número de fatores, utilizou-se os critérios da Raiz Latente o, percentagem de variância, e Teste *Scree-plot* (Autovalor *versus* Fator). Conforme Hair *et al.* (2009) a comunalidade indica a proporção da variância total de cada variável, que é explicada pelo conjunto de fatores comuns, recomenda-se que o número de fatores escolhidos corresponda a, no mínimo, 60% da variância. Adotando os critérios de adequabilidade, reduziu-se, ainda, o conjunto de dados, pois a baixa comunalidade foi observada em alguns indicadores.

Desse modo, o IVD foi definido pela combinação linear dos escores fatoriais estimados pelo Método de Regressão e a proporção da variância explicada por cada fator em relação aos fatores comuns (MINGOTI, 2005; HAIR *et al.*, 2009). Para cada fator  $f_i$ , o  $i$ -ésimo escore fatorial extraído é obtido por  $F_{ij}$ , como expresso na Equação (4) (CHAVES *et al.*, 2013; GU *et al.*, 2018).

$$F_{ij} = b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_p x_{ip} \quad (4)$$

Onde:  $F_{ij}$  é a variável dependente não observável;  $b_i$  são os coeficientes de regressão estimados para os  $n$  escores fatoriais comum;  $x_{ij}$  são as  $n$  observações das  $p$  variáveis observadas, e  $p$  é o número de variáveis observáveis.

Assim, a estimativa do IVD foi obtida da discussão conceitual de vulnerabilidade à apresentação da medida-síntese (resposta), de acordo com a Equação (5).

$$IVD = \sum_{j=1}^q \left( \frac{\lambda_j}{\sum j \lambda_j} \cdot FP_{ij} \right), 0 \leq IVD \leq 1 \quad (5)$$

Onde:  $\lambda_i$  representa a variância explicada por cada fator;  $\sum \lambda_i$  é a soma total da variância explicada pelo conjunto de fatores comuns e  $FP_{ij}$  é o escore padronizado para obter os valores positivos dos escores originais ativos para hierarquizar os municípios, uma vez que os valores do índice proposto são obtidos entre 0 (zero) e 1 (um), através da Equação (1).

Os municípios foram categorizados correspondente aos percentis (P30; P70) do índice calculado: “Baixa” para valores de  $IVD \leq P(30)$ ; “Média” para valores entre  $P(30) \leq IVD \leq P(70)$  e “Alta” para os valores de  $IVD \geq P(70)$  (PARENTE *et al.*, 2012; CHAVES *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2018). Por fim, utilizou a análise estatística espacial do Índice de Moran com os valores da Taxa de Incidência de Dengue média do período (TID) e os valores do IVD por município, visando identificar associações espaciais e áreas de prioridade para o enfrentamento da dengue.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na pesquisa foram considerados 184 mil casos de dengue no estado, sendo que 92 mil evoluíram para internação hospitalar pelo SUS, no período de 2001 a 2017. Destes, cerca de 125 mil ocorreram no período de 2007 a 2017, equivalem a 14% dos casos da Amazônia Legal e 21% dos casos da região Norte, acumulando neste período 125 casos de óbitos.

As taxas de incidência de dengue no Brasil, em 2007 e 2017, foram de 264.4 e 115.3 por 100 mil habitantes, respectivamente. Na Amazônia a maior taxa ocorreu em 2010 com 548.8 por 100 mil habitantes, sendo percebido esse crescimento na Região Norte e Pará em 2011 com 709.6 e 218.6, respectivamente (SINAN-MS, 2017; PAHO, 2017). Estudos de Böhm *et al.* (2016) sobre analisar a tendência da incidência de dengue no Brasil, no período de 2002 a 2012, revelaram que as taxas de incremento anual se revelaram estáveis no estado do Pará.

Neste período de estudo os cinco municípios que apresentam maiores casos notificados de dengue em ordem decrescente são: Belém, Parauapebas, Altamira, Santarém e Marabá. Além disso, o número de óbitos aumentou em média de 11 casos (2007-2017), sendo 25 casos ocorridos em 2007 (SINAN-MS, 2017), mostrando a importância de entender a dinâmica da doença no estado. Desde então, a dengue permanece presente na maioria dos municípios, tornando-se municípios prioritários para o Programa Nacional de Controle da Dengue (BRASIL, 2002; BRASIL, 2015).

O perfil epidemiológico da dengue no Pará indicou sazonalidade da doença, ocorrendo, principalmente, no trimestre de janeiro à março. O estudo de Corrêa *et al.* (2016) e Moraes *et al.* (2019); também observou que os casos da doença começam a surgir quando inicia o período chuvoso de cada município do Pará, no período de 2007 a 2011. Estudos de Moraes *et al.* (2015); Souza *et al.* (2017); Ferreira Filho *et al.* (2020) que a precipitação pluviométrica tem maior variabilidade entre 1300 e 3500 mm, mas observa-se que em dezembro inicia-se a estação chuvosa na maioria das localidades do estado do Pará.

O Pará localiza-se na faixa equatorial apresentando temperatura média anual variando entre 22 °C a 32 °C, índices de umidade relativa em torno de 85% (SOUZA *et al.*,

2017). Portanto, o estado apresenta variáveis climáticas importantes como precipitação e temperatura para incidência em doenças de transmissão vetorial. Nesse contexto, condicionantes sociais, econômicas e ambientais agem como limitante a expansão do vetor, bem como na dinâmica da sua distribuição espacial e temporal (MORIN *et al.* 2013; NAISH *et al.*, 2014; EBI; NEALON, 2016).

A princípio, foram considerados 34 indicadores para o cálculo do IVD pela aplicação da análise fatorial, porém adotando os critérios de adequabilidade, reduziu-se, ainda, o conjunto de dados para 20 indicadores, sendo removidos 8 indicadores diretamente relacionados com a dengue e 6 indicadores retirados do modelo estatístico por apresentarem baixo valor de comunalidade ( $h^2 < 0,60$ ), foram os seguintes, DSANIT, DPMD, DEM, DESG, INV\_SAN e LEIT\_INT.

No modelo foram obtidos o valor do Teste KMO igual a 0,79, que indica a adequação do conjunto de dados à técnica, e o nível de significância do Teste de Bartlett ( $p < 0,001$ ), que indica a rejeição da hipótese de que as variâncias são iguais, o que permitiu a utilização da análise fatorial para a extração dos fatores e a estimação dos escores fatoriais. Tanto Hair *et al.* (2009) sugere que a extração de fatores deve continuar até o pesquisador captar, pelo menos, 60% da variância. Finalmente, foi analisada a matriz anti-imagem do modelo, pois quanto mais próximo de um o valor da MMA, mais adequada é a utilização da técnica, conforme Tabela 1.

O modelo resultou em 6 (seis) fatores que explicam 84,5% da variância total do conjunto de dados. Diante do exposto, os agrupamentos dos indicadores em estudo foram os seguintes: o Fator 1 (26,5%) com maior representação foi denominado dimensão “socioeconômica”, o Fator 2 (17,8%) explica a dimensão “climática”, o Fator 3 (12,6%) explica a dimensão “demográfica”, o Fator 4 (11,8%) explica a “saúde”, o Fator 5 (8,2%) explica a dimensão “uso e cobertura da terra” e o Fator 6 (7,7%) explica a dimensão “ambiental”.



| Variáveis                          | Cargas fatoriais rotativas (Varimax) |               |               |              |               |               | h2    | Cargas fatoriais rotativas | MSA          |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------|----------------------------|--------------|
|                                    | Fator 1                              | Fator 2       | Fator 3       | Fator 4      | Fator 5       | Fator 6       |       |                            |              |
| TEMPMED                            | -0,121                               | <b>0,972</b>  | -0,138        | 0,028        | -0,019        | 0,004         | 0,979 | 0,972                      | ,642a        |
| TEMPMAX                            | -0,087                               | <b>0,959</b>  | -0,139        | 0,036        | -0,011        | -0,053        | 0,951 | 0,959                      | ,667a        |
| TEMPMIN                            | -0,096                               | <b>0,936</b>  | -0,098        | 0,021        | 0,013         | 0,117         | 0,910 | 0,936                      | ,725a        |
| PRECACUM                           | 0,079                                | -0,439        | 0,039         | 0,206        | 0,412         | <b>0,610</b>  | 0,784 | 0,610                      | ,750a        |
| DESAST                             | -0,017                               | -0,144        | 0,139         | -0,022       | -0,004        | <b>-0,906</b> | 0,862 | -0,906                     | ,550a        |
| DESFLO                             | 0,033                                | -0,007        | 0,034         | 0,133        | <b>-0,868</b> | -0,113        | 0,786 | -0,868                     | ,590a        |
| TANAL                              | <b>0,683</b>                         | 0,184         | 0,209         | 0,108        | -0,373        | 0,168         | 0,723 | 0,683                      | ,827a        |
| TINF                               | 0,267                                | 0,045         | -0,011        | <b>0,938</b> | -0,083        | 0,050         | 0,962 | 0,938                      | ,683a        |
| POB                                | <b>0,855</b>                         | -0,194        | 0,139         | 0,325        | 0,153         | 0,045         | 0,919 | 0,855                      | ,801a        |
| DEND                               | 0,388                                | <b>-0,533</b> | 0,505         | 0,094        | 0,347         | 0,219         | 0,867 | -0,533                     | ,893a        |
| POP60                              | 0,016                                | 0,078         | <b>-0,755</b> | 0,303        | 0,418         | -0,014        | 0,843 | -0,755                     | ,590a        |
| POP05                              | 0,537                                | -0,214        | <b>0,631</b>  | 0,088        | 0,052         | -0,030        | 0,744 | 0,631                      | ,879a        |
| TURB                               | <b>0,852</b>                         | -0,138        | -0,072        | 0,112        | -0,087        | -0,016        | 0,770 | 0,852                      | ,873a        |
| EVN                                | 0,296                                | 0,049         | -0,002        | <b>0,933</b> | -0,077        | 0,049         | 0,968 | 0,933                      | ,694a        |
| REN                                | <b>0,830</b>                         | -0,139        | 0,073         | 0,342        | 0,143         | 0,121         | 0,865 | 0,830                      | ,836a        |
| PIB                                | <b>0,615</b>                         | -0,178        | -0,024        | 0,417        | 0,197         | 0,345         | 0,742 | 0,615                      | <b>,941a</b> |
| EDU                                | <b>0,661</b>                         | 0,042         | 0,467         | 0,039        | -0,358        | 0,189         | 0,823 | 0,661                      | ,855a        |
| DSAA                               | <b>0,634</b>                         | -0,283        | 0,496         | 0,037        | 0,228         | -0,020        | 0,782 | 0,634                      | ,887a        |
| DRSOL                              | <b>0,911</b>                         | -0,050        | -0,011        | 0,087        | -0,060        | -0,173        | 0,873 | 0,911                      | ,886a        |
| CAB_ESF                            | -0,018                               | -0,173        | <b>0,825</b>  | 0,082        | 0,050         | -0,185        | 0,755 | 0,825                      | ,744a        |
| Autovalores                        | 5,295                                | 3,550         | 2,513         | 2,359        | 1,649         | 1,541         | 16,91 | -                          | -            |
| Variância Explicada pelo Fator (%) | 26,477                               | 17,752        | 12,567        | 11,794       | 8,246         | 7,703         | 84,54 | -                          | -            |
| Variância Acumulada (%)            | 26,477                               | 44,229        | 56,796        | 68,589       | 76,836        | 84,539        |       | -                          | -            |
| Cargas Fatoriais                   | 0,795                                | 0,759         | 0,563         | -0,433       | -0,207        | -0,575        |       | -                          | -            |
| Número de variáveis                | 8                                    | 4             | 3             | 2            | 1             | 2             | 20    | -                          | -            |
| Alfa de Cronbach                   | 0,921                                | 0,467         | -0,748        | 0,997        | -             | -1,255        | 0,768 | -                          | -            |

Measures of Sampling Adequacy (MSA); Extraction Method: Principal Component Analysis; Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization; Rotation converged in 6 iterations; Comunalidade final (h2).

Tabela 01 – Resultados estatísticos obtidos para seleção de fatores pelo método de componentes principais, rotação ortogonal pelo método varimax.

Fonte: Elaboração própria (2022).

A escolha das variáveis que compõem cada um dos fatores se deu a partir das cargas fatoriais, de forma que o Fator 1 com dimensão “socioeconômica”, com maior representatividade, adquiriu 8 (oito) cargas fatoriais significativas. Os resultados mostram

que alguns indicadores contribuíram de forma determinantes na formação do Fator 1, enfatizando as condições de vida das populações, sobretudo nas questões de pobreza, renda, urbanização, analfabetismo e manejo de resíduos sólidos, conforme apresentado na Tabela 01.

De acordo com os resultados do IVD, os municípios foram categorizados segundo os conceitos de vulnerabilidade socioambiental utilizados na pesquisa. Observa-se que 43 municípios (30%) foram classificados com “Baixa vulnerabilidade”, com valores variando na faixa de 0,483 a 0,262. Cerca de 57 municípios (40%) apresentaram valores com “Média vulnerabilidade” na faixa de 0,581 a 0,483. Com referência à “Alta vulnerabilidade”, destacaram-se 43 municípios (30%) distribuídos na faixa de 0,771 a 0,582, conforme Figura 03. Os resultados obtidos a partir do perfil que caracterizou o IVD apresentaram predominância de Média a Baixa vulnerabilidade socioambiental.

A Figura 04 ilustra o TID média por região de integração, período 2007-2017, de modo a comparar com os valores do IVD no mesmo período. Constatou-se que 66 municípios (46%) foram classificados com “Baixa incidência”, 47 municípios (33%) apresentaram valores com “Média incidência” e na categoria “Alta incidência”, identificou-se 30 municípios (21%). Os resultados obtidos do TID média apresentaram predominantemente de Média a Baixa.

Nos resultados do IVD destacaram-se os municípios classificados com “Alta vulnerabilidade socioambiental” por região, em ordem decrescente: Marajó (15/16 municípios ou 95%), Rio Capim (8/16 municípios ou 50%), Tocantins (8/11 municípios ou 36%), Rio Caeté (5/15 municípios ou 33%), Tapajós (2/6 municípios ou 33%), Araguaia (4/15 municípios ou 27%), Carajás (2/12 municípios ou 17%) e Guamá (3/18 municípios ou 17%).

Os municípios classificados com “Média vulnerabilidade” por região foram: Lago de Tucuruí (5/7 municípios ou 71%), Carajás (7/12 municípios ou 58%), Baixo Amazonas (6/12 municípios ou 50%), Araguaia (7/15 municípios ou 47%), Rio Caeté (7/15 municípios ou 47%), Tocantins (5/11 municípios ou 45%), Rio Capim (7/16 municípios ou 44%), Xingú (4/10 municípios ou 40%), Tapajós (2/6 municípios ou 33%), Guamá (5/18 municípios ou 28%), Guarajá (1/5 municípios ou 20%) e Marajó (1/16 municípios ou 6%).

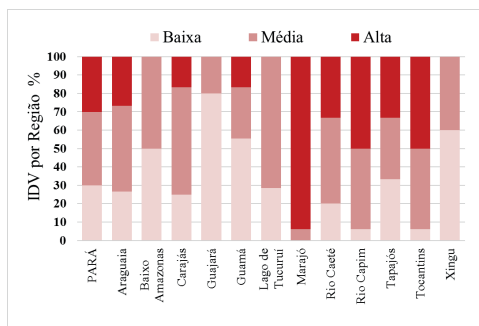


Figura 03 – Resultado do IVD por região de integração, período 2007-2017.

Fonte: Elaboração própria (2022).

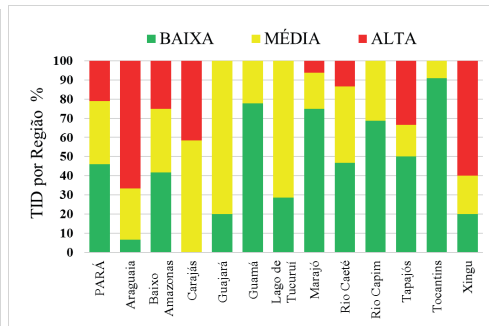


Figura 04 – Resultado do TID média por região de integração, período 2007-2017.

Fonte: Elaboração própria (2022).

Enquanto os municípios classificados com “Baixa vulnerabilidade” por região foram: Guarajá (4/5 municípios ou 80%), Xingú (6/10 municípios ou 60%), Guamá (10/18 municípios ou 56%), Baixo Amazonas (6/12 municípios ou 50%), Tapajós (2/6 municípios ou 33%), Lago de Tucuruí (2/7 municípios ou 29%), Araguaia (4/15 municípios ou 27%), Carajás (3/12 municípios ou 25%), Rio Caeté (3/15 municípios ou 20%), Tocantins (2/11 municípios ou 18%) e Rio Capim (1/16 municípios ou 6%).

Os resultados indicam que a maioria dos municípios da RI do Guajará (4 dos 5 municípios) foram os que mais se destacaram na classificação do IVD em “Baixa vulnerabilidade”, com variação decrescente de 0,411 a 0,262, foram evidência para os municípios: Belém (capital do estado), Benevides, Ananindeua e Santa Bárbara do Pará.

Os resultados apontam que a maioria dos municípios da RI do Marajó (10 dos 16 municípios) obteve a classificação de “Alta vulnerabilidade” do IVD, com variação decrescente de 0,771 a 0,619; foram destaque para os municípios: Cachoeira do Arari, Chaves, Ponta de Pedras, Melgaço, Santa Cruz do Arari, Anajás, Bagre, Currallinho, Afuá e Muaná.

A Figura 05 ilustra a distribuição espacial do IVD e da TID média no estado no período de 2007 a 2017, observa-se predominância do perfil de “Alta vulnerabilidade socioambiental” na RI do Marajó e Rio Capim, porém com predominância a classificação dos municípios em “Baixa incidência de dengue”. No Marajó o IVD demonstrou um cenário de alta susceptibilidade a ocorrência de dengue, porém atribui-se que tem seu impacto reduzido pelo fato da população possuir baixa mobilidade na região, dificuldades socioeconômicas e carência de serviços de saúde, sobretudo nas notificações de doenças compulsórias.

No outro extremo da análise tem-se a “Baixa vulnerabilidade socioambiental” na RI do Xingú e predominância a classificação dos municípios da região em “Alta incidência de dengue”, esse perfil indicou um cenário de baixa susceptibilidade a ocorrência de dengue,

porém atribui-se ao elevado impacto na população pela ocorrência de grandes obras e crescimento populacional no período analisado, porém, esse resultado pode não configurar a situação efetiva existente.

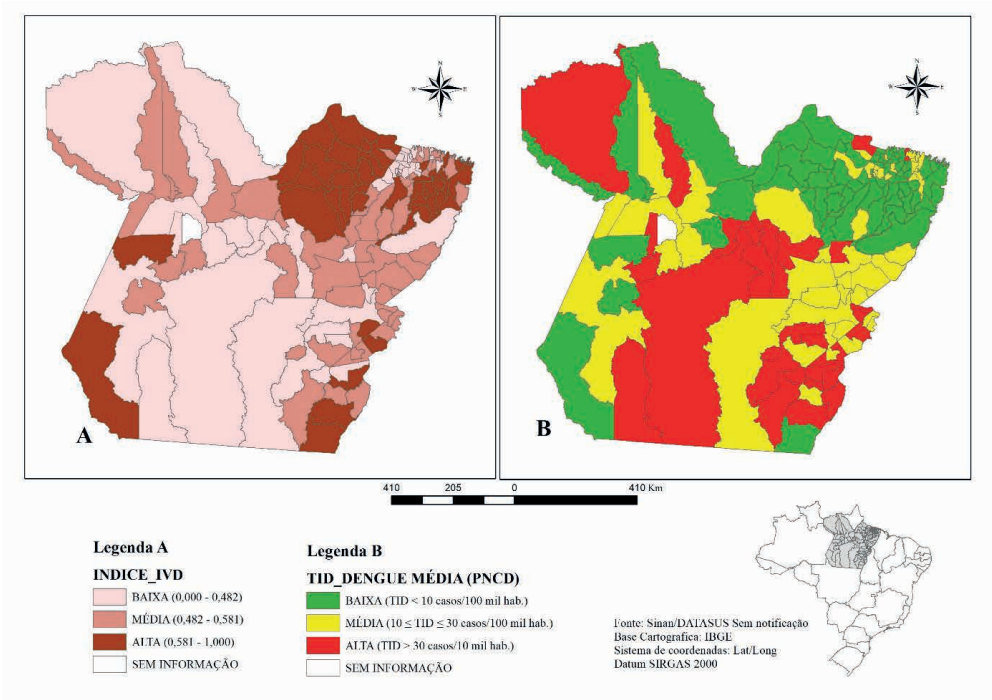


Figura 05 – Mapeamento do IVD e TID média (2007-2017) dos municípios na área em estudo.

Fonte: Elaboração própria (2022).

A Figura 6 apresenta o resultado do Moran Map para o IVD e a TID média no mesmo período. A análise bivariada apresentou uma autocorrelação negativa, com o valor igual a - 0,409, indicando que municípios com alta (ou baixa) frequência do IDV e alta (ou baixa) frequência das TID estiveram espacialmente associados a outros municípios de mesmo perfil.

A autocorrelação espacial entre TID vs. IVD no estado do Pará foi significativa ( $p < 0,05$ ) para 48 municípios, o que indica a rejeição da hipótese nula de independência espacial. Verifica-se que apenas um município se mostra significativo para o padrão espacial alto-alto no caso Portel (RI Marajó), ou seja, municípios que apresentaram “Alta vulnerabilidade” também apresentaram elevação nos valores da TID. No entanto, dois municípios referiram-se ao padrão baixo-baixo: Jacareacanga (RI Tapajós) e Limoeiro do Ajuru (RI Tocantins). Para o padrão baixo-alto, foram classificados 21 municípios, a maior porção localizada na região Marajó e Baixo Tocantins, ainda a menor porção na RI do Xingu e Tocantins. Por fim, no padrão alto-baixo apresentaram-se 24 municípios, a maioria

situada na região de Araguaia e Carajás, porém a menor porção na RI do Xingu, Tocantins e Rio Capim. Os resultados do Moran Map também apontaram que 96 municípios não apresentaram valores estatisticamente significativos.

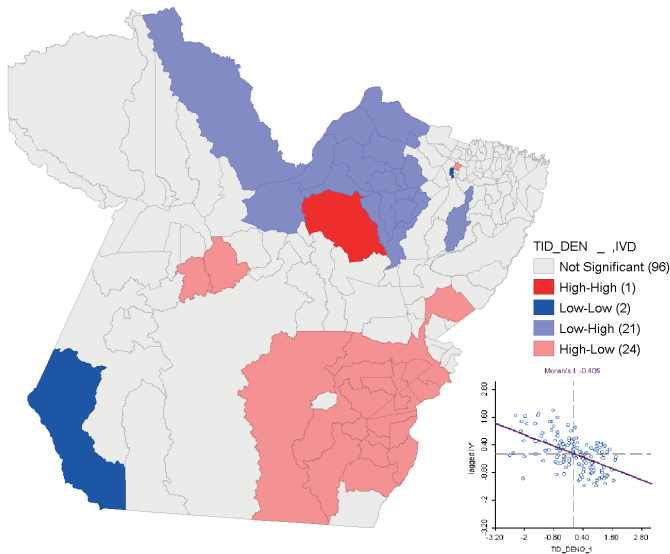


Figura 6 – Mapeamento de Moran Map do IVD e TID média (2007-2017) dos municípios paraenses.

Fonte: Elaboração própria (2022).

O estudo apresentou relevantes informações sobre a dengue para a elaboração de diretrizes para o Plano de Contingência para o enfrentamento da Dengue nas regiões de integração do estado do Pará. Portanto, os achados da pesquisa podem auxiliar no desenvolvimento de estratégias de prevenção e controle da doença, direcionadas para as regiões ou grupos de municípios com “Alta vulnerabilidade socioambiental” ou “Alta incidência da dengue”, principalmente em áreas identificadas com risco de surtos da doença.

## CONCLUSÕES

Para tanto, o desenvolvimento de ferramentas para medir o grau de vulnerabilidade socioambiental da população por meio de indicadores sintéticos visando analisar como os diversos sistemas estudados, se torna necessário para orientar políticas públicas e tomada de decisão nos municípios. A análise fatorial mostrou-se o método de agregação de índice adequado para mensurar o grau de vulnerabilidade socioambiental para o enfrentamento da dengue.

Os resultados do IVD apresentaram-se satisfatórios no mapeamento das áreas mais vulneráveis, pois observou-se que 43 municípios (30%) foram classificados com

“Baixa vulnerabilidade”, 57 municípios (40%) apresentaram “Média vulnerabilidade” e 43 municípios (30%) com “Alta vulnerabilidade”. Os resultados obtidos a partir do perfil que caracterizou o IVD apresentaram predominância de Média a Baixa. Em vista as análises obtidas do IVD, pode-se constatar que o mesmo pode ser utilizado como ferramenta importante para gestão da vigilância em saúde da dengue na região amazônica, com potencial de ser aplicado em outras regiões do Brasil com ocorrência da doença. Os achados também sinalizam que as ações de prevenção e controle da dengue devem ser interligadas no estado, visando a efetividade do controle entomológico dos vetores e epidemiológico da dengue, incluindo a educação em saúde para o engajamento da população no planejamento dessas ações no município.

Em vista das análises apresentadas, os resultados aqui explanados podem contribuir com informações importantes para os gestores públicos (estadual e municipal) que compartilham a responsabilidade pelo controle da dengue, principalmente na elaboração de diretrizes para os Plano de Contingência para o enfrentamento da Dengue e outras doenças, como Chikungunya e Zika, no âmbito estadual e municipal, visando a prevenção e o controle dos processos epidêmicos, bem como a redução de internações e óbitos.

## REFERÊNCIAS

BOHM, A. W. *et al.* Tendência da incidência de dengue no Brasil, 2002-2012. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, DF, v. 25, n. 4, p. 725-733, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Programa Nacional de Controle da Dengue. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Plano de Contingência Nacional para Epidemias de Dengue. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3vA5pnJ>. Acesso em: 13 jun. 2019.

CHAVES, A. F. F. *et al.* Ambiente e saúde: prioridades nos estados da Amazônia Legal. **Enciclopédia Biosfera**, Goiás, v. 9, p. 2241-2258, 2013.

CHAVES, E. C. *et al.* Condições de vida populacional e incidência de dengue no estado do Pará, Brasil. **Pará Research Medical Journal**, Belém, v. 2, n. 1-4, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/35uTZAG>. Acesso em: 10 dez. 2017.

CORRÊA, J. A. J. *et al.* Associação entre a precipitação pluviométrica e a incidência de dengue em sete municípios do estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 7, p. 2264-2276, 2016.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, Coimbra, v. 93, n. 1, p. 59-69, 2011.

DILON, W.R.; GOLDSTEIN, M. *Multivariate Analysis: methods and applications*. New York: John Wiley & Son, 1984.

EBI, K.; NEALON, J. Dengue in a changing climate. **Environmental Research**, San Diego, v. 151, p. 115-123, 2016.

FIELD, A. **Descobrimos a estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FERREIRA FILHO, D. F. *et al.* 2020. Análise pluviométrica no estado do Pará: comparação entre dados obtidos de estações pluviométricas e do satélite GPCC. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 26, 2020.

GUO, C. *et al.* Global Epidemiology of Dengue Outbreaks in 1990–2015: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, Switzerland, v. 7, n. 317, 2017.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

IBGE. **Censo Demográfico de 2010**: resultados do universo. Brasília, DF, 2010. Disponível em: [http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_estatisticas.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm). Acesso em: 10 nov. 2016.

IBGE. **Cidades@**: Santos. Brasília, DF: IBGE, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/3sC1bu9>. Acesso em: 12 jan. 2017.

IPCC. **Climate Change 2007**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

IPEA. **Atlas do desenvolvimento humano nos municípios brasileiros**. Brasília, DF: IPEA, 2015. Disponível em: <http://ivs.ipea.gov.br/index.php/pt/>. Acesso em: 23 maio 2017.

MENEZES, J. A. *et al.* Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: The construction of a municipal vulnerability index. **PLOS One**, San Francisco, v. 13, n. 2, 2018.

MORIN, C. W. *et al.* Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v. 121, n. 11-12, p. 1264-1272, 2013.

MORAES, B. C. *et al.* Climatologia da precipitação na Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 5, p. 1359-1373, 2015.

MORAES, B. C. *et al.* Sazonalidade nas notificações de dengue das capitais da Amazônia e os impactos do El Niño/La Niña. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 9, 2019.

MURRAY, N. E. A. *et al.* Epidemiology of Dengue: Past, Present and Future Prospects. **Clinical Epidemiology**, New York, v. 5, p. 299-309, 2013.

NAISH, S. *et al.* Climate change and dengue: a critical and systematic review of quantitative modelling approaches. **BMC Infectious Diseases**, London, v. 14, n. 1, 2014.

LÉLIS Félix da Silva; *et al.* Dimensões do Uso e Cobertura da Terra nas Mesorregiões do Estado do Pará. **Espacios**. Vol. 37 (Nº 05) Año 2016. Pág. 5. ISSN 070981015. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n05/16370505.html>

LINDOSO, D. P. Vulnerabilidade e resiliência: potenciais, convergências e limitações na pesquisa interdisciplinar. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 127-144, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3hAJG7a>. Acesso em: 18 jan. 2021.

PARÁ. Decreto nº 1.066, de 19 de junho de 2008. Dispõe sobre a regionalização do Estado do Pará e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Pará**, Belém, 2008. Disponível em: <https://bit.ly/35tLZ9v>. Acesso em: 15 ago. 2017.

PARÁ. Secretaria do Estado do Pará. Coordenação de Vigilância em Saúde. Departamento de Controle de Doenças Transmissíveis. **Plano Estadual para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue**. Belém, 2015.

PARENTE, A. T. *et al.* A ocorrência de malária em quatro municípios do estado do Pará, de 1988 a 2005, e sua relação com o desmatamento. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 41-48, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3psVYmr>. Acesso em: 11 jan. 2021.

PAHO. **Alerta epidemiológico**: dengue nas Américas. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3IDrV2N>. Acesso em: 10 jun. 2016.

SANTOS, M. R. S. *et al.* Vulnerabilidade e mudanças climáticas: análise socioambiental em uma mesorregião da Amazônia. **Revista Ambiental & Água**, Taubaté, v. 12, n. 5, p. 842-854, 2017.

SANTOS, R. B. *et al.* Construção e aplicação de um índice de vulnerabilidade humana à mudança do clima para o contexto brasileiro: a experiência do estado do Espírito Santo. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 299-321, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3hCiXal>. Acesso em: 17 jan. 2021.

SOUZA, M. L. A. *et al.* Bayesian estimates for the mapping of dengue hotspots and estimation of the risk of disease epidemic in Northeast Brazil. **Urban Climate**, Netherlands, v. 26, p. 198-211, 2018.

SOUZA, E. B. Padrões Climatológicos e Tendências da Precipitação Nos Regimes Chuvoso E Seco Da Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 21, 2017.

SINAN. Notificações registradas no Sistema de Informação de Agravos de Notificação Pará. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3vvkHdD>. Acesso em: 10 jan. 2019.

WHO. Global Strategy for Dengue Prevention and Control, 2012-2020. Geneva: WHO, 2012.

WHO. Estimated number of dengue infections each year. Geneva: WHO, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3ICQflq>. Acesso em: 21 fev. 2018.



# ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA EM FUNÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

---

*Data de aceite: 27/10/2023*

**Jaqueline Costa Areas de Almeida**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://lattes.cnpq.br/7506177782536879>  
<https://orcid.org/0000-0002-6104-1469>

**Letícia Delduque Alves**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0002-0739-6875>

**Caroline Moreira de Souza**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0003-0976-7155>

**Ana Beatriz Almeida de Souza**

Graduanda em Engenharia Ambiental e  
Sanitária - Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro.  
<https://lattes.cnpq.br/7503328085047132>  
<https://orcid.org/0000-0002-7313-5091>

**Julia de Souza Lemos**

Graduanda em Engenharia Ambiental e  
Sanitária - Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro.  
<http://lattes.cnpq.br/8399907827243566>  
<https://orcid.org/0009-0006-9687-3755>

**Athila Dias Carrapatoso Ribeiro**

Graduando em Engenharia Civil -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

<http://lattes.cnpq.br/2210417089785626>  
<https://orcid.org/0009-0001-0266-4906>

**Ryan Rodrigues Domingos**

Engenharia Elétrica - Universidade do  
Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0003-2977-8281>

**Wendel Henrique S. de Souza**

Mestrando em Engenharia Ambiental  
- Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro.  
<http://lattes.cnpq.br/4665809163113072>  
<https://orcid.org/0009-0008-9405-16054>

**Alfredo Akira Ohnuma Júnior**

Professor Associado do Departamento de  
Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente,  
da Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/0181633220926313>  
<https://orcid.org/0000-0002-0772-9334>

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo estabelecer a correlação de determinados poluentes atmosféricos com a qualidade da água de chuva armazenada dos pontos da precipitação direta (PD), *first flush* (FF) e reservatório (RR) de um sistema de águas pluviais instalado na cidade do Rio de Janeiro. A metodologia consistiu de

análises de amostras de água de chuva coletadas em um sistema de águas pluviais situado no bairro Rio Comprido, na cidade do Rio de Janeiro, entre janeiro de 2018 e dezembro de 2019, classificadas em período seco e úmido, dos parâmetros: pH, turbidez e condutividade elétrica. Os poluentes atmosféricos foram obtidos do Sistema MonitorAr, da Prefeitura do Rio de Janeiro: Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado (MP<sub>10</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Ozônio (O<sub>3</sub>). Para o tratamento estatístico dos dados foi utilizada a linguagem RStudio com a elaboração de gráficos e matriz de correlação. As amostras de águas pluviais apresentaram caráter ácido, principalmente na PD no período seco. A turbidez, o ponto FF apresentou os maiores resultados, com a maior média também obtida no período de menor precipitação. As médias mais elevadas para condutividade elétrica também ocorreram na época seca para os três pontos analisados. A partir da matriz de correlação observou-se que a condutividade elétrica sofreu interferência dos poluentes atmosféricos, como dos dias consecutivos sem chuva (DCSC). A turbidez para o ponto PD indicou forte correlação com material MP10 e com DCSC. Não foram constatadas fortes correlações entre os poluentes atmosféricos e a acidez da água pluvial. A estiagem favoreceu o aumento da concentração dos poluentes na atmosfera, de modo a comprometer a qualidade da água de chuva. Pode-se constatar a lavagem da atmosfera pela precipitação inicial, de modo que o dispositivo de descarte de volume inicial apresentou relevância na retenção de poluentes para o reservatório.

**PALAVRAS-CHAVE:** poluição atmosférica, qualidade do ar, sistema de aproveitamento de água de chuva, monitoramento da precipitação.

**ABSTRACT:** This study aims to establish the correlation between specific atmospheric pollutants and the quality of stored rainwater from direct precipitation (PD), first flush (FF), and reservoir (RR) points in a stormwater system installed in the city of Rio de Janeiro. The methodology involved analyzing samples of rainwater collected from a stormwater system located in the Rio Comprido neighborhood in Rio de Janeiro, between January 2018 and December 2019. The samples were classified into dry and wet periods and analyzed for pH, turbidity, and electrical conductivity. The atmospheric pollutants, including Carbon Monoxide (CO), Particulate Matter (MP10), Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>), Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), and Ozone (O<sub>3</sub>), were obtained from the Rio de Janeiro City Hall's MonitorAr System. Statistical analysis of the data was performed using the RStudio language, including the creation of graphs and correlation matrices. The rainwater samples exhibited acidic characteristics, primarily at the PD point during the dry period. The FF point showed the highest turbidity results, with the highest average also observed during the period of lower precipitation. The highest averages for electrical conductivity also occurred during the dry season for all three analyzed points. From the correlation matrix, it was observed that electrical conductivity was influenced by atmospheric pollutants as well as consecutive rainless days (DCSC). Turbidity at the PD point indicated a strong correlation with particulate matter (MP10) and DCSC. Strong correlations between atmospheric pollutants and the acidity of rainwater were not observed. The dry period favored an increase in pollutant concentrations in the atmosphere, compromising the quality of collected rainwater. The washing of the atmosphere by initial precipitation was evident, highlighting the importance of the initial volume discard device in retaining pollutants for the reservoir.

**KEYWORDS:** atmospheric pollution, air quality, rainwater harvesting system, precipitation monitoring.

## INTRODUÇÃO

Segundo o estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil (ITB, 2020) para o período de 2017 a 2040, espera-se um aumento significativo na demanda de água no Brasil em função do crescimento econômico, da expansão demográfica e da universalização dos serviços, com uma demanda potencial de água estimada em 14,299 bilhões de m<sup>3</sup> em 2040. Nesse contexto, surgem os projetos referentes às soluções alternativas de abastecimento de água em edificações, de modo a garantir o manejo sustentável das águas pluviais em áreas urbanas. Uma estratégia de otimização dos serviços relacionados à gestão das águas urbanas são os sistemas de captação, armazenamento, tratamento e aproveitamento de águas pluviais com a função de reduzir o uso de água potável para fins menos nobres, proveniente dos sistemas de abastecimentos convencionais, e de amenizar o descarte de volumes de escoamento superficial para a rede urbana de drenagem (ROSTAD, FOTI e MONTALTO, 2016).

Estudos confirmam que o uso de água de chuva pode gerar boa economia de água potável. De acordo com El Tugoz, Bertolini e Brandalise (2017), foi obtida uma redução de cerca de 58% no consumo de água fornecida pela empresa de saneamento, após a instalação de cisterna em uma unidade escolar.

A água pluvial é considerada uma fonte natural de água limpa, porém, apresenta alteração nas suas características devido a absorção de gases presentes na atmosfera, como também pela capacidade de capturar fuligem e demais partículas no processo de limpeza do ar. Desta forma, a qualidade da água de chuva é modificada, tanto pelas atividades naturais e antropogênicas desenvolvidas na região, quanto pelo tipo de material empregado nos telhados e componentes do sistema de captação (IGBINOSA & AIGHEWI, 2017).

Logo, as atividades desenvolvidas nas áreas urbanas impactam a atmosfera. Portanto, deve-se conhecer a natureza, a distribuição e a intensidade dessas atividades para avaliar a qualidade do ar de uma determinada área de estudo. Desta maneira, a origem dos poluentes atmosféricos pode ser de fontes fixas, como as indústrias, e de fontes móveis, como os automóveis (SMAC, 2021) e o processo de remoção de gases e partículas da atmosfera pode ocorrer via deposição úmida ou seca. Na deposição úmida, a limpeza ocorre a partir da precipitação com a incorporação dos poluentes nas gotículas de água, enquanto na deposição seca os poluentes são depositados nas superfícies de captação, devido ausência de chuva (CARDOSO *et al.*, 2020; OHNUMA Jr *et al.*, 2014).

Uma variedade de poluentes é transportada a partir das descargas superficiais nas regiões urbanas, o que influencia na qualidade dos corpos d'água. As superfícies de

escoamento, como ruas e telhados, tornam-se importantes contribuintes de poluentes, caracterizando a poluição das águas pluviais como difusas. Este tipo de poluição inicia pela precipitação, ao lavar e transportar os poluentes atmosféricos, que contribui com as descargas superficiais responsáveis por arrastar uma parcela dos poluentes que se encontram depositados nas superfícies da bacia de estudo, com destinação final em um corpo receptor. É um fenômeno difícil de mensurar, que sofre interferência tanto de fatores meteorológicos, quanto do tipo de uso e ocupação do solo (FREITAS, 2013 *apud* RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017).

Como forma de quantificar a carga de poluentes presente nos escoamentos superficiais, estudos têm avaliado o fenômeno de *first flush em bacias* de drenagem urbana. Cita-se como exemplo desta aplicação o trabalho realizado por Righetto, Gomes e Freitas (2017), que verificaram que as descargas superficiais de uma bacia urbana na cidade de Mirassol – Natal/RN foram responsáveis por carrear elevadas concentrações de poluentes em diversos níveis de intensidade pluviométrica, cujo escoamento superficial apresentou elevado potencial poluidor dos corpos d'água.

Deste modo, torna-se imprescindível entender a variabilidade da qualidade das águas provenientes de escoamentos superficiais, com o intuito de realizar o manejo sustentável das águas pluviais urbanas (FREITAS, 2013 *apud* RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017). Portanto, a busca por estratégias que atenuem os impactos dos contaminantes nas águas pluviais a níveis local, regional e nacional deve ser constante, a fim de contribuir nas tomadas de decisão. Para isso, faz-se necessária a compreensão entre poluição atmosférica e água captada, ocorrência dos compostos, bem como conhecimento das fontes e concentrações, uma vez que há uma limitação na disponibilidade dos dados (GASPERI *et al*, 2014).

Este trabalho tem como objetivo estabelecer a correlação de determinados poluentes atmosféricos com a qualidade da água de chuva armazenada nos pontos da precipitação direta (PD), *first flush* (FF) e reservatório (RR) de um sistema de águas pluviais, instalado em região densamente urbanizada na cidade do Rio de Janeiro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo selecionada para coleta das amostras de água de chuva contempla o sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP) instalado no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), localizado na Rua Santa Alexandrina, nº 288, bairro Rio Comprido, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. O SAP encontra-se em uma região intensamente urbanizada, sendo uma das principais zonas de transição entre as regiões norte e sul da cidade do Rio de Janeiro, por meio do elevado tráfego de veículos na Avenida Paulo de Frontin e Elevado Engenheiro Freyssinet.

Para obtenção dos dados pluviométricos foi adotada a Estação nº 4 – Tijuca do

Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2021), situada no Maciço da Tijuca no Centro de Estudos do Sumaré – Estrada do Sumaré, nº 670, bairro Rio Comprido. Os dados referentes aos poluentes atmosféricos foram adquiridos da Estação Tijuca da Rede MonitorAr-Rio (SMAC, 2021), situado na Praça Saens Pena, s/n, bairro Tijuca. As estações Tijuca do sistema Alerta Rio e do programa MonitorAr encontram-se equidistantes do SAP-CAP em aproximadamente 1,5 km e 2,5 km, respectivamente (Figura 1, à esquerda).

Os bairros da Tijuca, Rio Comprido, Maracanã e São Cristóvão estão contidos no raio de 2 km da Estação Tijuca da Rede MonitorAr, localizada na Praça Saens Pena, próximo à Rua Conde de Bonfim, caracterizada como uma via arterial secundária relevante para a região. Além disso, apresenta uma distribuição espacial dos ventos que sofre influência da brisa da montanha, devido à proximidade com o Maciço da Tijuca, com a circulação dos ventos dificultada pelos edifícios (SMAC, 2021).

O sistema de águas pluviais foi projetado para coletar e armazenar a água de chuva que escoar pelo telhado da quadra poliesportiva do colégio, composto por telhas de aço galvanizado, com área de 80 m<sup>2</sup> disponível para captação, correspondente à aproximadamente ¼ da cobertura total.

O SAP do CAP-UERJ é composto por calhas de chapa metálica galvanizada, condutores verticais e horizontais de PVC, conexões, extravasor, coletor de deposição úmida (PD), dispositivo separador de sólidos (SS), dispositivo de descarte dos primeiros milímetros de chuva (*first flush*), reservatório de polietileno de 2.460 litros (modelo *FatBoy Slim*) e registros de coleta de amostras em pontos específicos do sistema.

O sistema dispõe de 3 principais pontos de coleta de águas pluviais denominados: (1) precipitação direta – PD, com capacidade 5,5 litros para captação da água da chuva diretamente da atmosfera; (2) sistema de descarte inicial *first flush* – FF, com capacidade para armazenar 0,2 mm de precipitação a partir da deposição úmida e seca e (3) reservatório – RR, ponto destinado ao aproveitamento, localizado cerca de 0,40 metros do piso, com capacidade para armazenar até 24,30 mm de precipitação. Os principais pontos do sistema de águas pluviais do CAP-UERJ são apresentados na Figura 01 (à direita).

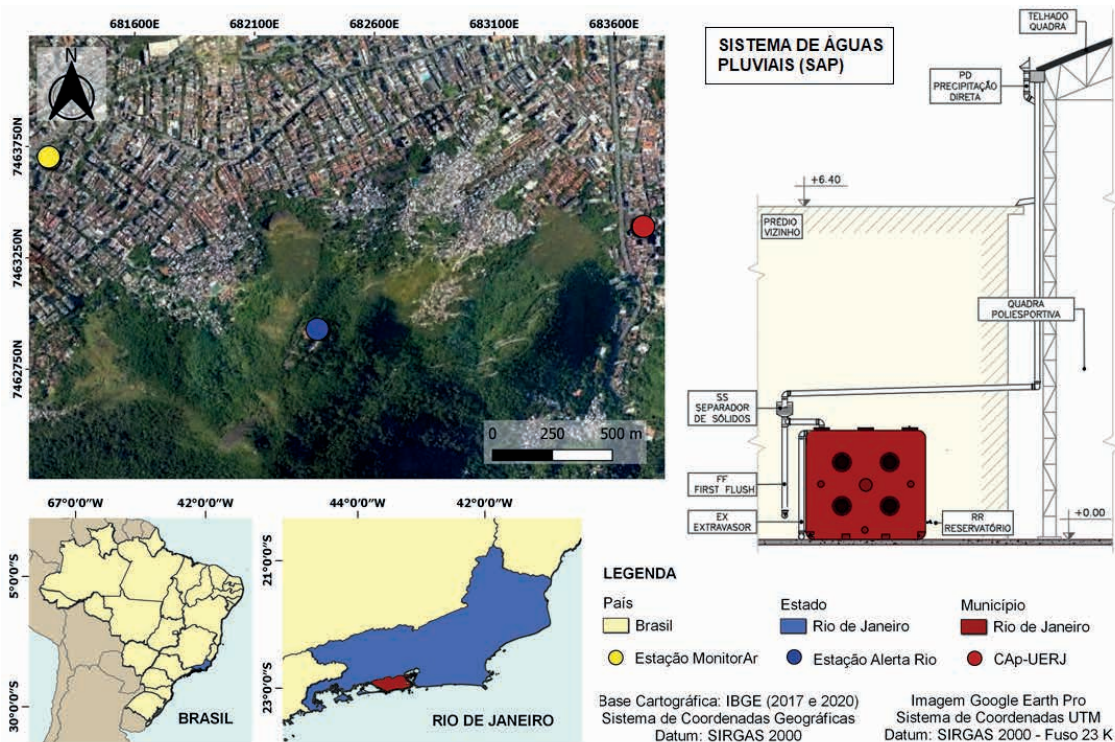


Figura 1 – Localização do sistema de águas pluviais (SAP-CAP), estação MonitorAr, estação Alerta Rio (à esquerda) e vista frontal do sistema de águas pluviais do CAP-UERJ (à direita). Fonte: Elaboração própria, 2022

## CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA REGIÃO

Para determinar a média mensal da precipitação local foi realizado o tratamento dos dados fornecidos pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2021) para a série histórica de 1997 a 2019, disponíveis para a estação n° 4 da Tijuca.

A avaliação da qualidade da água pluvial considerou dois períodos do ano (úmido e seco) definidos a partir da média mensal corrigida, que foi obtida por meio da média mensal anual da série histórica subtraída do desvio padrão (NAKADA e MORUZZI, 2014). Os meses de janeiro a maio e setembro a dezembro apresentaram valores acima da média mensal corrigida e foram classificados como período úmido (janeiro a maio e setembro a outubro), enquanto os meses entre junho a agosto como período seco, por estarem abaixo da média mensal (Figura 2).

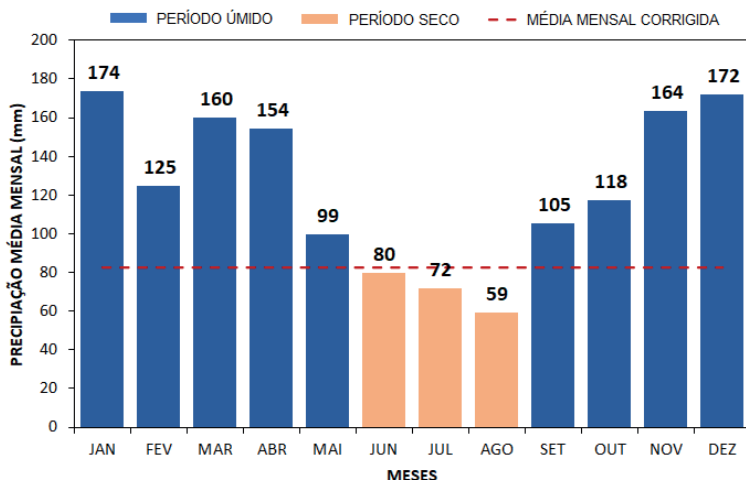


Figura 2 – Precipitação média mensal para a série histórica de 1997 a 2019 para a estação Tijuca.  
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, 2022

Os valores médios para o período estudado variaram entre 59 mm para o mês de agosto e 174 mm para o mês de janeiro. Além disso, ao analisar a precipitação acumulada anual de 1997 a 2019 para a estação Tijuca, observa-se que 2014 foi o período mais seco, com o menor acumulado anual de 860 mm. Contudo, a maior precipitação total anual foi registrada em 1998 com 2.600 mm, considerado o ano mais chuvoso, entre 1997 e 2019. O maior registro de precipitação acumulada mensal na série histórica ocorreu em 1998 com 527 mm. O mês de julho de 2019 apresentou o menor acumulado mensal precipitado, equivalente a 21 mm.

O Rio de Janeiro tem maior predominância do clima tipo Aw, segundo a classificação de Köppen aplicada no período de 1961 a 2015 por Dubreuil *et al.* (2017), que apresenta clima quente com chuva de verão e estação seca no inverno. Logo, a Figura 2 permite caracterizar o comportamento hidrológico da Tijuca típico de regiões de clima tropical com meses mais secos no inverno e chuvas intensas no verão.

## QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Foram coletadas 25 amostras de água de chuva para o ponto de precipitação direta (PD), 23 amostras para os pontos de *first flush* (FF) e 23 amostras para o ponto do reservatório. Em relação ao período úmido, foram 18 amostras para PD, 17 amostras para FF e 17 para RR, enquanto o período seco totalizou 7 amostras para PD e 6 amostras para FF e RR cada.

As coletas do período úmido foram realizadas de 18 de janeiro a 23 de maio de 2018, de 01 de outubro de 2018 a 21 de maio de 2019 e de 17 de outubro a 13 de dezembro



de 2019. As amostras do período seco ficaram compreendidas entre 19 de junho a 17 de setembro de 2018 e de 09 de julho de 2019 a 12 de setembro de 2019.

A análise estatística dos dados foi realizada a partir do uso da Linguagem R (R CORE TEAM, 2020), com programação realizada no ambiente *RStudio*®.

Para análise qualitativa das águas pluviais foi utilizada a estatística descritiva para cada parâmetro de qualidade, com representação a partir do gráfico *boxplot*, para os parâmetros pH, turbidez e condutividade elétrica. Este gráfico apresenta o quartil inferior e superior, onde formam a caixa do gráfico em que se concentram 50% dos resultados, como também os limites mínimos e máximos, a mediana e os *outliers*. Quando disponível, os limites estipulados pelos padrões adotados foram identificados por uma linha tracejada na cor vermelha.

No entanto, foi utilizada a estatística multivariada por meio da matriz de correlação de Pearson para avaliar a existência de possíveis relações entre as variáveis escolhidas, quais sejam: parâmetros de qualidade de águas pluviais, poluentes atmosféricos, índice de qualidade do ar (IQAr), precipitação total (PTOT) e dias consecutivos sem chuva (DCSC).

A metodologia adotada para utilizar os dados de poluentes atmosféricos consistiu em calcular uma média de suas concentrações entre as campanhas de águas pluviais, visto que estas amostras normalmente são coletadas uma vez por mês, enquanto os dados dos poluentes são disponibilizados diariamente. Desta forma, cada amostra de água de chuva apresentou um valor correspondente de poluentes atmosféricos. Para a precipitação total (PTOT) foi realizada a soma dos volumes precipitados entre as coletas.

As amostras foram analisadas *ex situ*, no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, para caracterização dos volumes armazenados. Os parâmetros físico-químicos adotados e seus respectivos métodos são: pH (Método 4500 –  $H^+$  B: *Electrometric Method*), turbidez (Método 2130 B: *Nephelometric Method*) e condutividade elétrica (Método 2510 B: *Laboratory Method*), segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012).

As análises utilizaram os equipamentos turbidímetro, modelo TECNOPON TB-1000; pHmetro, modelo QUIMIS Q400AS e condutivímetro de bancada QUIMIS Q405M.

No Brasil, os padrões de qualidade para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis devem atender preferencialmente ao disposto na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), como também a NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) destinada ao uso de fontes alternativas de água não potável. Porém, para uma maior abrangência na caracterização das águas pluviais também foi adotada a Portaria de GM/MS nº 888/2021 (MS, 2021) referente aos parâmetros de potabilidade (Tabela 1).



| PARÂMETRO                                        | NBR 15.527/2019         | NBR 16.783/2019 | PORTARIA GM/MS<br>Nº 888/2021 |
|--------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Condutividade elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) | -                       | $\leq 3.200$    | -                             |
| pH                                               | 6 – 9                   | 6 – 9           | 6 – 9                         |
| Turbidez (UNT)                                   | $\leq 5$ <sup>(1)</sup> | $\leq 5$        | $\leq 5$ <sup>(2)</sup>       |

<sup>(1)</sup> < 5 UNT: valor máximo permitido; <sup>(2)</sup> Padrão organoléptico de potabilidade. Fonte: Elaboração própria.

Tabela 1 – Limites utilizados para padronização da qualidade da água de chuva

O valor de pH nas normas brasileiras (ABNT, 2019) varia entre 6 e 9, enquanto o mesmo intervalo fica subentendido na nova Portaria GM/MS nº 888/2021 (MS/2021). O parâmetro turbidez apresenta o mesmo valor máximo permitido de 5 UNT, entretanto, esse limite para o padrão de potabilidade é permitido para o sistema de distribuição. Para garantir a qualidade da água quanto ao uso potável, o Anexo 2 da Portaria GM/MS no 888/2021 (MS, 2021) apresenta o valor máximo permitido como padrão de turbidez pós-filtração de 0,5 UNT para filtração rápida e 1,0 UNT para filtração lenta, em 95% das amostras, além de 0,1 UNT para filtração em membrana em 99% das amostras. O parâmetro condutividade elétrica apenas é citado na NBR 16.783/2019, com limite máximo de  $3.200 \mu\text{S.cm}^{-1}$  (ABNT, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

De modo geral, o pH das amostras de águas pluviais variou de 3,3 a 7,53 com predominância de caráter ácido, com médias iguais a  $4,13 \pm 0,56$  para PD,  $6,49 \pm 0,46$  para FF1 e  $6,39 \pm 0,46$  para RR no período úmido e  $3,71 \pm 0,22$  para PD,  $6,52 \pm 0,23$  para FF e  $6,39 \pm 0,25$  para RR no período seco. É possível observar que os meses mais secos resultaram em um menor valor de pH para o ponto de precipitação direta (PD), com o valor máximo para este ponto igual a 3,99. Nos demais pontos (FF e RR), o comportamento foi semelhante entre os períodos úmido e seco (Figura 3 à esquerda).

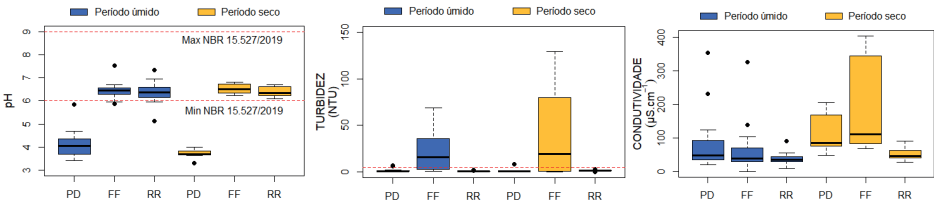


Figura 3 – Boxplot dos parâmetros pH (à esquerda), turbidez (ao meio) e condutividade elétrica (à direita). PD: Precipitação Direta, FF: First Flush, RR: Reservatório. Fonte: Autoria própria, 2022.

Todas as amostras de águas pluviais para o ponto de precipitação direta (PD) estavam abaixo do limite mínimo da NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019). Tanto o ponto de descarte de volume inicial (FF) quanto o ponto destinado ao uso da água de chuva (RR)

apresentaram 2 amostras (11, 76% para FF e 11,11% para RR) no período úmido com resultado ligeiramente abaixo do limite mínimo permitido em norma, com pH de 5,86 e 5,96 para FF e 5,14 e 5,96 para RR, enquanto os demais resultados foram compreendidos entre 6,0 e 9,0 conforme disposto na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019). No período seco, os pontos FF e RR indicam totalidade dos resultados dentro da faixa permitida em norma para o pH.

A água de chuva ao escoar pela superfície de captação da quadra poliesportiva do CAP-UERJ composta por telhado de aço galvanizado resultou em maiores valores de pH nos pontos FF e RR, em comparação ao ponto sem interferência do telhado no ponto de coleta da precipitação direta (PD). Um comportamento semelhante foi observado por Calheiros *et al.* (2014), com a média obtida para pH de  $5,81 \pm 0,34$  para as amostras de água de chuva coletadas diretamente da atmosfera e, após ter contato com as superfícies de captação, foi verificada a influência dos materiais de amianto, zinco e cerâmica constituintes das coberturas, cujos resultados foram elevados para  $7,36 \pm 0,44$ ,  $6,45 \pm 0,27$  e  $6,39 \pm 0,55$ , respectivamente à superfície dos materiais. Desta forma, pode-se notar uma maior acidez nas amostras coletadas de água de chuva diretamente da atmosfera, em relação às amostras obtidas após entrar em contato com a superfície de captação, nos pontos de descarte inicial (FF) e no reservatório (RR).

O ponto do *first flush* (FF) ultrapassou o limite máximo de turbidez (Figura 3 ao meio) estabelecido pelas referências adotadas de 5 UNT, com média igual a  $24,41 \pm 25,18$  UNT para o período úmido e  $41,38 \pm 52,02$  UNT para o período seco, apresentando valores mais elevado no período de menor precipitação. Entretanto, com exceção dos *outliers*, os pontos das amostras coletadas diretamente da atmosfera (PD) e do reservatório (RR) estiveram abaixo do limite máximo, com médias de  $1,43 \pm 1,90$  UNT para PD e  $0,53 \pm 0,50$  para RR no período úmido e  $1,87 \pm 3,05$  para PD e  $1,14 \pm 0,94$  para RR no período de seco. Em todos os pontos do sistema de águas pluviais, os resultados mais elevados de turbidez foram constatados no período seco.

De forma geral, os resultados da turbidez no período úmido variaram de 0,00 a 6,50 UNT (PD), 0,60 a 69,00 UNT (FF) e 0,00 a 1,84 UNT (RR), enquanto para o período seco foram 0,00 a 8,00 UNT (PD), 0,00 a 129,00 UNT (FF) e 0,00 a 2,60 UNT (RR). Desse modo, pode-se constatar que, após o descarte dos primeiros milímetros de precipitação pelo dispositivo *first flush* (FF), o ponto RR obteve resultados com melhorias significativas da turbidez, seja no período úmido, como no período seco, demonstrando a eficiência do descarte das primeiras águas. Além disso, os menores valores máximos foram obtidos para o ponto RR, não ultrapassando 2,60 UNT.

O ponto RR apresentou 18 amostras (78,2%) com valores de turbidez iguais ou inferiores a 1,00 UNT que, segundo o Anexo 2 da Portaria GM/MS no 888/2021 (MS, 2021), seria o limite a não ser ultrapassado para garantir condição sanitária adequada para filtração lenta, em 95% das amostras.

Nakada e Moruzzi (2014) também notaram uma maior variabilidade de turbidez em resultados de amostras qualitativas da água da chuva no período de estiagem, com uma redução a partir do aumento da frequência de eventos de chuva, com médias iguais a  $30,03 \pm 51,71$  UNT,  $8,39 \pm 5,05$  UNT e,  $3,10 \pm 1,85$  UNT para épocas de estiagem, chuvas e chuvas intensas, respectivamente.

Breginski e Coelho (2015) verificaram que menores valores de turbidez foram observados em chuvas com maiores índices pluviométricos e que a ocorrência de eventos de precipitação sucessivas, independente do índice pluviométrico, resultou em uma redução do parâmetro, justificado pelos autores devido ao menor acúmulo de material depositado no coletor.

As amostras de águas pluviais apresentaram as médias mais elevadas de condutividade elétrica no período seco (Figura 3 à direita), de:  $118,30 \pm 61,43 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para PD,  $187,10 \pm 146,56 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para FF e  $53,78 \pm 24,38 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para RR. Para o período de maior volume precipitado, os resultados foram de  $81,97 \pm 84,25 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ,  $62,24 \pm 76,47 \mu\text{S.cm}^{-1}$  e  $37,75 \pm 18,18 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para PD, FF e RR, respectivamente. Este resultado permite observar uma redução dos valores no ponto do reservatório (RR), após o descarte das primeiras águas pelo dispositivo *first flush* (FF), o que demonstra a importância em adotar esses sistemas de descarte inicial.

Ao avaliar todos os pontos do sistema, os valores para a condutividade oscilaram entre 0,61 e  $403,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , ou seja, abaixo do limite de  $3.200 \mu\text{S.cm}^{-1}$  estabelecido pela NBR 16.783 (ABNT, 2019). Para os períodos seco e úmido é possível observar que o ponto RR apresentou a menor variabilidade dos resultados de condutividade elétrica, cujo valor máximo não ultrapassou  $91,20 \mu\text{S.cm}^{-1}$ .

Ao monitorar a qualidade da água de chuva armazenada nas cisternas instaladas na comunidade ribeirinha do Furo Grande - Pará, Neu *et al.* (2018) observaram valores mínimos, máximos e médios de condutividade iguais a 20, 77 e  $35,7 \pm 19 \mu\text{S.cm}^{-1}$  durante período menos chuvoso e de 7,27 e  $13,3 \pm 5,6 \mu\text{S.cm}^{-1}$  no período mais chuvoso. Segundo esses autores, a atmosfera e a superfície de captação tornam-se mais limpas com o aumento da frequência de precipitação, uma vez que o material particulado é solubilizado no período mais chuvoso, reduzindo a condutividade elétrica pela redução da concentração de íons na atmosfera.

## CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A análise do comportamento sazonal referente a concentração dos poluentes atmosféricos indica que as médias para o período úmido correspondem a  $0,53 \pm 0,33$  ppm para o monóxido de carbono (CO),  $28,93 \pm 9,52 \mu\text{g.m}^{-3}$  para partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ),  $62,90 \pm 19,88 \mu\text{g.m}^{-3}$  para dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e  $3,53 \pm 2,89 \mu\text{g.m}^{-3}$  para dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), enquanto o período seco registrou  $0,57 \pm 0,21$  ppm para CO,  $32,62 \pm 12,47$

$\mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{MP}_{10}$ ,  $73,06 \pm 23,63 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{NO}_2$  e  $3,94 \pm 3,53 \mu\text{g.m}^{-3}$  para  $\text{SO}_2$ . A Figura 5 ilustra o comportamento para cada poluente.

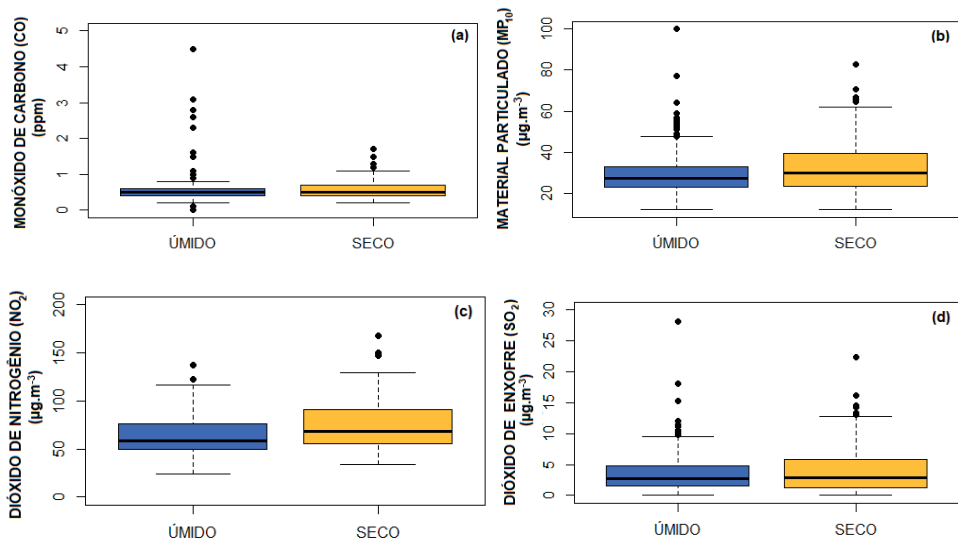


Figura 5 – *Boxplot* da concentração dos poluentes atmosféricos (a) monóxido de carbono em ppm, (b) partículas inaláveis em  $\mu\text{g.m}^{-3}$  (c) dióxido de nitrogênio em  $\mu\text{g.m}^{-3}$  e (d) dióxido de enxofre em  $\mu\text{g.m}^{-3}$  por período. Fonte: Autoria própria, 2022.

De modo geral, é possível notar que o período seco foi responsável pelos resultados mais elevados que o período úmido, com destaque para partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ) e dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). Este resultado foi similar ao abordado por Almeida *et al.* (2019), em que uma análise mensal indicou que os meses relacionados ao período de inverno apresentaram maiores concentrações para óxidos de nitrogênio e partículas inaláveis, fato justificado pela dificuldade de dispersão dos poluentes devido ao fenômeno de inversão térmica.

De acordo com o Relatório da Rede MonitorAr-Rio sobre a Qualidade do Ar na Cidade do Rio de Janeiro para o ano base 2011-2012 (SMAC, 2021), a Estação Tijuca teve uma média sazonal, para as quatro 4 estações do ano, inferior a 0,30 ppm para monóxido de carbono, 8,00  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para dióxido de enxofre e 45,00  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para partículas inaláveis. Observa-se que as médias sazonais do presente estudo foram superiores às encontradas em 2011-2012. A partir dos gráficos do relatório, é possível verificar que o inverno indicou maiores concentrações para o monóxido de carbono e partículas inaláveis, enquanto o período sazonal para o ano de 2012 apresentou elevada concentração das médias sazonais do dióxido de enxofre nos períodos de verão e primavera.

A qualidade do ar da região da Tijuca é influenciada por fontes móveis, devido à elevada quantidade de veículos de passeio e à expressiva contribuição de ônibus de transporte público. Portanto, o monitoramento registra concentrações baixas de dióxido

de enxofre e monóxido de carbono, além de valores altos de partículas inaláveis (SMAC, 2021). As áreas urbanas que registram a emissão de partículas inaláveis e dióxido de enxofre, com pequeno índice de indústrias, têm origem predominante dos veículos que utilizam diesel (ALMEIDA *et al.*, 2019).

## CORRELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE DE ÁGUA PLUVIAL E OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Na análise de correlação dos resultados de qualidade de água e dos poluentes atmosféricos, buscou-se justificar as possíveis variabilidades da qualidade da água de chuva a partir da correlação linear de *Pearson*, pelo gráfico Matriz de Correlação, nos períodos de chuva e de estiagem. Desta forma, para a análise foram incluídos os parâmetros de qualidade do ar, como também os parâmetros *físico-químicos* referentes à qualidade da água de chuva.

Os poluentes atmosféricos inseridos foram: Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado (MP<sub>10</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Quanto aos parâmetros de qualidade das águas pluviais, foram adotados Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (TU) e Condutividade Elétrica (CE) por ponto de coleta do sistema de aproveitamentos de águas pluviais do CAP-UERJ, quais sejam: Precipitação Direta (PD), *First Flush* (FF) e Reservatório (RR). Além disso, acrescentou-se também a precipitação total entre as campanhas (PTOT) e os dias consecutivos sem chuva (DCSC) entre as coletas. Nota-se que as correlações entre parâmetros de qualidade de água de chuva e de poluentes atmosféricos foram mais fortes no período seco, em relação ao período úmido, na medida em que se observa uma maior quantidade de correlação positiva nos períodos de estiagens prolongadas (Figura 6).

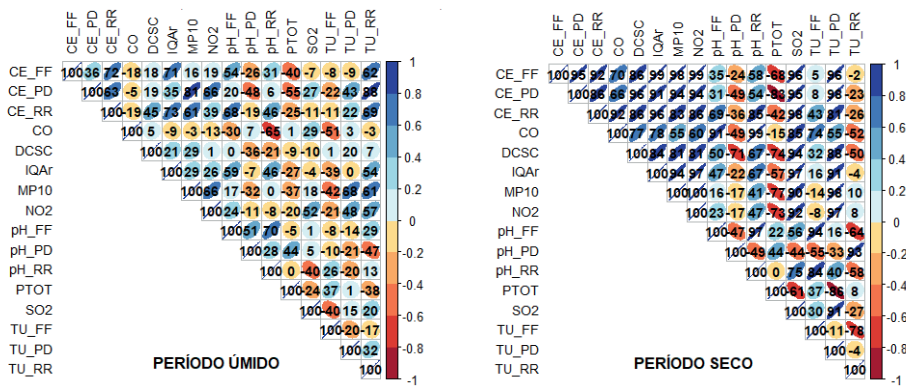


Figura 6 – Matriz de correlação para o período seco e úmido entre os parâmetros de qualidade das águas pluviais e os poluentes atmosféricos. Fonte: Autoria própria, 2022.

A precipitação total (PTOT) correlacionou-se negativamente com a condutividade elétrica (CE) para os três pontos que compõe o sistema (PD, FF e RR), com destaque

para o ponto de precipitação direta (CE\_PD), com  $r=-83$ , indicando que o aumento da frequência de chuvas reduz os valores de condutividade, devido a limpeza da atmosfera. Fato que também pode ser observado pela correlação da condutividade elétrica (CE\_PD, CE\_FF e CE\_RR) com os dias consecutivos sem chuva (DCSC), com elevada associação direta iguais a  $r=96$ ,  $r=86$  e  $r=86$ , respectivamente. Além disso, a condutividade elétrica apresentou correlação positiva com os poluentes atmosféricos no período seco, ou seja, houve aumento de  $MP_{10}$ ,  $NO_2$  e  $O_3$  para os três pontos do sistema (PD, FF e RR) e CO com o ponto RR, com aumento da condutividade nas amostras de águas pluviais.

Martins, Oliveira e Schweitzer (2016) evidenciaram que o aumento do período de estiagem resultou em uma elevação do parâmetro condutividade elétrica em três pontos analisados (A, B, C), com valores iguais a  $18,5 \mu S.cm^{-1}$  (A),  $16,3 \mu S.cm^{-1}$  (B) e  $19,3 \mu S.cm^{-1}$  (C) para 12 dias de estiagem e  $12,7 \mu S.cm^{-1}$  (A),  $14,5 \mu S.cm^{-1}$  (B) e  $10,1 \mu S.cm^{-1}$  (C) na sequência de dias chuvosos.

No período seco, o material particulado ( $MP_{10}$ ) teve correlação positiva com  $NO_2$  ( $r=100$ ) e  $SO_2$  ( $r=90$ ). De maneira similar ocorreu entre  $NO_2$  e  $SO_2$  que apresentaram correlação de Pearson igual a  $r=92$ , indicando que podem ser oriundos da mesma fonte de poluição, ou seja, fontes móveis. Além disso, o  $MP_{10}$  apresentou forte correlação positiva com os dias consecutivos secos (DCSC,  $r=81$ ) e negativa com a precipitação total entre as campanhas (PTOT,  $r=-77$ ). De acordo com Barros (2014), a concentração de  $MP_{10}$  é menor quanto maior a precipitação, pois o material particulado presente na atmosfera é removido pela chuva. Segundo Almeida *et al.* (2019), as maiores concentrações de  $NO_2$ , NO e  $MP_{10}$  foram observadas nos meses centrais do calendário para o estudo realizado no Rio de Janeiro, período relacionado ao inverno, devido a dificuldade de dispersão dos gases nas correntes verticais.

O parâmetro turbidez para o ponto de precipitação direta (TU\_PD) apresentou coeficiente de Pearson  $r=98$  ao relacionar com  $MP_{10}$  e  $r=88$  para dias consecutivos sem chuva (DCSC), como também houve correlação de  $r=81$  entre DCSC e  $MP_{10}$ . Desta forma, um maior intervalo no período de estiagem tende a aumentar a concentração de material particulado ( $MP_{10}$ ) em suspensão na atmosfera, afetando diretamente o parâmetro turbidez no ponto PD, destinado a coletar amostras de águas pluviais diretamente da atmosfera.

A turbidez do ponto PD (TU\_PD) apresentou fraca correlação do parâmetro nos demais pontos (TU\_FF e TU\_RR) nos períodos úmidos e secos. Este resultado pode significar que o ponto PD é influenciado pelo material em suspensão na atmosfera, enquanto os pontos FF e RR relacionam-se aos sólidos depositados na superfície de captação. Outro fator importante é que os pontos FF e RR apresentaram forte correlação negativa para turbidez no período seco ( $r=-78$ ), ou seja, o aumento do material retido no ponto de *first flush* após eventos de precipitação reduz o carreamento de poluentes para o ponto do reservatório. Além disso, a TU\_PD teve forte correlação negativa com a precipitação (PTOT) com  $r=-86$ , logo, o aumento do volume de chuva ocasiona a redução do parâmetro.

Ao avaliar a variabilidade da qualidade das águas pluviais coletadas em telhas de cerâmica, Nakada e Moruzzi (2014) notaram uma correlação elevada (0,792) entre o parâmetro turbidez e o período de estiagem e justificaram o ocorrido a partir do trabalho de Yaziz *et al.* (1989), concluindo que a deposição de poluentes nas superfícies do telhado no período seco altera a qualidade da água de chuva escoada pela cobertura, pois um período de estiagem mais prolongado resulta em um aumento na quantidade de poluentes depositados nas coberturas de captação.

Neste estudo não foram identificadas intensas correlações entre os poluentes e o potencial hidrogeniônico (pH) dos pontos, tanto para o período úmido quanto para o período de menor precipitação. Contudo, o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) apresentaram uma relação intermediária com o pH do PD,  $r = -49$  e  $r = -44$ , respectivamente, para o período seco. Salla *et al.* (2013) verificaram que o pH das amostras de água de chuva coletadas variou entre 6 e 9, porém uma das exceções o pH permaneceu entre 3,9 e 4,2 verificada em período prolongado de estiagem, cuja ocorrência foi pautada na possibilidade de reações químicas entre a água pluvial e os gases da atmosfera, como óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio.

Os poluentes analisados apresentaram forte correlação positiva com DCSC, com  $r = 81$  para MP<sub>10</sub>,  $r = 83$  para O<sub>3</sub>,  $r = 77$  para CO,  $r = 81$  para NO<sub>2</sub> e  $r = 94$  para SO<sub>2</sub>. Este resultado permite observar que em épocas de estiagem o índice de qualidade do ar (IQA<sub>r</sub>) apresenta resultados mais elevados, cuja correlação foi de  $r = 84$ . Porém, foram constatadas correlações negativas intermediárias a forte com a precipitação (PTOT), para MP<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> com  $r = -77$ ,  $r = -41$ ,  $r = -73$  e  $r = -61$ , respectivamente, e fraca com CO ( $r = -15$ ). Maia *et al.* (2019) encontraram correlação negativa entre a precipitação pluvial e os poluentes monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e partículas inaláveis (PI) na cidade do Rio de Janeiro, associando a redução dos contaminantes com o aumento da precipitação. Segundo os autores, este resultado possibilita entender a ação da chuva como agente responsável pela deposição dos poluentes. Além disso, o índice pluviométrico não muito elevado foi indicado como uma possibilidade de o estudo não ter encontrado correlações fortes entre essas variáveis analisadas (MAIA *et al.*, 2019).

## CONCLUSÕES

Este trabalho permite concluir que os dispositivos de descarte da precipitação efetiva inicial, denominado *first flush*, auxiliaram na melhoria da qualidade da água pluvial a partir da neutralização do pH e redução dos parâmetros turbidez e condutividade elétrica no ponto do reservatório (RR), de modo a garantir a eficiência na remoção de poluentes depositados na superfície de captação e provenientes da lavagem da atmosfera pela precipitação. O ponto RR atendeu aos limites adotados como referência para pH, turbidez e condutividade elétrica, no período seco e úmido. A avaliação dos resultados em período

úmido e seco permitiu constatar maior influência do período de estiagem na qualidade da água de chuva, na medida em que a chuva desempenha importante função na diluição dos poluentes transportados pela água.

Além disso, foram encontradas correlações predominantes entre os poluentes atmosféricos, fatores meteorológicos e parâmetros físico-químicos no período seco. A qualidade do ar é inferior com o aumento dos dias consecutivos sem chuva, resultando na elevação da concentração dos poluentes presentes na atmosfera, e observado nos resultados da condutividade elétrica em amostras de água de chuva. O parâmetro turbidez no ponto de precipitação direta (PD) teve correlação positiva com material particulado e os dias consecutivos sem chuva.

Devido às intensas correlações entre os poluentes  $MP_{10}$ ,  $NO_2$  e  $SO_2$ , como também pelas características urbanas da região de estudo, foi possível constatar que a origem da poluição atmosférica da área é originada predominante de fontes móveis.

Neste estudo não foram observadas fortes correlações entre a acidez da água pluvial e os poluentes atmosféricos. Contudo, foram identificadas associações intermediárias negativas do parâmetro pH com monóxido de carbono e dióxido de enxofre, no período seco, para o ponto de precipitação direta (PD).

## REFERÊNCIAS

ALERTA RIO. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro: Sistema de alerta de chuvas intensas e de deslizamentos em encostas da cidade do Rio de Janeiro. Gerenciado pela Fundação GEO-RIO. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em: setembro de 2023.

ALMEIDA, Raphael Perciliano da Silva de; SOUZA, Thainá de Carvalho e; SOUZA, Simone Lorena Quiterio de; MARTINS, Eduardo Monteiro; CORRÊA, Sergio Machadol. Comparação da Qualidade do Ar em Localidades Industrial e Urbana. **Revista Internacional de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 47-62, 2019.

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed. [s.l:s.n], 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15527: Água de chuva -Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16783: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações, 2019.

BREGINSKI, Ana Luíza Prazeres; COELHO, Paula Moreno Batista da Rocha. Qualidade Da Água Pluvial no Campus Alto Paraopeba – UFSJ: Análise De Parâmetros Físicos e Químicos. Universidade Federal de São João Del-Rei. Ouro Branco, MG. 2015.

CALHEIROS, Herlane Costa; GOMES, Mônica Regina; ESTRELLA, Percy Máximo Anco. Calidad de las aguas meteóricas en la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 336-346, 2014.



CARDOSO, Rkoa; SILINGARDI, Helena Maura Torezan; CARDOSO, Arnaldo Alves. Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente. **Química Nova na Escola, São Paulo**, v. 42, n. 4, p. 382-385, 2020.

DUBREUIL, Vincent; FANTE, Karime Pechutti; PLANCHON, Olivier; SANT'ANNA NETO, João Lima. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de köppen de 1961 a 2015. *Confin*, n. 37, 24 set. 2018. OpenEdition. <http://dx.doi.org/10.4000/confin.15738>.

EL TUGOZ, Jamila; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor; BRANDALISE, Loreni Teresinha. Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. **Revista de gestão ambiental e sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 26-39, 2017.

IGBINOSA, Isoken H.; AIGHEWI, Isoken T. Quality assessment and public health status of harvested rainwater in a peri-urban community in Edo State of Nigeria. *Environmental monitoring and assessment*, v. 189, n. 8, p. 1-12, 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **Demanda Futura por Água Tratada nas Cidades Brasileiras 2017 a 2040**. 2020. 54 p.

MAIA, Juliana Lúcio Motta; NETTO, Vinicius M.; COSTA, Bruno Lucian Gonçalves. Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Gestão Urbana* [online]. 2019, v. 11 Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20180145>>.

MARTINS, Marizete Muller; OLIVEIRA, Leyza Paloschi; SCHVEITZER, Bianca. Avaliação Das Características Físico-Químicas Da Água Da Chuva Em Diferentes Pontos No Município De Caçador–Sc. **Revista Interdisciplinar de Estudos em Saúde**, p. 78-93, 2016.

MINISTÉRIO DE SAÚDE (MS). *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 2021.

NAKADA, Liane Yuri Kondo; MORUZZI, Rodrigo Braga. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 1-9, jan/mar. 2014.

NEU, Vania; GUEDES, Victor Martins; ARAÚJO, Maria Gabriella da Silva; MEYER, Leandro Frederico Ferraz; BRITO, Ian Rodrigues; BATISTA, Lucas Mota. Água de chuva para consumo humano: estudo de caso na Amazônia Oriental. *Inclusão Social*, Brasília - DF, v. 12, n. 1, p. 183-198, jul/dez. 2018.

OHNUMA JR, Alfredo Akira; PICOLLI, Rodolpho; ACCIOLY, Wagner; MARQUES, Marcia; SILVA, Luciene Pimentel da. A influência da poluição atmosférica na qualidade das águas pluviais. *Hydro*, v. 9, p. 60-65, 2014.

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROSTAD, Nathan; FOTI, Romano; MONTALTO, Franco A. Harvesting rooftop runoff to flush toilets: Drawing conclusions from four major US cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 97-106, 2016.

SALLA, Marcio Ricardo; LOPES, Gabriela Bernardi; PEREIRA, Carlos Eugênio; NETO, João da Costa Moura; PINHEIRO, Aline Martins. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. *Ambiente Construído*, v. 13, p. 167-181, 2013.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE (SMAC). Boletim Diário da Qualidade do Ar. Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar – MonitorAr-Rio. Prefeitura do Rio de Janeiro. 2021.

# APLICAÇÃO DA METODOLOGIA IWA PARA REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DA REGIÃO LESTE DE MINAS GERAIS

Data de submissão: 14/09/2023

Data de aceite: 27/10/2023

### **Rosária Emília Lopes Pinto**

Universidade Santa Cecília (UNISANTA)  
Santos – SP  
<https://orcid.org/0009-0002-1407-4724>

### **Leonardo Vieira Rocha da Silva**

Faculdade Pitágoras  
Belo Horizonte – MG  
Leonardo Silvallinkedin

### **Fernando Mendes de Almeida**

Faculdade Pitágoras  
Belo Horizonte – MG  
<https://br.linkedin.com/in/fernando-mendes-de-almeida-48678867>

### **Jeferson Tadeu Alves de Almeida Júnior**

Pontifícia Universidade Católica de Minas  
Gerais  
Belo Horizonte – MG  
<https://orcid.org/0009-0001-1789-9599>

### **Saulo Soares Condé Júnior**

Escola de Engenharia Kennedy  
Belo Horizonte – MG  
<https://www.linkedin.com/in/saulo-soares-cond%C3%A9-junior-318251aa/>

### **Valter de Souza Lucas Júnior**

Centro Universitário Metodista Izabela  
Hendrix  
Belo Horizonte – MG  
<http://lattes.cnpq.br/1894630192103326>

**RESUMO:** O tema Perda de Água nos Sistemas de Abastecimento vem se tornando cada vez mais relevante nas últimas décadas, principalmente em função do aumento da frequência de eventos de escassez hídrica. Outro fator preponderante para a atenção aumentada sobre este tema é do ponto de vista econômico e financeiro, com as questões relacionadas aos altos custos de energia elétrica utilizada na produção e distribuição da água tratada e ao desperdício de recursos naturais, operacionais e de receita. Desta forma são fundamentais ações estruturantes e Plano de Ações de avaliação, controle e redução de perdas, consistentes, contínuos e efetivos para o alcance de resultados expressivos na redução das perdas de água. Para esta finalidade a *International Water Association (IWA)* recomenda a utilização da metodologia do balanço hídrico para o diagnóstico das perdas no sistema de distribuição de água. Por esta metodologia, as perdas se dividem em aparentes e reais. Essa distinção é importante, pois as ferramentas para a gestão e para o combate a cada uma das tipologias diferem substancialmente. Neste contexto, o presente trabalho apresenta a melhoria na performance da gestão das

perdas de água com o alcance efetivo de resultados na redução das perdas na região de abrangência da Unidade de Negócio Leste, operada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais, a partir da utilização das técnicas e metodologias propostas por renomadas instituições que tratam do tema Perda de Água na Distribuição, associadas à aplicação de tecnologias inovadoras com custo/benefício compatível com a condição econômica do Sistema. Os resultados alcançados confirmam ser possível o controle e decréscimo no índice de perdas a partir do desenvolvimento de ações integradas nos níveis estratégico e operacional da governança, baseadas nas ferramentas propostas pela IWA e respeitando-se as realidades locais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Perda de água, Sistema de Abastecimento, Balanço Hídrico, IWA, Plano de Ação.

## APPLICATION OF THE IWA METHODOLOGY FOR REDUCING WATER LOSSES IN SUPPLY SYSTEMS IN THE EAST REGION OF MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** The issue of Water Loss in Supply Systems has become increasingly relevant in recent decades, mainly due to the increased frequency of water scarcity events. Another preponderant factor for the increased attention on this topic is from the economic and financial point of view, with issues related to the high costs of electricity used in the production and distribution of treated water and the waste of natural, operational and revenue resources. In this way, consistent, continuous and effective structuring actions and Action Plans for the evaluation, control and reduction of losses are essential to achieve expressive results in the reduction of water losses. For this purpose, the International Water Association (IWA) recommends the use of the water balance methodology for the diagnosis of losses in the water distribution system. By this methodology, losses are divided into apparent and real. This distinction is important, as the tools for managing and combating each of the typologies differ substantially. In this context, the present work presents the improvement in the performance of water loss management with the effective achievement of results in the reduction of losses in the region covered by the East Business Unit, operated by the Sanitation Company of Minas Gerais, from the use of the techniques and methodologies proposed by renowned institutions that deal with the issue of Water Loss in Distribution, associated with the application of innovative technologies with a cost/benefit compatible with the economic condition of the System. The results achieved confirm that it is possible to control and decrease the loss rate based on the development of integrated actions at the strategic and operational levels of governance, based on the tools proposed by the IWA and respecting local realities.

**KEYWORDS:** Water loss, Supply System, Water Balance, IWA, Action Plan.

## INTRODUÇÃO

De acordo com o Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (SNIS) 2020, as perdas são inerentes a qualquer sistema de abastecimento de água. Esse tema tem ganhado maior relevância nas últimas décadas, principalmente, em função do aumento da frequência de eventos de escassez hídrica. Além disso, do ponto de vista econômico e financeiro, têm-se ainda as questões relacionadas ao alto custo de energia elétrica

utilizada na produção e distribuição da água tratada e ao desperdício de recursos naturais, operacionais e de receita.

Como os custos decorrentes das perdas são repassados ao consumidor final, o direito humano de acesso a água potável, reconhecido pela Organização das Nações Unidas, e o princípio da universalização do acesso aos serviços de saneamento básico, estabelecido pela Lei nº 14.026/2020, podem ser prejudicados. Nesse cenário, são fundamentais ações estruturantes e Plano de Ações de avaliação, controle e redução de perdas contínuos e efetivos.

Com objetivo de se reduzir as perdas de água, a *International Water Association* (IWA) recomenda a utilização da metodologia do balanço hídrico para o diagnóstico das perdas no sistema de distribuição de água. Nessa metodologia, as perdas se dividem em aparentes e reais. Essa distinção é importante, pois as ferramentas para a gestão e para o combate a cada uma das tipologias diferem substancialmente.

Sendo Perda de Água um dos riscos inerentes ao negócio das companhias de saneamento, em 2020, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG, estruturou um plano de ação de modo a consolidar as ações de combate às perdas para a região Leste do Estado de Minas Gerais, contemplando na época 641.482 ligações de água operadas na abrangência de 6.098.863 metros de rede de distribuição. A priorização das ações foi precedida por análise crítica dos volumes perdidos e características das localidades abrangidas, de modo a garantir a efetiva redução de perdas.

Se faz importante ressaltar que a capacitação da equipe envolvida, a busca e aplicação de tecnologias inovadoras acessíveis, aderentes às condições e necessidades, e com custo/benefício adequado às realidades locais, foram pontos de alta relevância para o alcance expressivo na redução do índice de perdas.

## OBJETIVOS DO TRABALHO

Demonstrar a melhoria na performance da gestão das perdas de água, pela COPASA MG, na região leste de Minas Gerais, a partir da utilização das técnicas e metodologias propostas por renomadas instituições que tratam do tema Perda de Água na Distribuição, associadas à aplicação de tecnologias inovadoras com custo/benefício compatível com a condição econômica do Sistema de Abastecimento.

Analisar os dados dos Sistemas de Abastecimento de Água - SAA de maior relevância, dentre os 222 operados pela COPASA MG na abrangência das cinco Gerências Regionais da Unidade de Negócio Leste – UNLE, as quais assumem para si os nomes dos Municípios onde se localizam suas sedes, sendo então as Gerências de Almenara - GRAL, Caratinga - GRCA, Diamantina - GRDT, Ipatinga - GRIP e Teófilo Otoni – GRTO.

Confirmar que o efetivo controle e decréscimo no índice de perdas é resultante do desenvolvimento de ações integradas nos níveis estratégico e operacional da governança,

baseadas nas ferramentas propostas pela IWA.

## METODOLOGIA UTILIZADA

O modelo utilizado para o diagnóstico do índice de perdas de água, foi o Balanço Hídrico seguindo os conceitos expressos nas literaturas da Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE) e *International Water Association (IWA)*, cuja ferramenta tem como objetivo identificar, através de um equacionamento matemático, os volumes de perdas reais, perdas aparentes e de água não convertida em receita (ANCR).

Na fase inicial foram calculados os Balanços Hídricos da COPASA, da UNLE e de suas cinco Gerências Regionais, cujos resultados apresentados indicaram serem as perdas reais a principal responsável pelo índice de perdas, alcançando o patamar de 70% em relação ao volume perdido total.

Como ponto de partida foram então estudados os dados históricos de volume perdido anualizado ( $m^3$ /ano), por Sistema de Abastecimento, sendo os resultados fator relevante para a decisão quanto à priorização das ações.

Desde a fase de diagnóstico e em todo o desenvolvimento do Plano de Ação de Redução de Perdas, foi adotado o indicador de perdas em litros por ligação por dia anualizado, ou seja, para cálculo do indicador, cada mês utiliza o somatório de volumes dos 12 últimos meses e a quantidade de dias acumulados no período, sendo a unidade L/lig/dia.

A figura 1 apresenta o impacto do volume perdido anualizado em percentual, da UNLE em relação à COPASA, sendo esta Unidade responsável por 11% do volume total perdido da Companhia. De forma análoga são apresentados também os impactos dos volumes perdidos das Gerências Regionais para a UNLE, onde a GRIP apresenta o maior impacto com aproximadamente 59% do volume perdido total da Unidade, e as demais Gerências varia entre 6% e 14%.

Todos os resultados apresentados são anualizados e se referem ao período janeiro a dezembro de 2019.

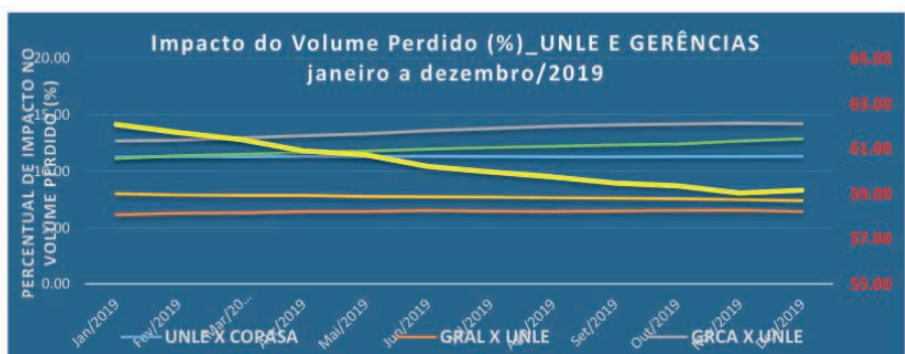


Fig 1 – Impacto Volume Perdido UNLE e Gerências (%)\_2019

Em razão da relevância apresentada pela GRIP para o indicador Perda na Distribuição da UNLE, com aproximadamente 59% do volume perdido total da Unidade, foram estudados também os comportamentos dos índices de Perdas dos Sistemas de Abastecimento desta Gerência, sendo confirmados os Sistemas de Coronel Fabriciano, Ipatinga e Timóteo como os principais potenciais para desenvolvimento do Plano de Ação a ser implantado na UNLE. Interessante ressaltar que estes três se tratam dos maiores Sistemas da GRIP e estão localizados na Região Metropolitana do Vale do Aço. Vale citar que um aspecto de interesse na Região Metropolitana do Vale do Aço foi o fato das equipes operacionais, especialmente nos SAA de Ipatinga e Timóteo já estarem realizando pesquisa de vazamentos não visíveis, apresentando, além da relevância, em relação à Gerência, tendência de queda no volume perdido, porém ainda inconsistente devido à ausência de uma gestão integrada com outras atividades necessárias ao controle e redução das perdas na distribuição.

A figura 2 apresenta o impacto, em percentual, dos volumes perdidos dos SAA de Coronel Fabriciano, Ipatinga e Timóteo em relação ao volume perdido da GRIP, sendo Ipatinga o de maior relevância, representando 40% do volume total perdido pela GRIP, seguido por Coronel Fabriciano com 21% e Timóteo com 16%.

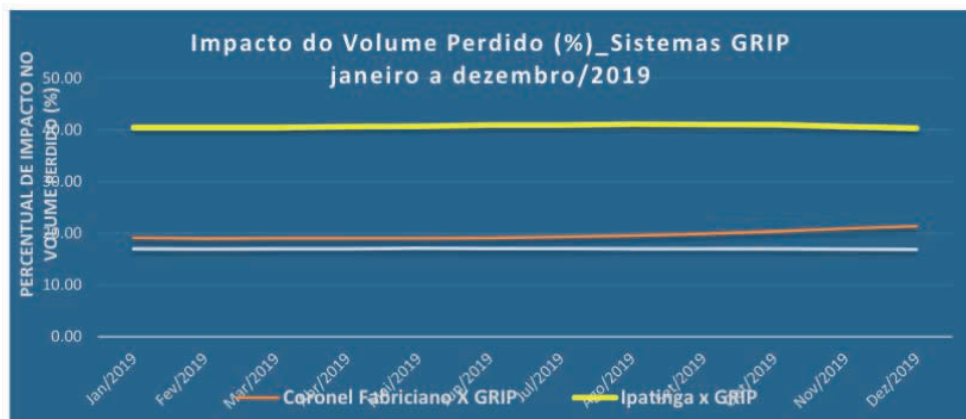


Fig 2 – Impacto Volume Perdido Sistemas GRIP (%)\_2019

Outra atividade realizada na fase de diagnóstico foi o cálculo dos Balanços Hídricos da UNLE, de suas cinco Gerências Regionais e dos SAA de Coronel Fabriciano, Ipatinga e Timóteo, cujos resultados apresentados confirmaram serem as perdas reais a principal responsável pelo índice de perdas, alcançando o patamar de 70% do volume perdido total.

Em nível estratégico, umas das ações de maior relevância desenvolvida de forma a alcançar resultados efetivos na redução das perdas de água, na COPASA, foi a implantação do Centro de Tecnologia da Medição de Água.

Desenvolvido sob a alçada da Unidade de Serviço de Hidrometria – USHM, o Centro



de Tecnologia da Medição de Água tem como premissa a Gestão de todos os processos operacionais inerentes à Macro e à Micromedição, tendo seus Técnicos o compromisso de trabalhar em sintonia com a estratégia definida pela Companhia e apoiar às Gerências Operacionais em todo o elenco de atividades ligadas ao processo Perdas, tais como, especificação e aquisição de equipamentos, de modo a garantir a aplicação dos recursos disponibilizados de forma consistente e responsável, treinamento para realização das atividades fins e a análise dos resultados alcançados.

Após conhecimento da realidade a ser enfrentada, foram definidas as ações de acordo com as realidades locais, sendo as de maior relevância a calibração dos principais macromedidores, pesquisa de vazamentos não visíveis e a renovação do parque de hidrômetros. A realização destas ações trouxe no contexto a aplicação de inovações tecnológicas de baixo custo e aderentes às realidades e necessidades locais, sendo:

1. Calibração de macromedidores: utilização do procedimento de mapeamento pitométrico com utilização de módulos de medição de pressão diferencial.

Especialmente o mapeamento pitométrico com utilização de módulo de medição de pressão diferencial é de alto interesse no desenvolvimento deste trabalho uma vez que se trata de tecnologia desenvolvida por Técnicos da COPASA em conjunto com empresa desenvolvedora de equipamentos de macromedição, se apresentando então como solução indicada à necessidade e custo benefício adequados à realidade operacional, podendo ser utilizado no laboratório ou em campo, conforme apresentado na figura 3.

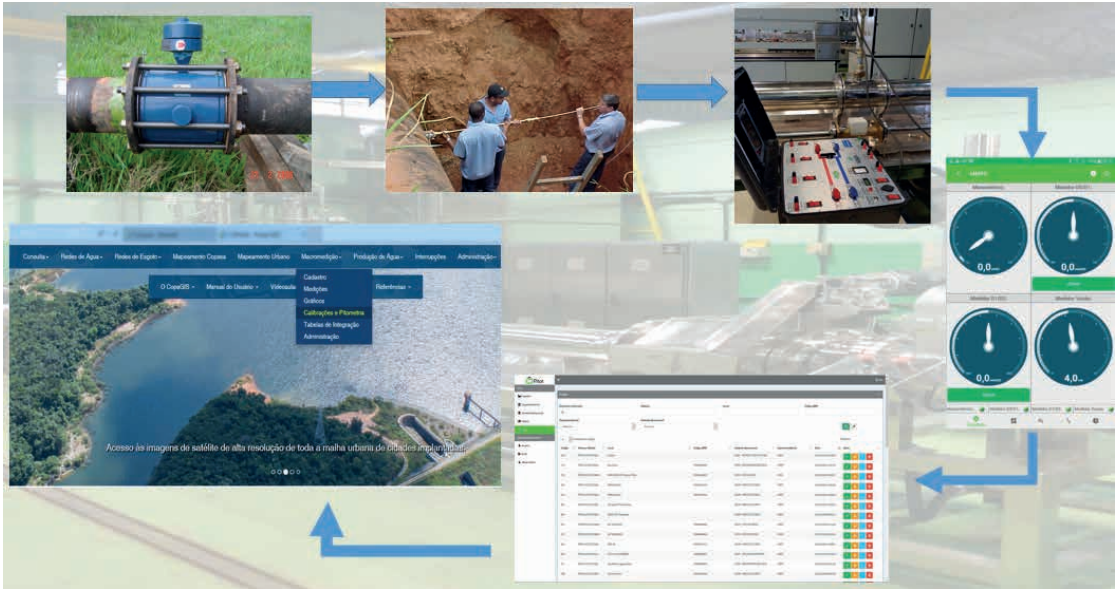


Fig 3 – Tecnologias Calibração de macromedidores

Esse sistema possui um supervisor o qual, através de algoritmos, fornece o



controle de aquisição de dados do posicionamento do tubo de Pitot, quando inserido nas tubulações para apuração das velocidades nos pontos das seções e consequentemente o levantamento das vazões. Assim, a Copasa detém de forma on-line os resultados e controles das calibrações de seus respectivos macromedidores.

2. Pesquisa de vazamentos não visíveis: desenvolvida em larga escala, tendo como modelo o Procedimento PR-051 da Norma abendi. Além da metodologia convencional, utilizando-se de haste de escuta e geofone, foi utilizada também tecnologia inovadora, de sistema automatizado, dotado de sensores móveis, coleta de dados georeferenciados e inteligência artificial.

Conforme citado anteriormente, a atividade de pesquisa de vazamentos não visíveis vinha sendo realizada no âmbito de algumas equipes operacionais da UNLE, tendo sido incorporada às atividades de rotina, não apenas com foco em redução de perdas de água, mas também nas situações de desabastecimento, principalmente das ligações localizadas em áreas mais elevadas e/ou distantes do Sistema Produtor.

Especialmente na GRIP, a pesquisa de vazamentos não visíveis já representava uma ação de controle às perdas de água nos SAA de Ipatinga e Timóteo, uma vez que era de total domínio da equipe operacional, que vinha de forma crescente desenvolvendo e disseminando a técnica entre seus colaboradores, porém ainda fora de um Plano de Ação de Gestão do índice de Perda na Distribuição.

Aliado ao contexto local, a fim de otimizar e garantir maior agilidade na realização desta atividade, foi adquirida pela Companhia uma tecnologia inovadora, de sistema automatizado, dotado de sensores móveis para coleta de sons georeferenciados e inteligência artificial capaz de analisar os sons coletados, indicando os locais com maior probabilidade de serem oriundos da presença de vazamentos não visíveis.

A figura 4 mostra a coleta georreferenciada de sons, que, após analisados por inteligência artificial, indicará tratar-se ou não de localização de possível vazamento, e acessórios utilizados para Pesquisa de vazamentos não visíveis no Sistema automatizado.



Fig 4 – Pesquisa de vazamentos não visíveis – Sistema automatizado

3. Renovação do parque de hidrômetros: a gestão realizada a partir de ferramenta digital (*Business Intelligence* - BI), desenvolvida dentro do Centro de Tecnologia da Medição de Água, especificamente para esta atividade, por empregados da Companhia, demonstrou ser um dos pilares de maior impacto na redução das perdas. A figura 5 ilustra o espaço de trabalho dos Técnicos desenvolvedores. Inclui-se aqui a capacitação de empregados envolvidos como fator determinante para alcance das metas inicialmente estabelecidas.



Fig 5 – Centro de Tecnologia da Medição de Água\_Postos de trabalho dos Técnicos responsáveis pela Micromedição e Laboratório de Hidrometria

O BI desenvolvido permite estabelecer o Planejamento Anual de Substituição de Hidrômetros a partir dos critérios adotados em função das características técnicas do medidor, do histórico de consumo do cliente e do tempo de instalação. Neste contexto, o Planejamento Anual de Substituição de Hidrômetros passou a incluir a segmentação dos hidrômetros a serem contemplados, distribuídos por regionalização (unidade de negócio,

gerência regional, localidade, setor- rota e zona de abastecimento), características do medidor (idade, tipo, modelo, classe metrológica e IDM previsto) e características do consumidor (consumo mensal, categoria e ramo de atividade), quando são elaborados os cronogramas de aplicação mensal, tornando-se assim uma ferramenta de Gestão da Micromedição.

Outro fator relevante para o sucesso do Plano de Ação de Redução de Perdas na UNLE foi a aplicação de recursos para substituição de ativos, quando diagnosticada reincidência de rompimentos de redes, e aquisição de equipamentos e novas tecnologias, para garantia das condições adequadas ao desenvolvimento das atividades necessárias ao cumprimento do Plano de Ação e alcance das metas estabelecidas. Importante ressaltar também que para a adequada capacitação da equipe envolvida no Plano de Ação de Redução de Perdas, a Companhia disponibilizou à mesma, o curso Formulação e Execução de Estratégia de Combate às Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água, que aborda a metodologia indicada pela IWA. Os conhecimentos adquiridos na capacitação foram aplicados tanto para o diagnóstico inicial quanto para o monitoramento dos resultados, no decorrer dos trabalhos.

A figura 6 apresenta a utilização das componentes do Balanço Hídrico sendo utilizadas para definição das ações em consonância com a realidade local.

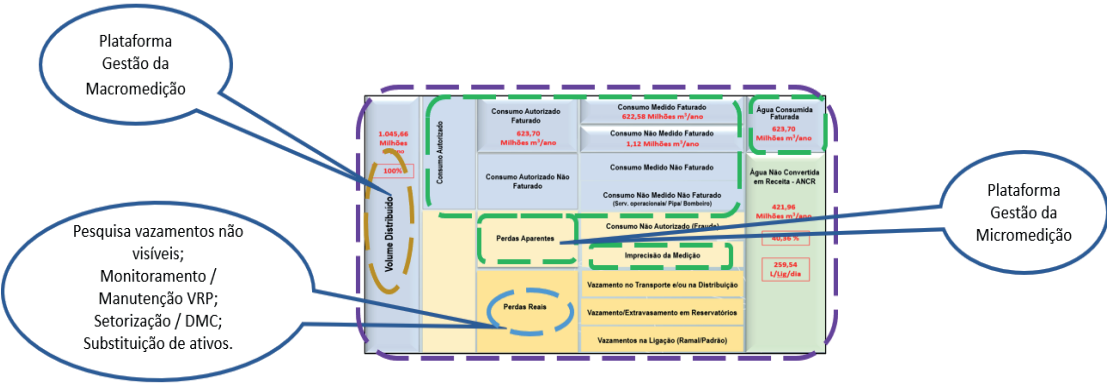


Fig 6 – Aplicação do cálculo do Balanço Hídrico na Governança do Processo Perdas de Água

Foi exercitado também o cálculo do Nível Econômico de Perdas – NEP, matéria de alta relevância na aprendizagem adquirida através da capacitação disponibilizada aos Técnicos envolvidos com o desenvolvimento do Plano de Ação de Redução de Perdas da Unidade de Negócio Leste.

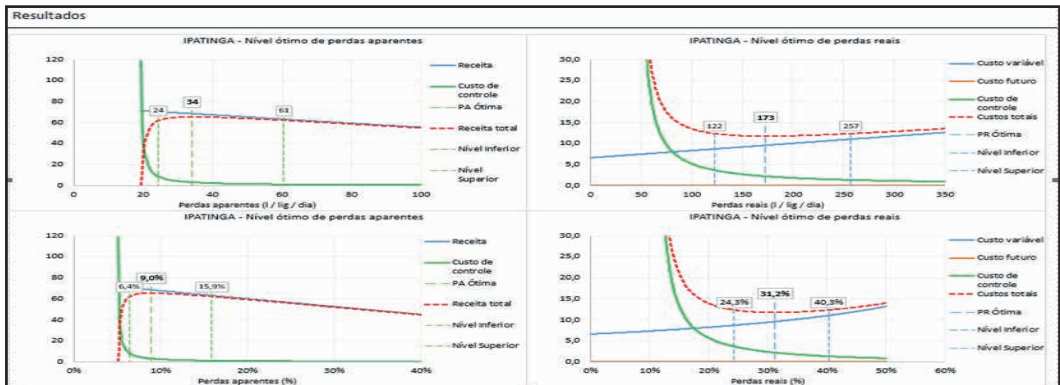


Fig 7 – Aplicação do cálculo do NEP na Governança do Processo Perdas de Água

## RESULTADOS OBTIDOS

Para o Plano de Ação de Redução de Perdas foi adotado o indicador anualizado, ou seja, para cálculo do indicador, cada mês utiliza o somatório de volumes dos 12 últimos meses e a quantidade de dias acumulados no período, sendo a unidade litros por ligação por dia (L/lig/dia).

Em janeiro de 2020, o índice de perda na distribuição na UNLE estava em 195,04 L/lig/dia chegando 173,48 L/lig/dia em setembro de 2022, período final descrito neste trabalho.

A meta estabelecida para o indicador Perda na Distribuição, a ser atingida até dezembro/2023, para a UNLE é de 171,94 L/lig/dia.

As figuras de 8 a 10 apresentam a evolução do resultado do indicador Perda na Distribuição em litros/ligação/dia, para o período de janeiro/2020 a setembro/2022.

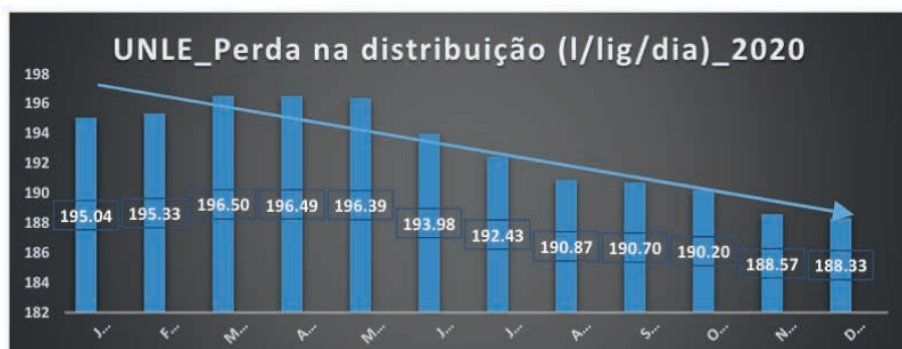


Figura 8: Resultado indicador Perda na distribuição/2020



Figura 9: Resultado indicador Perda na distribuição / 2021

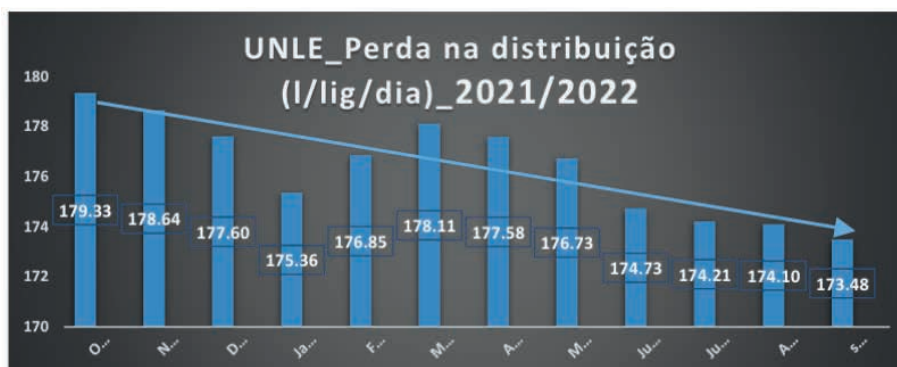


Figura 10 Resultado indicador Perda na distribuição - 2021/2022

## ANÁLISES DOS RESULTADOS

O decréscimo em 21,56 L/lig/dia, no indicador Perda na Distribuição, no período de janeiro/2020 a setembro/2022, confirmou a eficácia do Plano de Ação de Redução de Perdas desenvolvido pela COPASA na região localizada no Leste do Estado de Minas Gerais, contemplando em janeiro de 2020, 641.482 ligações de água operadas com uma população abastecida de 1.571.316 pessoas, em área de abrangência de 6.098.863 metros de rede de distribuição, com produção de 119.225.647 m³/ano e volume consumido na faixa de 74.495.131 m³/ano, sendo registrada a perda de 195,04 L/lig/dia, quando do início do Plano de Ação de Redução de Perdas de Água.

Na figura 11 é apresentado o decréscimo de 1.10 pontos percentuais do impacto do Volume Perdido Anual\_UNLE em relação ao Volume Perdido Anual\_COPASA e na sequência, a figura 12 apresenta o decréscimo de 1.84 pontos percentuais do impacto do Volume Perdido Anual\_GRIP em relação ao Volume Perdido Anual\_UNLE, para o período de janeiro/2020 a setembro/2022, ratificando o expressivo resultado na redução das perdas na Unidade de Negócio Leste, a partir do desenvolvimento das ações elencadas como prioritárias no Plano de Ação de Redução de Perdas desenvolvido naquela região.



Figura11: Decréscimo do impacto do Volume Perdido Anual\_UNLE em relação ao Volume Perdido Anual\_COPASA



Figura12: Decréscimo do impacto do Volume Perdido Anual\_GRIP em relação ao Volume Perdido Anual\_UNLE

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que é imprescindível a continuidade na realização e gestão das ações de calibração dos principais macromedidores, pesquisa de vazamentos não visíveis e renovação do parque de hidrômetros, neste Plano de Ação definidas como principais atividades, atuando de forma personalizada em cada Sistema de Abastecimento, de acordo com as componentes do Balanço Hídrico.

A pesquisa e aplicação de novas tecnologias, e, a adequada capacitação da equipe envolvida, são fatores que se mostraram primordiais no desenvolvimento das atividades com foco em redução de perdas de água na distribuição. Sendo o primeiro passo a identificação das reais necessidades, a partir de análise criteriosa da situação local, o que propicia a justa aplicação de recursos e o alcance do propósito.

## REFERÊNCIAS

1. abendi\_Estanqueidade - **Deteção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos Sob Pressão em Tubulações Enterradas Procedimento PR-051 Revisão: 4 (nov/2017)**



2. BÁGGIO, Mário Augusto. **Diagnóstico de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. Londrina. 1998.
3. BÁGGIO, Mário Augusto e MAÓSKI, Ary. **Manual de Implantação de Modelos de Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia de Processos**. Curitiba: HOperações Consultoria em Gerenciamento, 2001. 63 p
4. BÁGGIO, Mário Augusto. **Planejamento e Controle da Qualidade da Operação de sistemas de abastecimento de água: o enfoque da Operação**. Curitiba: Publicação HOperações, 1.996. 100p.
5. BÁGGIO, M. A. **Termo de referência para implantação de modelo de gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia do processo operação de sistemas**. Curitiba, 1.997. 15 p.
6. BÁGGIO, M. A. **Termo de referência para implantação de modelo de gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia do processo comercialização de serviços**. Curitiba, 1.998. 15 p.
7. BÁGGIO, M. A. **Termo de referência para implantação do MASPP**. Curitiba, 2.004. 18 p.
8. Guia da Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE) – Série Balanço Hídrico - Volumes 1 a 6 - (1ª Edição – 2015)
9. Relatório do Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (SNIS) 2020

# AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE AÇÕES SOCIOAMBIENTAIS E SANEAMENTO NA MELHORIA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO NOVO RIO PINHEIROS

*Data de submissão: 12/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Ramon Velloso de Oliveira**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de São Paulo – FESP (1993) e Tecnólogo de Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC (1988). Engenheiro Civil, Supervisor e Coordenador da Cobrape desde 1989.

### **Clenir Rosa Granado**

Assistente Social pela Faculdade Paulista de Serviço Social de São Caetano do Sul (FAPSS). Coordenadora de Contratos na Cobrape desde 2012.

**RESUMO:** Ao longo das últimas décadas, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) vem sofrendo com problemas relacionados à ocupação urbana desordenada de seu território, onde se verificam a existência de bolsões de pobreza representados por aglomerações subnormais e loteamentos clandestinos e, consequentemente, a ausência de provisão de serviços públicos adequados. Este cenário pode ser observado na sub-bacia hidrográfica do Alto Pirajuçara (PI-03), afluente da margem esquerda do Rio Pinheiros, em que a ocupação nas áreas irregulares é

densa e desorganizada, dificultando o acesso às instalações de infraestrutura de saneamento básico, principalmente, nos fundos de vale, que, por sua vez, impacta na qualidade da água não somente do Córrego Pirajuçara, como também a jusante no Rio Pinheiros, devido ao aporte inadvertido de esgotos sanitários e resíduos sólidos diretamente aos corpos d'água. Este trabalho tem como objetivo principal apresentar as intervenções socioambientais desenvolvidas na despoluição do Rio Pinheiros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliação dos impactos de ações socioambientais e saneamento na melhoria da qualidade das águas do Novo Rio Pinheiros.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Programa Novo Rio Pinheiros com a Ação Pedreira/Olaria, visava a Execução de obras para a implantação de soluções para redução dos níveis de DBO dos afluentes do Rio Pinheiros com a adequação da infraestrutura e intervenções socioambientais vinculados as metas de performance na Bacia de Esgotamento PI



A área de projeto está localizada no Município de São Paulo, beneficiando de acordo com as Economias, 35.136 habitantes.

O Programa Novo Pinheiros, instituído pelo Governo do Estado de São Paulo cuja finalidade é a despoluição do Rio Pinheiros, através do desenvolvimento das atividades como incremento de novas economias para tratamento, obras complementares no sistema de esgotamento, interligações para eliminação de lançamentos que estavam sendo efetuados nos leitos naturais de cursos d'água e em galerias de águas pluviais, ocorreram intervenções para melhorias operacionais dos sistemas de esgotos existentes, implementação de soluções alternativas, ações socioambientais e monitoramento do córrego para controle de processos e coleta de amostras para domínio da qualidade da água.

Na área delimitada do Córrego Pedreira / Olaria, em 2010, foram identificados 37.146 domicílios particulares permanentes, com 120.878 moradores, uma média de 3,25 moradores por domicílio. Esta média é semelhante às encontradas no Município (3,14), no Estado de São Paulo (3,20) e no Brasil (3,31).

Em relação à quantidade de moradores, 60,3% dos domicílios possuem até três moradores (soma dos domicílios com um, dois ou três moradores), sendo que a maior proporção é a de três moradores, com 25,8% do total. Do restante, 22,1% possuem quatro moradores, 10% cinco moradores e 7,6% seis moradores ou mais. Dessa forma, temos 40,7% dos domicílios com quatro moradores ou mais, indicando um volume alto de geração de esgoto e resíduos que podem impactar na poluição da sub-bacia do Córrego Pedreira / Olaria.

## 2 | OBJETIVO DO TRABALHO

O Programa Novo Rio Pinheiros, Ação Córrego Pedreira/Olaria tem como objetivo principal a despoluição do Rio Pinheiros por meio de intervenções socioambientais e obras de interligação de esgoto.

As áreas de atuação do Novo Rio Pinheiros contemplaram todas as comunidades que se encontravam inseridas nas regiões do entorno da Bacia PI - 36, especificamente o Córrego Pedreira/Olaria.

No desenvolvimento e implantação do Programa, a metodologia utilizada baseou-se na Governança Colaborativa, objetivando ampliar a participação da sociedade em busca de soluções socioambientais, visando a transformação e o protagonismo dos seus integrantes para que se tornassem multiplicadores de práticas ambientais sustentáveis.

Através de parcerias entre instituições e a sociedade civil, as ações planejadas pretendeu ampliar o sentimento de pertença da população em questão, para valorização do saneamento básico na coletividade e sua importância para o território.

A concepção do projeto deu-se através do Projeto Técnico Socioambiental, que objetiva desempenhar a articulação e o fortalecimento das comunidades em relação à educação socioambiental, a informação e a sensibilização em relação ao uso apropriado dos recursos hídricos e a correta utilização das redes implantadas. Considerou-se o investimento em parcerias, ampliando os diversos atores envolvidos para assegurar o andamento da execução das obras e do trabalho socioambiental, abordando temas que despertassem a reflexão a respeito da intervenção de engenharia sanitária e sua relação com o ambiente urbano e o valor da participação social nas conquistas dos objetivos socioambientais, com o intuito de resultar no melhoramento da qualidade das águas do Rio Pinheiros e consequentemente, na melhoria das condições de vida da população do território e no aprimoramento das relações de cidadania.

### 3 | METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia do trabalho foi elaborada a partir do Diagnóstico Integrado que busca trazer uma visão abrangente das famílias, domicílios e áreas afetadas pelas obras a serem realizadas na sub-bacia do Córrego Pedreira / Olaria (PI-36) abordando, centralmente, os aspectos socioeconômicos, sócio organizativos, ambientais e urbanísticos do perímetro e, com isso, instrumentalizar o Trabalho Social dentro do escopo da intervenção planejada.

Trabalhou-se com a elaboração de diagnósticos e metas a seguir detalhadas:

O Diagnóstico Socioeconômico tece um panorama das características urbanísticas do entorno dos domicílios e dos principais indicadores socioeconômicos concernentes ao Trabalho Social. A fim de um melhor entendimento dos dados, quando possível, foram utilizadas comparações com o Município de São Paulo, o Estado de São Paulo e o Brasil.

O Diagnóstico Socioeconômico do Córrego Pedreira / Olaria foi elaborado a partir dos dados do Censo Demográfico de 2010, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Utilizou-se também os dados do IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação) quando se analisou o item Educação. Nesse caso, foram utilizados os dados mais recentes divulgados pelo INEP, relativos ao ano de 2017.

Os dados do IBGE foram obtidos a partir do levantamento dos setores censitários que compõe o perímetro da área de intervenção do Córrego Pedreira / Olaria (PI-36). No total, foram selecionados os 191 setores censitários que compõe o perímetro. Foram utilizados os setores censitários para a análise por tratar-se da menor unidade territorial utilizada pelo IBGE em seus levantamentos, além de possuírem uma homogeneidade nas suas características urbanísticas e sociais.

O Diagnóstico Sócio organizativo apresenta os equipamentos públicos e privados que atuam dentro do perímetro de intervenção, retratando a dinâmica destas instituições e identificando eventuais parcerias que possam ser estabelecidas dentro do âmbito do

Trabalho Social. Também evidencia o patamar inicial da organização comunitária dos moradores, norteando as ações para fortalecê-la.

Por fim, o Diagnóstico Socioambiental traz a avaliação da área de influência de uma determinada intervenção e consiste na leitura do meio e do conjunto de relações sociais e de processos naturais, captando as dinâmicas de interação entre as dimensões culturais, sociais e naturais na configuração de uma dada realidade socioambiental. Deve ser compreendido como um instrumento que permite conhecer o patrimônio ambiental de determinada comunidade, revelando sua especificidade histórica, e refletindo a relação da sociedade com o meio ambiente.

A proposta, também, trouxe o histórico de ocupação da área de intervenção, a fim de qualificar a interação das ocupações regulares e irregulares da área sob a perspectiva de um olhar mais qualificado dos domicílios e a das famílias que vivem na condição de vulnerabilidade em relação as questões hídricas.

Destacaram, ainda, que o fato mais marcante na trajetória da ocupação foi a mudança das construções das moradias que eram de madeira para alvenaria.

Ao verificar a realidade atual da comunidade, pode-se observar que a área teve um grande crescimento, hoje as casas em sua grande maioria são de alvenaria, e existem muitas escolas e UBSs na região.

Em relação às conquistas, proferiu que com muita luta ocorreu através de apoio político, como exemplo, a instalação de containers para a colocação de lixo e, que dessa forma diminuiu a quantidade de lixo e entulho dentro do Córrego. A população demonstrou interesse na despoluição do Córrego e acreditam que o córrego até poderá ser habitável por peixes posteriormente.

## **4 | RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS**

Foram beneficiadas diretamente com as implantações da rede de esgoto na Bacia PI – 36 Pedreira/Olaria, 53.600 habitantes com 15.657 ligações de esgotos. Assim sendo, o trabalho socioambiental envolveu toda os moradores do território, sensibilizando às famílias ao uso adequado dos recursos hídricos, bem como para a manutenção e sustentabilidade das benfeitorias implementadas, consolidando, portanto, a ampliação dos benefícios gerados para a população.

As ações planejadas e realizadas foram organizadas nos seguintes eixos: Organização Social, Geração e Renda e Educação Socioambiental.

### **4.1 Mobilização e fortalecimento social:**

- Realizadas 06 apresentações e pactuação do Plano Técnico Socioambiental;
- Seis apresentações e discussão do cronograma de obras com a população;
- Realizadas 12 apresentações do Plano Técnico Socioambiental para represen-

tantes de organizações e instituições instaladas;

- Realização de 5.000 visitas técnicas periódicas nas frentes de obras para encaminhamentos e orientações às famílias;
- Formação e acompanhamento do Grupo de Governança Colaborativa;
- Fortalecimento de lideranças comunitárias visando à formação de multiplicadores ambientais;
- Encontros periódicos ao longo de 18 meses, sendo 19 reuniões com lideranças e moradores de referência para planejamento das ações e acompanhamento do trabalho executado;
- Formação de Grupo de Trabalho com parceiros pertinentes;
- Estímulo para a articulação do público beneficiário com os serviços locais, tendo em vista desencadear ações de interesse coletivo;
- Criação de mecanismos de articulação e participação para viabilizar a interlocução da população beneficiária em todas as etapas do projeto;
- Realização de 19 oficinas para capacitação de lideranças comunitárias.



## 4.2 Geração e renda:

- Promoção da inserção dos moradores em cursos de capacitação;
- Divulgação em diversos pontos de alta circulação de vagas de emprego, cursos profissionalizantes, oficinas e palestras de interesse público;
- Instalação de três coletores de garrafas pets o que permitiu a destinação correta de mais de 40.000 garrafas pets;
- Realização de oficinas: confecção de tapetes com materiais recicláveis; sabão ecológico; porta copo e incensário com CDs obsoletos e vasos irrigáveis com garrafas pets;
- Inserção de 4.533 famílias no Programa de Tarifa Social da SABESP.



### 4.3 Educação socioambiental:

- Realizados 19 encontros temáticos para formação e capacitação de moradores de referência e lideranças locais para formação do grupo da Governança Colaborativa;
- Realização de 2 capacitações de Agentes de Promoção Ambiental alocados nas Unidades Básicas de Saúde;
- Realização de reuniões e atividades com foco na valorização e preservação dos recursos hídricos;
- Realização de reuniões apontando o desenvolvimento de ações informativas e educativas voltadas para o uso e a apropriação do patrimônio físico e histórico-cultural local;
- Realização de 21 oficinas e palestras temáticas crianças/adolescentes, adultos e o Grupo Governança Colaborativa;
- Requisição e acompanhamento de seis limpezas dos córregos Pedreira/Olaria;
- Implantação de “Manequim Ecológico” ao lado de caçambas de lixo para incentivo ao armazenamento correto dos resíduos sólidos;
- Realizados 2 eventos em comemoração ao Dia das Crianças com participação de aproximadamente 300 crianças;
- Realização de campanha de troca de pirulito por garrafas pets (cuidados com o meio ambiente), sendo em dois pontos dos coletores de pets com período de seis meses;
- Realização de 06 cines ambientais relacionados a preservação do meio ambiente e cuidados com a água e descarte correto de materiais recicláveis com crianças e adolescentes;
- Realização de Contação de História e confecção de brinquedos com materiais recicláveis sobre o consumo consciente da água;
- Confecção de uma Gelateca com geladeira recuperada e campanha para doação de livros;

- Requerimento e acompanhamento de uma sanitização e desinfecção de comunidades em durante a pandemia do Covid-19;
- Realização de seis oficinas sobre medidas para a manutenção e conservação das melhorias implantadas pela SABESP;
- Realização de visita monitoradas (03 horas) com o Grupo da Governança Colaborativa no Córrego Campininha;
- Realização de 2 oficina (6 horas) com crianças para plantio de mudas de plantas em embalagens com materiais recicláveis ornamentados;
- Realização de 05 “Trocas Solidárias” através de arrecadações e doações de roupas, sapatos, brinquedos, alimentos, produtos de higiene e limpeza, utensílios domésticos, bijuterias e demais itens;
- Distribuição de 6.000 ovos as famílias identificadas em situação de alta vulnerabilidade social;
- Distribuição de 2.250 cestas básicas para famílias em situação de alta vulnerabilidade social;
- Distribuição de 2.000 kits de higiene e limpeza para famílias em situação de alta vulnerabilidade social;
- Formação de parceria e entrega de 200 kits dentários infantis (escova e pasta dental) para crianças;
- Distribuição de 600 pacotes de bolachas doces e salgadas para em situação de vulnerabilidade social residente no perímetro de atuação;
- Distribuição de 1.200 álcool em gel e 1.200 máscaras de proteção para famílias que se encontram em vulnerabilidade social;
- Realização de 12 Caminhadas Ambientais para mapeamento de pontos estratégicos das áreas, com grupo de moradores de referência e lideranças para identificar os recursos existentes, identificar problemas e levantar a necessidade de revitalizar pontos críticos;
- Campanha permanente de adesão à rede implantada e estabelecimento de uma relação comercial com a Concessionária Sabesp;
- Realização de atividades socioambientais nas escolas sobre o uso racional da água;
- Campanha para coleta de óleo usado, sendo recolhido mais de 200 litros;
- Implantação de duas hortas Comunitárias Verticais de ervas medicinais e temperos orgânicos com lideranças, moradores de referência e parceiros;
- Requerimento e revitalização de oito espaços comunitários, praças públicas e de pontos viciados de lixo e entulho do território;
- Articulação, acompanhamento e parceria de Ação de Socioambiental com a





#### 4.4 Ações informativas:

- Elaboração e distribuição de 20 materiais informativos com orientações sobre normas de segurança durante as obras;
- Distribuição 2.000 informativos sobre boas práticas para o uso adequado da rede pública de abastecimento de água e esgotamento sanitário;
- Elaboração e distribuição de 40 materiais informativos sobre temas inerentes à Educação Ambiental.
- Informações sobre o Programa Novo Rio Pinheiros;
- Informações sobre o andamento das obras;
- Informações sobre os serviços da região aos beneficiários.



#### 4.5 Plano de Comunicação:

Elaboração e implementação do Plano de Comunicação Social do Programa O Plano de Comunicação;

- Instrumento norteador do processo de comunicação relacionado aos objetivos estratégicos do Plano do Trabalho Socioambiental;

- Delinear tarefas, ações e estratégias em comunicação, visando apoiar e divulgar o Trabalho Socioambiental, compartilhando informações sobre o Programa Novo Rio Pinheiros, sob a perspectiva dos direitos e deveres de todos os envolvidos;
- Contribuir para a construção coletiva de novos hábitos e compreensão da População beneficiária acerca da infraestrutura e dos benefícios das Intervenções implantadas pela Sabesp;
- Incentivar a participação qualificada das famílias beneficiadas no processo de conquista e implantação efetiva desse direito universal e de sua sustentabilidade;
- Divulgar ações destinadas a coletar, registrar e analisar informações sobre a execução do escopo de serviços contratados, que permitiram acompanhar os seus progressos, assim como contribuir para a avaliação dos impactos, conforme as diretrizes definidas pela SABESP.

## 5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados apresentados em relação a realização dos trabalhos do Programa Novo Rio Pinheiros, Ação Córrego Pedreira/Olaria foram coletados no Sistema de Monitoramento e Avaliação e dos Relatórios Mensais, semestrais e final apresentados à SABESP.

O Projeto contou uma rede de atores de diversos espectros e formações diferentes o que propiciou uma riqueza de informações relativas às ações desenvolvidas, que dessa forma foi possível avaliar sistematicamente os eixos do trabalho.

De todas as ações realizadas, de maneira geral, ou seja, pertinentes as áreas de intervenção, observa-se em sua maioria que o objetivo foi alcançado, principalmente ao que se refere a intervenção socioambiental, onde milhares de famílias hoje podem desfrutar de uma melhor qualidade de vida, principalmente em relação a questão de saúde, uma vez que a carência do esgotamento sanitário, adequado, traz diversos problemas de saúde causados pela falta de saneamento.

As ações desenvolvidas não apenas pautaram em atender as residências diretamente afetadas, com o objetivo do programa, mas, também proporcionou a integração do território, no que se refere a valorização imobiliária da área, trazendo investimento de capital social para a região.

As dificuldades encontradas na realização das atividades puderam ser verificadas, pelo monitoramento, uma vez que ao descrever as ações em sua forma estrutural, muitos itens foram descartados por não ser pertinentes as questões específicas do Programa, mas sem nenhum prejuízo para a realização do trabalho, visto que a maioria das ações foram elaboradas para atender ao escopo do projeto.

A participação e o engajamento da população, qualificou a equipe para uma abordagem mais assertiva, no que tange ao envolvimento da população e a totalidade das



instalações das redes de esgoto previstas para o território.

Isso demonstra a importância de executar um trabalho com uma equipe multidisciplinar, cujo olhar prioriza a cidadania e o objetivo final, referente ao escopo do trabalho.

As análises das ações realizadas demonstram, através do monitoramento, que os resultados foram positivos, que as atividades direcionadas ao sentimento de pertencimento, atividades socioeducativas e socioambientais, foram as que mais tiveram a participação dos moradores, visto que o empoderamento dos atores fortaleceu os envolvidos no processo.

A instrumentalização das atividades, voltadas ao coletivo reforça a tese de que a gestão e conservação dos benefícios, provenientes dos resultados que se esperam ao término das obras, fará a diferença no cotidiano das famílias impactadas, entretanto, com a implementação da rede sanitária, facilitará a convivência harmoniosa entre obra e comunidade, além de gerar recursos para as áreas atendidas, a valorização do território é perceptível, no que se refere ao ganho social.

O objetivo maior do Sistema de Monitoramento e Avaliação foi evidenciar o Gerenciamento Social à ação com os moradores. Nesse sentido 80% das atividades contaram com a participação direta do público a que se destinava o trabalho, mesmo durante o auge da pandemia da COVID-19.

O planejamento de atividades, por um período mais longo, contemplou a correção de inconsistências, dentro do próprio monitoramento, assegurando que a Avaliação em Processo, ou seja, durante a realização das ações pudessem ser readequadas, de modo a garantir a objetividade do trabalho e os indicadores de confiabilidade, no que estava desenvolvendo.

## 6 | CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

A efetivação do trabalho socioambiental na bacia do Pedreira/Olaria é um marco importante para a contribuição da melhoria da qualidade ambiental da bacia do Rio Pinheiros, um dos mais importantes corpos hídricos da cidade de São Paulo.

O presente trabalho desenvolvido nesta bacia, beneficiou diretamente uma população de 53.600 habitantes.

O trabalho socioambiental implementado envolveu todos os moradores do território, sensibilizando-os ao uso adequado dos recursos hídricos, bem como a manutenção e sustentabilidade das benfeitorias implantadas, consolidando, portanto, a ampliação dos benefícios gerados para a população.

Desenvolveu-se ações de interesse coletivo, como a realização de oficinas para capacitação de lideranças comunitárias, estimulando a organização social a formação e o fortalecimento de estruturas representativas.

Foi possível a Inserção dos moradores em cursos de capacitação oferecidos pelo

poder público e instituições privadas, capacitação de moradores de referência e lideranças locais para desenvolvimento do grupo da Governança Colaborativa.

As atividades desenvolvidas tiveram como principal intuito, estimular a participação das famílias beneficiadas no processo de conquista e implantação efetiva das redes de água e esgoto, assim como a apropriação desse direito e de sua sustentabilidade, tendo em vista que foi um grande desafio a implantação do projeto e a busca de um resultado positivo, em que todos os envolvidos pudessem participar democraticamente e desfrutar dos benefícios esperados.

Observou-se que a maioria das ações realizadas nas áreas de intervenção teve o objetivo almejado, sobretudo ao que se refere a intervenção socioambiental, onde inúmeras famílias hoje podem desfrutar de uma melhor qualidade de vida, principalmente em relação a questão de saúde, uma vez que a carência do esgotamento sanitário, adequado, traz diversos problemas de saúde causados pela falta de saneamento básico.

Os resultados obtidos no decorrer do projeto, tanto na contribuição das ações físicas e socioambientais surpreenderam, visto que suplantaram as expectativas dos atores envolvidos no Programa. O resultado satisfatório em todos os âmbitos aponta com destaque a diminuição do lixo destacados de forma incorreta em lugares impróprios, a qualidade da água que ficou com o DBO abaixo do nível esperado, o fortalecimento e a satisfação da comunidade com os serviços implantados e com a identificação de vidas aquáticas ao longo do córrego Pedreira/Olaria.

## REFERÊNCIAS

1. BRASIL. MIN. DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. IBGE – Inst. Bras. de Geografia e Estatística. Censo Demográfico: Resultados Preliminares - 2010. Brasília, 2011.
2. Código de Ética e Conduta SABESP, 2008
3. CNJ– Conselho Nacional de Justiça: Governança do TIC 2011.
4. Freire Paulo. Pedagogia Dell Autonomia, Saberes Necessários às Práticas Educativas, 2002.
5. Governança Metropolitana Colaborativa, 2010. Organização: Universidade de British Columbia
6. CHS/UBC – Canadá Curso de Extensão: Governança Metropolitana Colaborativa Apostila do Curso - Fortaleza, 26, 27 e 28 janeiro 2010 – 010 Portaria nº 465, de 25 julho de 2018
7. IDEB – Índice de Desenvolvimento da Educação. INEP, 2017
8. Perez Alejandro Gaona. Serviço Social e Meio Ambiente
9. SMA. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings. São Paulo: Cobrape, 2010

10. SSRH. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Planos de desenvolvimento e proteção Ambiental das áreas de proteção e recuperação de mananciais da Região Metropolitana de São Paulo – PDPAs RMSP. São Paulo: Cobrape, 2018

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE SISTEMA CONVENCIONAL E NÃO DESTRUTIVO EM REDE COLETORA DE ESGOTO

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Rafaella Pinheiro Simões**

Engenheira Civil pela Universidade de Fortaleza (Unifor). Pós-Graduada em Engenharia de Saneamento Básico e Ambiental pela Universidade Paulista.

### **Larissa Farias Bulcão**

Graduanda em Engenharia civil pela Universidade de Fortaleza (Unifor).

### **Raquel Jucá de Moraes Sales**

Professora da Universidade de Fortaleza (Unifor). Mestre e doutora em recursos hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Pós-doutorado no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental na UFC. Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

### **Debora Carla Barboza de Sousa**

Professora da Universidade de Fortaleza (Unifor). Engenheira Agrícola pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mestre em Manejo e Gestão de Bacias Hidrográficas pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

### **Anderson Ruan Gomes de Almeida**

Professor da Universidade de Fortaleza (Unifor). Engenheiro Civil e Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

**RESUMO:** A abertura de valas é o método convencionalmente utilizado para execução de obras de esgotamento sanitário. Em trechos que apresentam obstáculos ou alto tráfego faz-se necessário a aplicação de um sistema inovador e tecnológico que proporcione a travessia da tubulação sob o obstáculo e minimize os danos ao pavimento: o método não destrutivo. Sendo assim, o presente trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma obra com trechos de execução da rede coletora de esgoto em Fortaleza/CE, com intuito de analisar e descrever a aplicabilidade do método não destrutivo em comparativo ao método de abertura de valas para uma região de características semelhantes. Em vista disso, foi apresentado o processo executivo e avaliado fatores de tempo e custo, dissertando as particularidades de cada método e suas vantagens e desvantagens. Os resultados elucidam como desvantagem do método convencional a grande geração de resíduos, execução lenta, insegurança aos trabalhadores e impactos sociais e econômicos, tendo como vantagem o baixo custo. No entanto, a aplicação do método não destrutivo resultou em rapidez e segurança no processo executivo, além de possibilitar a passagem da tubulação por obstáculos e minimizar a interferência no

tráfego que, por consequência, reduz o impacto aos residentes e comércio local. Ainda que apresente alto custo em comparação à metodologia tradicional, torna-se viável a aplicação do método não destrutivo pela rapidez no processo e por minimizar impactos sociais e ambientais em trechos de grandes profundidades e extensões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgotamento sanitário, Rede coletora de esgoto, Método não destrutivo.

## INTRODUÇÃO

A metodologia de valas a céu aberto é convencionalmente aplicada para a expansão do acesso à rede coletora de esgoto. Contudo, existem alternativas aplicáveis ao sistema de saneamento básico que podem apresentar inúmeras vantagens no processo executivo, como é o caso do método não destrutivo (MND).

A aplicação do MND ou do inglês *Horizontal Directional Drilling* (HDD) dispensa a abertura de valas e utiliza-se de uma perfuratriz que executa um furo piloto para encaixe de barras cilíndricas pelo alinhamento da tubulação, tornando possível que a tubulação de esgoto, ao ser acoplada em um alargador preso à coluna de perfuração, seja arrastada pelo subterrâneo de volta ao ponto inicial com auxílio de um fluido lubrificante (SILVA, 2019).

Aplica-se uma mistura de bentonita e água como transportador na etapa de perfuração do solo para evitar atrito e retorno do tubo. Esse lubrificante é ideal para estabilização do tubo, pois a bentonita possui propriedades tixotrópicas que permite solidificar quando em repouso. A instalação do tubo pode ser completa em dois estágios, porém executa-se o alargamento, caso necessário, devido ao diâmetro da tubulação desejado ou as condições do solo, sendo realizado aumentos gradativos até que se atinja ao valor almejado (ABRATT, 2006).

Por fim, a verificação do percurso e profundidade atingida pelo furo é feita por uma sonda instalada na cabeça do puxo, local onde se conecta a tubulação, na qual envia sinais para um navegador localizado na superfície do solo.

O método convencional, em contrapartida, requer a abertura de valas para assentamento da tubulação, compactação do solo, reaterro e reconstrução da pavimentação em todo o percurso da rede coletora. A etapa de remoção do pavimento e escavação inicia a obra e é responsável pelos maiores transtornos devido à quantidade de resíduos de solo gerado no processo de abertura de vala. Além disso, faz-se necessário a utilização de máquinas de corte ou retroescavadeiras para remoção das camadas de solo acima da profundidade solicitada em projeto e da largura da vala definida pela NBR 9814 (1987) e analisada de acordo com as circunstâncias locais de trabalho.

A fase de escoramento das paredes laterais de solos sujeitos ao desmoronamento é recomendada pelo MEOS (2004) e dá-se pelo manuseio de pranchas de madeiras ou perfis metálicos para a segurança dos trabalhadores, sendo uma etapa também dispensável no MND.

A sondagem realizada previamente pode acusar a existência de água durante o

traçado da rede coletora, indispensável para estabelecer a necessidade de realizar o rebaixamento do lençol freático com ponteiros cravados no solo ou uso de motobomba para drenagem no interior da vala e remanejo do fluxo para as galerias de águas pluviais (NBR 12266, 1992).

O assentamento da tubulação de PVC rígido ocorre em sequência das etapas acima descritas, sendo realizado de jusante para montante com a ponta bolsa voltada para montante, de acordo com a NBR 9814 (1987).

O material para reaterro não deve conter pedras ou resíduos para não danificar a tubulação instalada, sendo necessário substituir por novo material vindo de jazidas próximas caso não se apresente em condições concordantes com a norma. A compactação deve ser feita em camadas de 20 cm disposta em umidade ótima e faz-se obrigatório o uso do compactador mecânico, exceto nos 30 cm acima da geratriz superior da tubulação, no qual é necessário compactação manual para reduzir danos no tubo (MEOS, 2004).

Consequentemente, o uso MND apresenta vantagens em relação ao sistema convencional por diminuir o tempo de execução da obra, também evita retrabalhos em períodos chuvosos em que a água escoar e carrega sedimentos de volta para dentro da vala e na reconstrução da pavimentação. Além disso, reduz custos no transporte do material classificado como inservível para reaterro até os locais adequados de despejo e custos com quantitativo de mão de obra (CORAL e STEINER, 2015).

No entanto, ao ser empregue novos procedimentos, os custos com os equipamentos aprimorados se tornam uma barreira para sua aplicação. Também, é indispensável mão de obra especializada, sobretudo para operação da máquina perfuratriz e atuação nos encaixes das barras cilíndricas, em contrapartida do método de valas a céu aberto que recorre a maior quantidade de funcionários, porém não é necessário amplo domínio na área de atuação (SANZ, 2017).

Segundo Coral e Steiner (2015), a engenharia aposta na busca de tecnologias, utilizando métodos inovadores que cobijam resultados em serviços de qualidade executados com rapidez. Nessa perspectiva, é coerente analisar o desempenho da utilização do método não destrutivo (MND) para obras públicas de implantação de redes coletoras de esgoto em detrimento do método tradicionalmente utilizado, visto que em grande parte dos casos o maior empecilho dessa metodologia é a própria execução devido à profundidade do assentamento, a largura da pista para acesso da retroescavadeira e locais para dispor o material retirado da vala.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GERAIS**

O presente artigo objetiva apresentar as características e limitações entre o método

convencional e o MND, fundamentado na análise de critérios de execução, custo e socioambiental desenvolvidas a partir do estudo de caso implementado em uma obra na cidade de Fortaleza, Ceará.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Apresentar e dissertar sobre as particularidades de execução das metodologias aplicadas a instalação da rede de esgotamento sanitário com ênfase no método não destrutivo;

Avaliar, valendo-se de parâmetros de execução, tempo de obra e custos, a comparação entre o método não destrutivo e o convencional para instalação da rede coletora de esgoto em trechos análogos de um estudo de caso;

Expor vantagens e desvantagens da aplicação do MND em contrapartida da tecnologia convencionalmente utilizada para instalações dos ramais coletores.

## **METODOLOGIA**

A elaboração dos resultados foi efetuada a partir do levantamento realizado no bairro Maraponga, na cidade de Fortaleza, Ceará para implantação da rede coletora de esgoto sanitário na sub-bacia CE-5, inserida na Grande Bacia Cocó.

Nessa região, foi executado o método não destrutivo e convencional para trechos distintos da poligonal da obra devido à impossibilidade de avançar pela metodologia de valas a céu aberto no trecho de ligação do PV022, posicionado na Rua Emílio Conde, ao PV023 na Rua Áustria que necessitava passar por debaixo da linha do Metrô de Fortaleza, conforme ilustrado na figura 1.

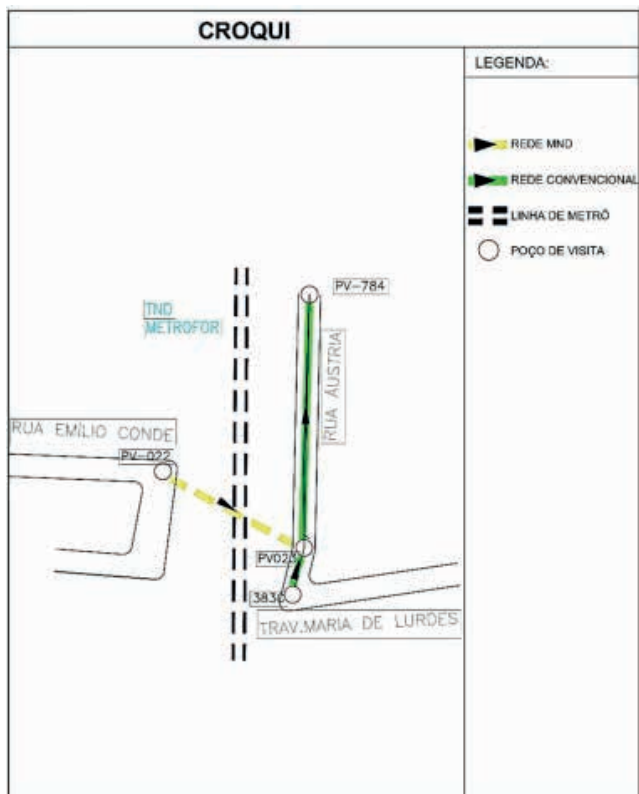


Figura 1 – Croqui de representação da área de estudo da sub-bacia CE-5.

O fluxo reduzido de trens no final de semana foi essencial para a execução do trecho com segurança. A escavação dos poços de serviço iniciou-se no sábado e as atividades de introdução das hastes com o fluído lubrificante (água e bentonita) e implantação da tubulação PEAD previamente soldada e dos alargadores de maior e menor diâmetro perduraram por mais alguns dias. A finalização ocorreu após a avaliação e garantia das cotas e profundidades demandadas em projeto, na qual foi executado os poços de visita com a inserção da tubulação PEAD, totalizando os 49 metros de extensão do trecho.

A sondagem em campo localizou os poços de visita e direcionou a rede coletora para que pudesse ser enviado junto ao levantamento topográfico para a empresa responsável pelo projeto de plano de furo e pela criação do cronograma de execução. Em resultado disso, é realizado o remanejamento das equipes, locação da obra e preparação dos poços de serviço.

O *software* utilizado para definições da máquina perfuratriz e haste apropriada para execução dos furos foi o Vermeer ATLAS Bore Planner®, seguindo as conclusões da sondagem realizada na localidade, na qual não foram encontradas interferências no percurso. A empresa terceirizada contratada atestou a necessidade de 20 hastes de 92



mm de diâmetro, 4,50 m de comprimento e 65 m de flexão, possuindo ângulo de entrada de  $-9.6\%$ .

Inicia-se a obra pela execução da locação e sinalização das áreas de corte do asfalto, contando com tendas de apoio aos operários com suprimentos necessários para acompanhamento do projeto. As dimensões da máquina perfuratriz mostrou-se empecilho para exercer as atividades, sendo necessário autorização dos proprietários de dois terrenos particulares para alojamento do maquinário e escavação de um poço de apoio.

A escavação mecânica dos poços de apoio e serviço foi realizada após o escoramento do tipo blindado devido à grande quantidade de água no lençol freático, sendo necessário a realização do rebaixamento. Posteriormente, após a instalação da perfuratriz, dá-se continuidade com a cravação das hastes de ferro no solo sendo acompanhada pelo navegador para que não ocorra desvios durante todo o percurso da tubulação definidos em projeto, processo demonstrado nas figuras 2 e 3.



Figura 2 - Instalação da máquina perfuratriz



Figura 3 – Retirada das barras de ferro após completar o trajeto

Determina-se a soldagem dos encontros dos tubos PEAD para alcançar a extensão necessária de assentamento, visto que o comprimento do tubo é originalmente de 6 m, trabalho este que foi realizado concomitantemente com a introdução do alargador no trecho. Por fim, é injetado o tubo nos poços de visita de DN 1200 mm à montante e jusante e feito o descarte da tubulação de sobra.

Utilizou-se da metodologia convencional de valas a céu aberto para execução dos 62,55 metros restantes de tubulação a ser assentada na Rua Áustria entre o PV022 e o PV784 em razão da facilidade de interrupção de tráfego no local por se tratar de uma rua pouco movimentada. O assentamento, por essa metodologia, da mesma rede coletora de DN 350 mm alongou o período de tempo e o quantitativo de operários na realização da escavação e assentamento.

## RESULTADOS

Celestino (2016) afirma que, diretos ou indiretos, todos os fatores de custo devem ser levados em consideração na execução da obra. Estão inclusos nos custos indiretos

despesas administrativas e tributárias, mão de obra técnica, canteiro de obras, segurança do trabalho e demais atividades que acrescentam valor ao custo final da obra sem está diretamente relacionado à execução do serviço.

Em virtude disso, os custos indiretos não irão constar como indicadores de comparativos entre as metodologias expressas neste trabalho, pois mensurá-las torna-se complexo visto que abrange diversas atividades secundárias, porém necessárias dentro do canteiro (SANZ, 2017).

Além disso, para análise das despesas com materiais, mão de obra, equipamentos e sub contratação, elementos inclusos nos custos diretos, vale ressaltar a importância do estudo ser apresentado com características semelhantes de localização, tipo de solo, profundidade de assentamento, diâmetro da tubulação e entre outros parâmetros que interferem no custo.

O comparativo dos custos de cada obra foi realizado baseado nas tabelas da SEINFRA 24.1 e SINAPI 09/2016 registradas no boletim de medição, atentando à diferença no material da tubulação, sendo utilizado PVC OCRE DN 350 mm para metodologia convencional de valas a céu aberto e PEAD DN 350 mm no MND. Também, foram considerados BDI de 30% e descontos de 15% do contrato, além das cotações de mercado.

É possível notar semelhanças nos itens de composição dos orçamentos, sendo necessários para ambos escavação, transporte de material, escoramento, aterro com compactação, rebaixamento de lençol freático, entre outros. Nesses casos, o que difere é o quantitativo dos itens, atingindo maiores valores para o método convencional devido à execução percorrer toda a extensão da vala.

A partir de uma observação individual, foi desenvolvida de forma sucinta a tabela 1, pondo em pauta apenas a metragem da rede coletora, o tempo, em horas, gasto para execução da atividade e o valor total a ser pago. Considera-se boas condições de clima e nenhum problema apresentado durante a execução dos ramais.

| Método construtivo | Rede coletora (m) | Tempo (horas) | Valor total (R\$) |
|--------------------|-------------------|---------------|-------------------|
| Abertura de vala   | 62,55             | 120           | R\$ 46.466,58     |
| Não destrutivo     | 49,00             | 36            | R\$ 112.215,43    |

Tabela 1 - Análise geral de custo para cada método construtivo.

O tempo foi calculado com base na jornada de trabalho diária de 8h/dia, sendo preciso 4 horas a mais no método não destrutivo para execução do serviço em 4 dias, assim como sugerido no cronograma de atividades da obra. A investigação se prolongou para compreensão dos valores obtidos por metro executado, conforme apresentado na tabela 2.

| <b>Método construtivo</b> | <b>Rede coletora (m)</b> | <b>Valor total (R\$)</b> |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Abertura de vala          | 1,00                     | R\$ 742,87               |
| Não destrutivo            | 1,00                     | R\$ 2.290,11             |

Tabela 2 - Análise por metro de rede executado.

Dessa forma, fica nítido o elevado custo do método não destrutivo para execução de 1,00 metro de rede em comparação ao custo da abertura de vala para a mesma extensão. No entanto, o MND destaca-se no parâmetro tempo, sendo possível realizar quase três obras no mesmo intervalo em que se dá por concluída apenas uma obra executada no método convencional, demonstrado na tabela 3, que faz uso da mesma análise anterior levando em consideração a execução de 100,00 metros de rede coletora.

| <b>Método construtivo</b> | <b>Rede coletora (m)</b> | <b>Tempo (dias)</b> | <b>Valor total (R\$)</b> |
|---------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Abertura de vala          | 100,00                   | 24                  | R\$ 74.287,10            |
| Não destrutivo            | 100,00                   | 9                   | R\$ 229.011,08           |

Tabela 3 - Análise em 100m de rede coletora de esgoto pelos dois métodos.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise individual dos itens orçamentários das duas metodologias empregues para a execução dos ramais coletores de esgoto permite apurar os elementos de maior impacto no custo final, apresentando particularidades em cada caso que justificam o valor do item.

A profundidade das valas para assentamento da tubulação faz parte dos requisitos principais a serem seguidos de projeto que, por vezes, atinge altos valores, ocasionando a necessidade de ser realizado grandes cortes no terreno na metodologia convencional. A consequência disso são os notórios custos elevados com transporte de material e aterro com compactação mecânica, sobretudo, em destaque, o escoramento contínuo da vala durante toda a extensão do trecho.

A figura 4 e 5 apontam as atividades de maior relevância referentes ao custo da execução da rede coletora pelo método de valas a céu aberto e MND, respectivamente, a partir dos itens dispostos no boletim de medição das obras.



Figura 4 – Itens mais relevantes referentes a execução de rede coletora por método convencional

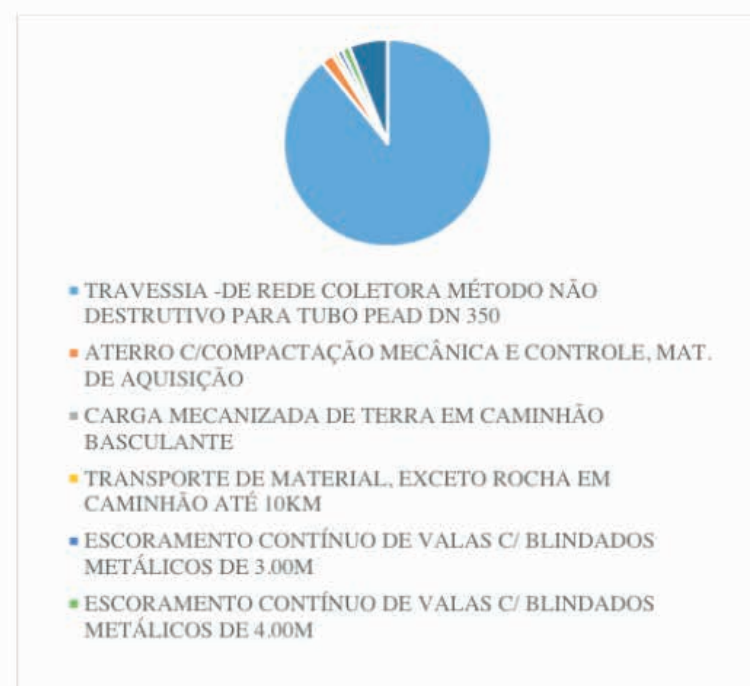


Figura 5 – Itens mais relevantes referentes a execução de rede coletora por método não destrutivo

Vale ressaltar que o item de travessia da rede coletora pelo método não destrutivo inclui gastos com equipamentos, transporte, mão de obra especializada, projeto do plano de furo com utilização do *software* adequado, além da máquina perfuratriz utilizada especificamente para esse método de execução ser de alto porte.

Além disso, o segundo maior valor de custo, demonstrado na Figura 5, não é sempre necessário em todos os projetos, visto que o rebaixamento de lençol freático nos poços de visita vai ser executado apenas quando o local apresentar grande quantidade de água ou alto nível do lençol.

## CONCLUSÃO

O acompanhamento da implementação da metodologia de valas a céu aberto e do MND em trechos análogos permitiu, através de análises e comparações, concluir que a aplicação do MND possui inúmeras vantagens em diversas situações, sendo a principal delas a redução do tempo de execução de obra.

Tratando-se de obras públicas, acelerar a execução de processos reduz impactos sociais e ao meio ambiente que podem interferir na economia local daquela região. A aplicação do método não destrutivo permite executar grandes extensões gerando o mínimo de resíduos e preservando a pavimentação, além de possibilitar atravessar obstáculos, como a linha metroviária, sem intervenções construtivas. Comparando os métodos, o MND apresenta velocidade de execução 30% superior à metodologia convencional, impactando no menor custo diário de mão de obra, além da satisfação da população com a rapidez do serviço.

Em outras perspectivas, o notório alto custo de execução do MND, visto que sua maior porcentagem de custo está presente na travessia da tubulação realizada pela perfuratriz, deve-se ao fato de ser uma metodologia nova e pouco empregue, o que faz com que poucas empresas se interessem em se especializar nesse ramo. É provável que na medida em que este processo seja aplicado, o custo de execução torne-se mais acessível devido a expansão do mercado e a livre concorrência.

Além disso, o escoramento de valas é a segunda atividade que mais agrega custos ao MND, representando 2% do total e pode ser retirada do orçamento em alguns casos a depender dos resultados da sondagem. Em contrapartida, essa mesma atividade engloba 39% do custo total do método de valas a céu aberto e seu uso torna-se obrigatório em toda a metragem da rede.

Vale ressaltar que a implementação da metodologia convencional faz uso de diversos equipamentos, como retroescavadeiras, caminhões e rolos compactadores que trabalham em função da produtividade do equipamento principal da atividade, resultando em um maior custo horário improdutivo, isto é, maior número de equipamentos parados dentro do canteiro. Enquanto no MND o serviço é executado por apenas um equipamento,

reduzindo custos improdutivos.

Em virtude da execução, é certo que em cenários específicos há a impossibilidade da aplicação da metodologia convencional, como é o caso da travessia de obstáculos sem intervenções construtivas. No entanto, há também circunstâncias que dificultam ao extremo a execução dessa metodologia, como quando é solicitado o assentamento da tubulação em grandes profundidades disposto em rua de largura pequena, impossibilitando o acesso da retroescavadeira e sendo preferível realizar a escavação manual do trecho, o que faz com que a execução se prolongue por um tempo muito maior, além da sensação de insegurança, já que os funcionários ficam expostos a desabamentos do solo e quedas.

Por fim, diante de todas as perspectivas citadas, a abertura de valas é viável em trechos de pequenas extensões, profundidades rasas, tubulações de pequenos diâmetros e localizadas em regiões de pouco tráfego de pedestres e veículos. Entretanto, para obras de grandes trechos e profundidades ou trechos que precisem ultrapassar obstáculos, localizadas em avenidas de grande tráfego, comércio intenso, diâmetros maiores e pavimentação em bom estado, recomenda-se a execução pelo método não destrutivo.

## REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12266: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. Rio de Janeiro, 1992.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9814: Execução de rede coletora de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA – ABRATT. Diretrizes dos métodos não destrutivos. São Paulo, 2006.
4. CELESTINO, R.N. Método Não Destrutivo (MND) Como Alternativa de Execução em Sistemas de Esgotamento Sanitário – Estudo de caso envolvendo análise em campo e de projeto. Santa Catarina, 2016. Monografia (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina.
5. CORAL, D. D. B. e STEINER, L. R. Comparativo entre Perfuração Direcional Horizontal (MND) x Método Destrutivo (Vala), para implantação de Rede De Gás Natural Urbana. Estudo de Caso. Santa Catarina, 2015. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC – Universidade de Extremo Sul Catarinense.
6. MANUAL DE ENCARGOS DE OBRAS DE SANEAMENTO – MEOS. Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. Ceará, 2004.
7. SANZ, M.A. COMPARATIVO DE CUSTOS DIRETOS ENTRE PERFURAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL E ABERTURA DE VALA PARA INSTALAÇÃO DE DUTOS. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.
8. SILVA, S.R.C. MÉTODO NÃO DESTRUTIVO EM ALTERNATIVA AO MÉTODO CONVENCIONAL PARA A AEXECUÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTOS. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2019.



# AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE NA ETE VENTUROSA (PE) PARA O REÚSO AGRÍCOLA

*Data de submissão: 21/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Marcella Vianna Cabral Paiva**

Funcionária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Professora da Autarquia Educacional do Belo Jardim (AEB). Belo Jardim – Pernambuco. <https://lattes.cnpq.br/2866768055235663>

### **Silvanete Severino da Silva**

Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Unidade Acadêmica do Belo Jardim (UABJ). Belo Jardim – Pernambuco. <http://lattes.cnpq.br/0697832792587182>

### **Luára dos Santos Soares**

Estagiária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Aluna do curso de Engenharia Hídrica da Unidade Acadêmica do Belo Jardim (UABJ/UFRPE). <http://lattes.cnpq.br/3028085984539774>

### **Izabelly Feitoza Nascimento**

Funcionária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Arcoverde – Pernambuco. <http://lattes.cnpq.br/5486408122349716>

### **Silvia Mariana da Silva Barbosa**

Funcionária da Sanvale Soluções Ambientais LTDA – Petrolina – Pernambuco. <http://lattes.cnpq.br/6897701912860507>

### **Tatiana de Oliveira Calado**

Professora do Instituto Federal de Pernambuco – IFPE – Campus Garanhuns. <http://lattes.cnpq.br/9446644042468735>

### **Ednara Fernandes Silva**

Estagiária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Aluna do curso de ciências biológicas da Autarquia de Ensino Superior de Arcoverde (AES).

**RESUMO:** O tratamento de esgoto é essencial para diminuir os impactos ambientais negativos do lançamento nos corpos receptores e o reúso de efluentes tratados tem se tornado uma fonte alternativa de água, principalmente na agricultura e indústria, proporcionando diversos benefícios ambientais, sociais e econômicos. A Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), de 28 de novembro de 2005, estabelece diretrizes para a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional, porém, não discorre sobre aspectos relativos à saúde pública. Já a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 121, de 16 de



dezembro de 2010, estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. O presente trabalho teve o objetivo de analisar e comparar os parâmetros físicos, químicos e biológicos do esgoto tratado na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Venturosa (PE) que é composta tratamento preliminar com gradeamento e caixa de areia seguido de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), filtro biológico percolador, decantador secundário e desinfecção da adição de cloro, com base na Resolução do CONAMA nº 430 de 2011 e comparando os parâmetros e resultados com as resolução do estado de Minas gerais, Paraná e Bahia que dispõem sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água, para fins da reuso agrícolas como a irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** reúso, tratamento de esgoto, irrigação

## EVALUATION AND COMPARISON OF TREATMENT EFFICIENCY AT THE VENTUROSA WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR AGRICULTURAL REUSE

**ABSTRACT:** Wastewater treatment is essential to reduce the negative environmental impacts of discharging into receiving bodies of water, and the reuse of treated effluents has become an alternative source of water, especially in agriculture and industry, providing various environmental, social, and economic benefits. Resolution No. 54 of the National Water Resources Council (CNRH), dated November 28, 2005, establishes guidelines for the practice of non-potable direct water reuse throughout the national territory; however, it does not address aspects related to public health. On the other hand, Resolution No. 121 of the National Water Resources Council (CNRH), dated December 16, 2010, establishes guidelines and criteria for the practice of non-potable direct water reuse in agriculture and forestry. This study aimed to analyze and compare the physical, chemical, and biological parameters of treated sewage at the Venturosa Wastewater Treatment Plant (PE). The plant includes preliminary treatment with screening and sand removal, followed by an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB), biological trickling filter, secondary clarifier, and disinfection through chlorine addition. The analysis is based on Resolution CONAMA No. 430 of 2011 and compares the parameters and results with the regulations of the states of Minas Gerais, Paraná, and Bahia, which establish conditions, parameters, standards, and guidelines for the management of effluent discharge into water bodies for agricultural reuse, such as irrigation.

**KEYWORDS:** reuse, sewage treatment, irrigation

## INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto é essencial para diminuir os impactos ambientais negativos do lançamento nos corpos receptores, sabendo que a água tem um potencial de autodepuração, contudo, quando poluentes são lançados em excesso causam um desequilíbrio entre a produção e o consumo de oxigênio, causando modificações nos ecossistemas aquáticos e gerando problemas ambientais e de saúde. Com o aumento da população e consequentemente aumento quantidade de efluentes lançados, demanda também a ampliação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), como também

melhorias na operação e nas tecnologias utilizadas nas ETE's já instaladas (VON SPERLING 1996).

O processo de tratamento de esgoto consiste em várias etapas, que visam remover os contaminantes e impurezas da água. Após o tratamento, pode ser utilizada para diversos fins, incluindo a irrigação agrícola. No entanto, é importante destacar que o reúso esgoto na irrigação deve seguir normas e regulamentações estabelecidas pelos órgãos competentes, a fim de garantir que a qualidade da água seja adequada e que não haja riscos para a saúde pública (MANCUSO; SANTOS, 2003; MOURA et al., 2019).

O efluente tratado tem se tornado uma fonte alternativa de água, principalmente devido ao seu potencial para utilização na agricultura. Essa prática proporciona diversos benefícios ambientais, sociais e econômicos, mitigando os problemas relacionados com a poluição dos recursos hídricos e sua escassez, além de diminuir a descarga e efluentes nos corpos hídricos (FIGUEIREDO, 2020). Atualmente vem se adotando diversas formas para a aplicação do reúso da água de esgoto, principalmente utilizada na agricultura, especificamente na irrigação, afim de reduzir a escassez hídrica na região Nordeste, que apresenta baixos índices pluviométricos ou pouca disponibilidade hídrica.

Além disso, os esgotos domésticos tratados pelas companhias de saneamento, normalmente possuem concentração de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes, que tem baixa biodegradabilidade e são mais difíceis de apresentar resultados satisfatórios de remoção no tratamento por meio de processos tradicionais. O aumento da concentração desses nutrientes nos ecossistemas aquáticos têm como consequência a transformação de um ambiente oligotrófico em eutrófico. Assim, os nutrientes ainda presentes no efluente tratado podem ser utilizados para a fertilização agrícola (ESTEVES, 2011).

Para analisar os parâmetros de qualidades da água de reúso, a legislação federal ainda não dispõe de normatização técnica específica estabelecendo parâmetros e limites para reúso agrícola de esgoto doméstico. A Resolução N° 503 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de 14 de dezembro de 2021 define apenas critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

Dentro do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, na Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia (CTCT), o Grupo de Trabalho - GT-Reúso, formulou a primeira legislação específica sobre o tema, que é a Resolução N° 54, de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional. A resolução abrange as seguintes modalidades de reúso: reúso para fins urbanos, reúso para fins agrícolas, reúso para fins ambientais, reúso para fins industriais e reúso na aquicultura (BRASIL, 2005).

No artigo quarto desta Resolução estabelece a responsabilidade dos órgãos integrantes Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), de avaliar os efeitos sobre os corpos hídricos decorrentes da prática do reúso, devendo

estabelecer instrumentos regulatórios e de incentivo para as diversas modalidades de reúso. E no caso de não haver comitê de bacias, a resolução apresenta que caberá ao respectivo órgão gestor de recursos hídricos, em conformidade com o previsto na legislação pertinente estabelecer mecanismos de cobrança e aplicação dos recursos da cobrança, a criação de incentivos para a prática de reúso. Em nenhum de seus doze artigos a resolução fala sobre os aspectos relativos à saúde pública, como os cuidados com os projetos, planos e programas de reúso de água que deverão conter, obrigatoriamente, estudos, alternativas e medidas voltadas para avaliar e minimizar os riscos à saúde pública (BRASIL, 2005).

A Resolução nº 121 do CNRH de 16 de dezembro de 2010 estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. O artigo Art. 3º estabelece que a caracterização e o monitoramento periódico da água de reúso serão realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente, recomendando-se observar: I – a natureza da água de reúso; II – a tipologia do processo de tratamento III – o porte das instalações e vazão tratada; IV – a variabilidade dos insumos; V – as variações nos fluxos envolvidos; e VI – o tipo de cultura (BRASIL, 2010). E estabelece que a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 430 de 13 de maio de 2011, é a base de referenciamento dos parâmetros da qualidade. Contudo, esta resolução dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores só contempla e estabelece limites para parâmetros como: demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, pH, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas e material flutuantes e algumas substâncias inorgânicas, sendo necessário um maior nível de detalhamento e especificidade para reúso (BRASIL, 2011).

Em outubro de 2022, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) iniciou uma consulta pública nº 3/2022, que trata da proposta de resolução do que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional, além de recomendar parâmetros mínimos de qualidade para cada modalidade de reúso da água, em atendimento às diretrizes e metas do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040.

O Estado de Pernambuco ainda não elaborou normatização sobre reúso de efluentes tratados para nenhuma das modalidades, diferentemente de outros Estados como, Bahia, Minas Geras e Paraná que já estabeleceram padrões para esta atividade.

Diante do contexto apresentado, este trabalho pretende analisar e comparar os parâmetros físicos, químicos e biológicos do reúso de efluente tratado da ETE localizada na cidade de Venturosa em Pernambuco com base na resolução do CONAMA nº 430 de 2011, fazendo uma comparação com as legislações vigente do estado da Bahia, Minas Gerais e Paraná onde se tem uma legislação que se mais aproxima dos parâmetros analisado pela ETE Venturosa.

## METODOLOGIA

O presente estudo tem como finalidade avaliar a ETE da cidade de Venturosa para fins de reuso do efluente tratado na irrigação. A ETE Venturosa está localizada no agreste pernambucano, na microrregião do Vale do Ipanema a 246 km do Recife/PE, com as coordenadas geográficas, latitude: 8°57'12"S e longitude: 36°89'30"W. As principais atividades econômicas são fabricação de leite e derivados, agricultura e pecuária, contudo, o desenvolvimento econômico do município é limitado pela escassez hídrica.

Devido ao relevo acidentado, o clima na região apresenta-se variado; certas microrregiões, devido à altitude, apresentam temperaturas menores e índices pluviométricos mais generosos, localmente conhecidas como Brejos de Altitude; em outras, apresenta um clima mais quente e árido, porém com um tempo de estiagem menor que a do sertão, devido a sua proximidade do litoral. Os índices pluviométricos podem variar em cada microrregião. Mostra-se uma área de transição, apresentando um clima tropical semi-úmido, com seu período de chuvas mais concentrado entre os meses de abril a julho.

De acordo com o censo IBGE 2022, a população da cidade de Venturosa é de 17.251 pessoas e densidade demográfica 51,33 habitante por quilômetro quadrado.

O município situa-se nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema. Seus principais tributários são os rios Ipanema, dos Bois e Cordeiro, e os riachos do Meio, Carrapateira, da Luiza, das Cabeceiras, Chã de Souza, da Pedra Fixa e Simão. Todos os cursos d'água são intermitentes.

Os sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município são operados pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). O projeto do SES Venturosa foi elaborado em 2013 levando em consideração dados populacionais do Censo IBGE 2021 e prevendo que o sistema atenda a população do município estimada para o ano de 2031. Na concepção do projeto do sistema de esgotamento sanitário, atendeu a área urbana da cidade de Venturosa, que foi dividida hidro graficamente em cinco bacias, de acordo com sua conformação topográfica e o traçado da rede. O SES projetado é composto por rede de coleta mista, ou seja, rede coletora convencional e condominial, com tratamento dos efluentes a nível terciário.

Os esgoto coletados em função das vazões a serem recalçadas, são direcionados para duas as estações elevatórias (EEE Venturosa 01 e 02), equipadas com bombas reautoescurvantes e dotadas de grades de barras, caixa de areia e poços de sucção. Assim, o esgoto bruto pe bombeado até a ETE Venturosa.

A Estação de Tratamento de Esgoto foi projetada para atender a uma vazão média de final de plano a ser tratada na ETE é de 2.500,03 m³/dia. A ETE é composta de tratamento preliminar com gradeamento e caixa de areia seguido de reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), filtro biológico percolador, decantador secundário e desinfecção da adição de cloro. A ETE também possui sistema para remoção e tratamento

de lodo com adensador e centrífuga. A ETE Venturosa começou a operar em 2017.

As coletas de esgoto são realizadas na entrada (esgoto bruto) e saída da ETE (esgoto tratado) e analisados no laboratório de esgoto na Gerência de Controle de Qualidade da COMPESA. Os parâmetros analisados foram: temperatura, pH DBO (mg/L), sólidos sedimentáveis (ml/L) óleos e graxas (mg/L), alcalinidade, cloretos (mg/L), material flutuante, ovos de helmintos e coliformes termotolerantes (NMP/100ml). Para este trabalho, foram consideradas as coletas e análises foram realizadas são dos meses de janeiro até dezembro de 2021.

A presente pesquisa, comparou os resultados do tratamento do esgoto na ETE de Venturosa com a Resolução CONAMA nº 430 de 2011 e com as leis e resoluções dos estados os quais foram, a Resolucao\_CERH\_n.\_122\_2023\_PR do estado Paraná, Normativa CERH - MG nº 65/2020 do estado de Minas Gerais, e Resolução nº. 75/2010 do estado da Bahia, para determinar os parâmetros da qualidade do esgoto tratado para o reuso em diversas áreas, como a irrigação em meios agrícolas ou industriais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante das análises físico-químicos e biológicas, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1 e 2. Podendo assim observar a eficiência do tratamento de efluente a partir da diferença entre a DBO do esgoto bruto e esgoto tratado, como os demais parâmetros de análises da estação, usando os resultados do esgoto tratado e comparando com os resultados exigidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011, presente na Tabela 3 e também comparando alguns resultados com a Normativa CERH-MG nº65/2020 do estado de Minas Gerais na Tabela 4, Resolução nº. 75/2010 do estado da Bahia na Tabela 5, Resolução CERH nº122/2023 do estado do Paraná na Tabela 6. Os parâmetros cloretos, a alcalinidade e ovos de helmintos não apresentam limites na Resolução CONAMA 430/2011. A Resolução nº 375 apresenta o parâmetro exigido para os Ovos viáveis de helmintos onde apresenta concentração < 10 ovos / g de ST.

| ETE VENTUROSA 2021  |            |     |            |      |               |                  |              |            |           |           |
|---------------------|------------|-----|------------|------|---------------|------------------|--------------|------------|-----------|-----------|
| Resultados da saída |            |     |            |      |               |                  |              |            |           |           |
| Meses               | TEMP (° C) | PH  | DBO (mg/L) | EF % | SOL.SED. ml/L | OLEO/ GRA (mg/L) | Alcal/ (mg ) | Cloretosmg | Mat.Flut. | Ovos Hel. |
| jan/21              | 29,0       | 8,0 | 25,0       | 64%  | 0,0           | 1,3              | 881          | 400        | ausente   | *         |
| fev/21              | 28,0       | 8,2 | 25,0       | 97%  | 0,1           | 68,1             | 659          | 350        | ausente   | *         |
| mar/21              | 26,0       | 7,8 | 2,0        | 99%  | 0,0           | 16,4             | 520          | 40         | ausente   | *         |
| abr/21              | 30,0       | 7,9 | 35,0       | 75%  | 0,0           | 10,0             | 504          | 900        | ausente   | *         |
| mai/21              | 25,0       | 7,5 | 26,0       | 61%  | 0,0           | 4,0              | 477          | 350        | ausente   | *         |
| jun/21              | 26,0       | 8   | 22,0       | 99%  | 0,0           | 5,0              | *            | 100        | ausente   | *         |
| jul/21              | 26,0       | 7,7 | 20,0       | 93%  | 0,0           | 2,7              | *            | 150        | ausente   | ,         |
| ago/21              | 24,0       | 8,1 | 22,0       | 99%  | 0,0           | 2,3              | 510          | 700        | ausente   | <1,0      |
| set/21              | 31,0       | 7,9 | 8,0        | 98%  | 0,0           | 20,2             | 590          | 500        | ausente   | <1,0      |
| out/21              | 26,0       | 7,9 | *          | *    | 0,0           | 11,7             | 760          | 500        | ausente   | >3,0      |
| nov/21              | 26,0       | 8,1 | 20,0       | 97%  | 0,0           | 4,7              | 635          | 400        | ausente   | <1,0      |
| dez/21              | 31,0       | 7,9 | 4,0        | 99%  | 0,0           | 6,3              | 690          | 350        | ausente   | <1,0      |
| média               | 27,3       | 7,9 | 19,0       | 89%  | 0,0           | 12,73            | 615,9        | 385,5      | ausente   | *         |

**Tabela 1:** Parâmetros analisados da ETE Venturosa.

Fonte: Compesa (2021).

Obs. No mês de outubro não houve DBO por causa de um defeito na incubadora. \*Obs. Para ovos de helmintos não houve análise nos meses de jan, fev, mar, abr, mai, jun, jul e dez. Na alcalinidade não houve realização de análises nos meses de mai e jun.

Os resultados da Tabela 01 foram comparados com a Resolução do CONAMA 430/2011, diante disso podemos observar que a temperatura analisada na tabela a média foi de 27,3 °C estando de acordo com os parâmetros da resolução, onde o limite não pode ser superior a 40°C, em relação ao estado de Minas Gerais, Bahia e Paraná não apresentam limite para temperatura, mas também se baseiam pela Resolução CONAMA 430/2011.

Já para os resultados de pH da ETE Venturosa apresentou o valor médio do esgoto tratado 7,9, e a Resolução CONAMA 430/2011 estabelece que o limite fique entre 5 a 9. A Resolução do estado Bahia não apresenta limite de pH, mas para o estado de Minas gerais e Paraná estes seguem também o parâmetros do exigidos pela legislação do CONAMA, diante disso a ETE Venturosa atendeu a exigência em todos os meses do ano de 2021 onde o pH não ultrapassou o limite de referência.

| ETE Venturosa Resultados de Bacteriologia |                           |                             |                           |
|-------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Parâmetro: Coliformes Termotolerantes     |                           |                             |                           |
| Meses                                     | Esgoto bruto<br>NMP/100mL | Esgoto tratado<br>NMP/100mL | Percentagem de<br>Remoção |
| jan-21                                    | 1,62E+06                  | 6,96E+03                    | 100%                      |
| fev-21                                    | 1,30E+05                  | <100                        | 100%                      |
| mar-21                                    | 1,27E+06                  | <10                         | 100%                      |
| abr-21                                    | 1,52E+06                  | 2,42E+05                    | 84%                       |
| mai-21                                    | 1,38E+06                  | 3,26E+04                    | 98%                       |
| jun-21                                    | 1,27E+08                  | 3,88E+05                    | 100%                      |
| jul-21                                    | 2,35E+07                  | 2,62E+05                    | 99%                       |
| ago-21                                    | 1,11E+06                  | 5,10E+02                    | 100%                      |
| set-21                                    | 9,06E+05                  | 1,00E+02                    | 100%                      |
| out-21                                    | 8,30E+06                  | 3,93E+05                    | 95%                       |
| nov-21                                    | 1,95E+06                  | 1,20E+03                    | 100%                      |
| dez-21                                    | 2,13E+07                  | <100                        | 100%                      |
| MÉDIA                                     | 1,58E+07                  | 1,11E+05                    |                           |

Tabela 2: Parâmetros coliformes termotolerantes analisados da ETE Venturosa

Fonte: Compesa (2021).

| Limite Resolução CONAMA 430/2011 |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| TEMP                             | - Não pode ser superior a 40°C   |
| PH                               | - Deve estar entre 5 e 9         |
| DBO                              | - 120 mg/l ou 60% de eficiência  |
| SOL.SED.                         | - Não pode ser superior a 1 ml/L |
| OLEO/GRA                         | - até 100 mg/L                   |
| Mat.Flut.                        | - Saída ausente                  |

Tabela 3: limites estabelecidos pela Resolução CONAMA.

De acordo com a Normativa CERH-MG N° 65/2020 de Minas Gerais, o anexo I estabelece alguns parâmetros e padrões de qualidade microbiológica para a modalidade de reúso direto da água oriunda de estações de tratamento de esgoto, separando em duas categorias de reúso como a ampla e a limitada, os quais estão descritos na tabela 4.

| Normativa CERH-MG Nº 65/2020 Estado de Minas Gerais |                                                                                                                                     |       |                                                           |                                          |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Categoria                                           | Finalidade                                                                                                                          | pH    | Coliformes termotolerantes ou <i>E. coli</i> (NMP/100 mL) | Ovos viáveis de helmintos (nº de ovos/L) |
| <b>Ampla</b>                                        | Permitido fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão*.                                                                   | 6 a 9 | $\leq 1 \times 10^4$                                      | $\leq 1$                                 |
| <b>Limitada</b>                                     | Permitido apenas fertirrigação superficial ou localizada, evitando-se qualquer contato da água para reúso com o produto alimentício | 6 a 9 | $\leq 1 \times 10^6$                                      | $\leq 1$                                 |

**Tabela 4:** Padrões de qualidade microbiológica para reúso na modalidade **agrossilvipastoril**

Fonte: Siam.gov(2020)

Já na Resolução nº 75/2010 do estado da Bahia estabelece procedimentos para regular o reúso e atua com base nas competências conferidas pela Lei no. 11.6129/2009, e na Resolução nº. 54/2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Além disso, a resolução inclui definições específicas no Art. 3º recomendada pela OMS, como as de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* descrito na Tabela 5.

| RESOLUÇÃO nº. 75/2010 do Estado da Bahia - Art. 3º características microbiológicas |                      |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categoria                                                                          | CTer por 100mL (1)   | Ovos de helmintos por litro (2) | Observações                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>A (3)</b>                                                                       | $\leq 1 \times 10^3$ | $\leq 1$                        | 1x10 <sup>4</sup> CT por 100mL no caso de irrigação localizada, por gotejamento, de cultivos que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado.                                                                            |
| <b>B (4)</b>                                                                       | $\leq 1 \times 10^4$ | $\leq 1$                        | 1x10 <sup>5</sup> CT por 100mL no caso da existência de barreiras adicionais de proteção ao trabalhador (5) É facultado o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que com associado ao método de irrigação subsuperficial (6) |

**Tabela 5:** As características microbiológicas da Resolução nº 75/2010 do estado da Bahia para a água em todas as categorias de reúso destinadas à agricultura e/ou atividades florestais.

A resolução cita em seu Art. 5º em casos que se emprega o reúso de esgotos sanitários com finalidades agrícolas e/ou florestais, não existem limitações quanto aos parâmetros de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e SST (Sólidos Suspensos Totais). As concentrações presentes nos efluentes dependem das técnicas de tratamento utilizadas, contanto que estejam em conformidade com os critérios microbiológicos definidos nesta Resolução.

O estado do Paraná traz em sua Resolução CERH Nº122/2023 as diretrizes e



critérios gerais para reúso e em sua seção III no Art. 12º as modalidades de reúso como a qualidade e padrão da água para fins agrícolas.

| Resolução CERH Nº122/2023 Estado do Paraná |                    |                |
|--------------------------------------------|--------------------|----------------|
| PARÂMETROS                                 | UNIDADE            | VALORES MÁXIMO |
| pH                                         | Unidades de pH     | 5 a 9          |
| Óleos minerais                             | mg L <sup>-1</sup> | Até 10         |
| Cloreto                                    | mg L <sup>-1</sup> | 30,00          |
| Coliformes Termotolerantes                 | NMP/100 mL         | 1.000          |
| Ovos viáveis helmintos                     | Ovo/L              | 1              |

**Tabela 6:** Resolução CERH Nº122/2023 do Estado do Paraná que estabelece diretrizes e critérios gerais para reúso

Vale ressaltar que que no Art. 13 estabelece que o parâmetro DBO deve considerar os limites que consta na resolução do CONAMA 430/2011, e no Art. 16 fala da restrição sobre algumas culturas, por exemplo frutos, hortaliças e tubérculos para consumo humano na forma crua.

Para a os parâmetros físico-químicos, o estado da Bahia e Paraná apresenta em suas resoluções parâmetros de valores máximos de sais e minerais, onde alguns parâmetros não são analisados pela Compesa, sendo possível comparar somente os valores do cloreto, a Bahia estabelece o valor de 100- 350 mgL<sup>-1</sup>, já o Paraná o limite de valor máximo é 30,00 mg L<sup>-1</sup>, na ETE Venturosa o valor médio deu 385,5 mg L<sup>-1</sup> passando do limite estabelecido no estado da Bahia, mas a resolução do CONAMA 430/2011 não apresenta limites para o cloreto. O estado de Minas Gerais em sua resolução apresenta resultados voltado a parte bacteriológica não estabelecendo limites físico-químicos.

Já a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) apresentou em seu resultado a média 19 mg/L e desvio padrão de 11,13 mg/L com eficiência média de 89%, estando de acordo com os parâmetros exigidos pelo CONAMA 430/2011 que a eficiência esteja acima de 60%, já comparando com a legislação de reúso dos estados, em relação ao estado do Paraná também segue a determinação do CONAMA. No contexto do estado da Bahia, no que se refere à utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, não há restrições específicas em relação aos parâmetros de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e SST (Sólidos Suspensos Totais). As concentrações dos resíduos tratados dependem das técnicas de tratamento empregadas, desde que estejam em conformidade com os padrões microbiológicos de qualidade estabelecidos, o estado de Minas Gerais não traz em sua resolução esse parâmetro.

Os sólidos sedimentáveis da ETE Venturosa apresentou resultados menor do que o limite estabelecido que não pode ser superior a 1 ml/L, já em relação as Resoluções dos outros estados não foram encontrados limites para este parâmetro.

Os resultados de óleos e graxas foram analisados de acordo com a legislação vigente que permite o limite substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L e a ETE Venturosa também atendeu este limite em todos os meses do ano de 2021 com a média de 12,73 mg/L. Comparando o resultado com a resolução do estado do Paraná que exige até 10 mg/L, a ETE não atendeu a exigência desta resolução. O material flutuante deve se apresentar ausente após o tratamento, a ETE Venturosa atendeu a legislação do CONAMA 430/2011.

Para o limite de ovos de helmintos foi comparado com os estados Paraná, que estabelece o valor de 1 Ovo/Le o estado de Minas Gerais que divide-se em duas categorias, a ampla, permitido fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão, onde o valor estimado é  $\leq 1$  e a categoria, limitado, permitindo apenas fertirrigação superficial ou localizada, evitando-se qualquer contato da água para reúso com o produto alimentício especificando valor  $\leq 1$ . Para a Bahia O Ovos de helmintos por litro (2) divide se em grupo A (3) caso de irrigação localizada, por gotejamento, de cultivos que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado e o grupo B (4), ambos com limite  $\leq 1$  ovos de helmintos com litro.

Para as análises de coliformes termotolerantes, a ETE Venturosa apresentou média de entrada  $1,58 \times 10^7$  NMP/100mL e para a saída (esgoto tratado)  $1,11 \times 10^5$  NMP/100mL, o estado do Paraná apresenta descrito na resolução que os Coliformes Termotolerantes tem valor máximo de 1.000 NMP/100mL. Já na Resolução do Estado da Bahia, o CTer por 100mL, divide-se em grupo A (3)  $\leq 1 \times 10^3$  para caso de irrigação e o grupo B (4)  $\leq 1 \times 10^4$ . A Resolução do Estado de Minas Geras também divide em dois grupos, o de ampla utilização, que o valor é  $\leq 1 \times 10^4$  e o grupo da limitada utilização, cujo valor é  $\leq 1 \times 10^6$ . Analisando os resultados é importante a melhoria na eficiência de desinfecção da ETE Venturosa para reduzir a concentração dos coliformes termotolerantes no esgoto tratado e possibilidade futuros estudos de irrigação com a água de reúso.

O tratamento da ETE Venturosa pode ser considerado eficiente, pois em seus resultados de eficiência de remoção de matéria orgânica, como também o atendimentos aos demais parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA 430/2011. Ao comparar seus parâmetros com as Resoluções CERH N°122/2023- PR, Normativa CERH-MG N° 65/2020 e Resolução N° 75/2010 Bahia, a ETE Venturosa também apresenta resultados abaixo dos limites estabelecidos. Sendo assim, é possível o desenvolvimento de estudos em escala piloto para irrigação de espécies vegetais com objetivo de avaliar outros parâmetros, como por exemplo os impactos da aplicação de efluentes no solo. Estes estudos serão importantes para regiões que apresenta pouca disponibilidade hídrica ou poucas estações chuvosas.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados da pesquisa foi analisado os parâmetros da ETE de Venturosa, onde foram realizadas coletas de amostras de esgoto na ETE e realizadas análises em laboratório do mês de janeiro a dezembro de 2021 e os resultados foram comparados com a legislação vigentes (Resolução CONAMA nº430 /2011, RESOLUÇÃO CERH Nº122/2023, RESOLUÇÃO CERH Nº122/2023- PR, RESOLUÇÃO nº. 75/2010, NORMATIVA CERH-MG Nº 65/2020, e RESOLUÇÃO Nº 75/2010 Bahia, e foram analisados os parâmetros de: temperatura, pH, DBO, óleos e graxas, coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, cloreto, durante o ano de 2021. Com isso foi possível concluir que os parâmetros estavam de acordo com a legislação em todos os meses que foi realizada a análise. Novos estudos precisam ser desenvolvidos para análises de outros parâmetros, como por exemplo, condutividade, metais pesados, salinidade.

## REFERÊNCIAS

1. BRASIL. **RESOLUÇÃO CONSEMA nº 419, de 13 de fevereiro de 2020**. Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reuso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. D.O.E de 21/02/2020, Porto Alegre, 13 de fevereiro de 2020.
2. CERVO, A. L. B, Alcino. P. Silva. R. **Metodologia científica**. 6.ed. pag 61. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
3. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/PR). **RESOLUÇÃO CERH Nº122, de 19 de junho de 2023**. Estabelece diretrizes e critérios gerais para o reuso de água proveniente de efluentes tratados de origem sanitária ou industrial, especificamente para fins urbanos, agrícolas, florestais, ambientais e industriais. <[https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2023\\_06/resolucao\\_cerh\\_122.2023.pdf](https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023_06/resolucao_cerh_122.2023.pdf)> Acesso 18 de set de 2023.
4. CONERH (Conselho Estadual de Recursos Hídricos/BA). **RESOLUÇÃO nº. 75, de 29 de julho de 2010**. 75<<http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/RESOLU%C3%87%C3%83O%20n%C2%BA%2075.pdf>>. Acesso em 18 de set 2023.
5. **Deliberação Normativa CERH-MG nº65, de 18 de junho de 2020**. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reuso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Belo Horizonte,2020.
6. MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. **Reúso de água**. Editora Manole Ltda, 2003.Disponível em: < <https://books.google.com.br/books> > acessado em 20 de set. 2023.
7. MOURA, Priscila Gonçalves. **Metagenômica de água de reúso, esgoto e água potável**. 2019. 171 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019.
8. OLIVEIRA, S. L. **Tratado de metodologia científica: projetos de pesquisas**, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 2007.

9. **Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2023.

10. VENTUROSOSA, Prefeitura Municipal de Venturosa, **Dados sobre a localização de Venturosa.** Venturosa, 2022. Disponível em < [https://venturosa.pe.gov.br/a-cidade/localizac%C3%A7%C3%A3o/](https://venturosa.pe.gov.br/a-cidade/localizac%C3%A7%C3%A3o) > acessado em: 28 Nov. 2022.

# RAB-A – REATOR ANAERÓBIO BIODIGESTOR ARTESANAL – COMO SOLUÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA REGIÕES ISOLADAS E COM TERRENOS ÍNGREMES: DIAGNÓSTICO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DESCENTRALIZADO NA VILA DE EUFRASINA, PARANAGUÁ-PR

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Jefferson Eckelberg**

Mestre em Ciência, Tecnologia e Sociedade pelo Instituto Federal do Paraná (PPGCTS/IFPR)

### **Everaldo dos Santos**

Doutor em Engenharia Florestal e docente do Instituto Federal do Paraná (IFPR)

### **Fernando Augusto Silveira Armani**

Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia e docente da Universidade Federal do Paraná (UFPR)

### **Jaqueline Dittrich**

Mestre em Ciências Ambientais - Portos do Paraná

### **Tiago Vernize Mafra**

Doutor em meio Ambiente e Desenvolvimento - Cia Ambiental

### **Pedro Pisacco Pereira Cordeiro**

Engenharia Florestal - Portos do Paraná

uma Tecnologia Social de saneamento básico chamado Biodigestor construído Artesanalmente (RAB-A). Os resultados mostraram que 94% das estruturas edificadas submetem os efluentes domésticos a sistemas ineficazes de tratamento, liberam os efluentes diretamente no solo adjacente ou diretamente na baía de Paranaguá. A presente situação é atribuída à inviabilidade de implementar soluções convencionais de saneamento básico, uma vez que as circunstâncias econômicas da comunidade, a topografia acentuadamente íngreme da localidade, a característica do solo e o acesso exclusivamente marítimo à Vila convergem para tal obstáculo. Ao apresentar esta configuração, emergiu a alternativa de apresentar um sistema de tratamento de efluentes domésticos de natureza individual, com tendência a Tecnologia Social. O principal foco do sistema alternativo é incentivar a replicação do mesmo, visando assim resolver a falta de infraestrutura de saneamento básico na comunidade. A referida tecnologia, batizada de Reator Anaeróbico Biodigestor Artesanal (RAB-A), foi concebida através de uma colaboração com a comunidade, alicerçada na incorporação dos saberes locais. A materialização deste sistema foi realizada

**RESUMO:** O presente artigo teve como objetivo analisar as condições sanitárias da Vila de EufRASINA em relação ao tratamento e destinação do esgoto produzido nas edificações desta comunidade, e apresentar um modelo de projeto de construção de

mediante um empenho comunitário, com a sua implantação nas instalações da Associação dos Moradores da Vila por meio de mutirão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de Esgoto Doméstico. Tecnologia Social. Reator Anaeróbio Biodigestor Artesanal.

**ABSTRACT:** The aim of this article was to analyse the sanitation conditions in Vila de Eufrasina in relation to the treatment and disposal of sewage produced in the community's buildings, and to present a model project for the construction of a basic sanitation social technology called a hand-built biodigester (RAB-A). The results showed that 94 per cent of the built structures subject domestic effluent to ineffective treatment systems, releasing the effluent directly into the surrounding soil or directly into Paranaguá Bay. This situation is attributed to the unfeasibility of implementing conventional basic sanitation solutions, since the economic circumstances of the community, the steep topography of the locality, the characteristics of the soil and the exclusively maritime access to the village all converge to create this obstacle. Given this configuration, the alternative of presenting an individual domestic effluent treatment system emerged, with a tendency towards Social Technology. The main focus of the alternative system is to encourage its replication, with the aim of resolving the lack of basic sanitation infrastructure in the community. This technology, called the Artisanal Anaerobic Biodigester Reactor (RAB-A), was conceived through collaboration with the community, based on the incorporation of local knowledge. The materialisation of this system was achieved through a community effort, with its implementation on the premises of the Village Residents' Association through a joint effort.

**KEYWORDS:** Domestic Sewage Treatment. Social Technology. Anaerobic Biodigester Reactor.

## 1 | INTRODUÇÃO

O paradigma técnico tradicional do saneamento básico concentrou-se em sistemas urbanos que usam uma ampla rede de coleta para transportar águas residuárias até grandes estações de tratamento de efluentes, com capacidade suficiente para acomodar um número crescente de usuários e oferecer lucros operacionais (SANTOS et al., 2015). Já em regiões periféricas e em comunidades isoladas, a baixa densidade populacional, a distância entre as casas e, por vezes, a topografia local, tornam os custos de instalação e operação de sistemas de esgotamento sanitário inviáveis, o que dificulta a prestação desse serviço por empresas Tonetti et al., (2018); Salazar, (2010). Portanto, em localidades desassistidas por sistemas de esgotamento sanitário, o esgoto é geralmente tratado por soluções individuais, ou não tratado e lançado diretamente no meio.

Em 2013, no Brasil, havia cerca de 18,3% de esgoto coletado e não tratado e 26,33% de esgoto não coletado e não tratado, conforme o Atlas do Esgoto de 2017 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017). O lançamento de esgoto *in natura* pode levar à poluição dos recursos hídricos, acarretando em problemas de saúde tanto para animais como para seres humanos que dependem da água dessas fontes. Além disso, a presença

de esgoto no meio ambiente pode aumentar os custos do tratamento de água em estações centralizadas de abastecimento público (FRANCISCO; POHLMANN; FERREIRA, 2011).

Assim surge a necessidade de se buscar soluções que atendam as comunidades sem acesso a sistemas coletivos do saneamento básico, e é nesse contexto que as Tecnologias Sociais (TS) podem ser uma alternativa viável, fornecendo soluções satisfatórias para esse problema ambiental e social. As Tecnologias Sociais são produtos, técnicas e/ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representam efetivas soluções de transformação social (SCHWAB e FREITAS, 2016).

O caderno de debate do Instituto de Tecnologia Social (ITS, 2004) ressalta que a reflexão e a construção do conceito de Tecnologias Sociais devem ser capazes de aprimorar práticas sociais e contribuir para a criação de novos significados na produção de conhecimento, aproximando problemas sociais de soluções e ampliando os limites da cidadania. Dagnino e Faria (2009) destacam que as Tecnologias Sociais podem ser vistas como alternativas viáveis para atender necessidades sociais específicas e também para promover pesquisas que se concentrem nas realidades locais, regionais e nacionais. Em uma publicação mais recente, Dagnino (2014) enumera algumas características que identificam como é ou deveria ser uma TS: adaptada ao pequeno tamanho; libertadora do potencial físico, financeiro e criativo do produtor direto; não discriminatória; economicamente viável; autogestionada; orientada para o mercado interno; e deve ser uma alternativa econômica sustentável em relação ao grande capital.

A respeito do saneamento básico, uma forma de reduzir os problemas de acesso ao tratamento de esgoto residencial está na descentralização (WSP, 2004). Atualmente há diversos métodos para o tratamento descentralizado do esgoto residencial, muitos deles baseados em processos naturais. Ao estabelecer o método de tratamento a ser utilizado, é indispensável considerar aspectos como impactos ambientais, eficiência, área de implantação, confiabilidade e custos de implantação e operação (VON SPERLING, 2014).

Dentre os sistemas de tratamento de efluentes descentralizados mais difundidos estão as fossas rudimentares, as fossas sépticas, as Bacias de Evapotranspiração (BET), e o Reator Anaeróbio Biodigestor (RAB), todos sistemas baseados em processos naturais de decomposição anaeróbia da matéria orgânica advinda do esgoto doméstico. Dependendo da tecnologia adotada e da sua operação, o tratamento pode ser capaz de reduzir significativamente o número de patógenos presentes nos resíduos e de controlar e estabilizar vários parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio, pH, Nitritos, Nitratos, Amônia e Fosfatos. Para evitar a poluição ambiental, é necessário que o descarte do efluente no corpo receptor esteja em conformidade com os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 430 de 2011. Embora os diferentes sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto sejam baseados no mesmo processo, cada um possui suas particularidades de funcionamento e implantação, necessitando observar as condições do meio como relevo, clima, tipo do solo, vegetação ao redor, volume de efluentes, disponibilidade de materiais

para construção, possibilidades de adaptação, entre outros. Rietow et al (2023).

Uma solução individual para o tratamento de esgoto que vem ganhando certo destaque no Brasil, conforme Rietow et al. (2023) e Araújo et. al. (2000), é o Reator Anaeróbio Biodigestor. Segundo Chernicharo et al. (1999), o RAB demonstra ser um sistema compacto que requer um espaço mínimo para implantação. Além disso, apresenta baixa produção de lodo e demonstra eficácia na redução de parâmetros como DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio), podendo alcançar taxas de 65% a 75%. Essas particularidades tornam o RAB altamente promissor como uma Tecnologia Social para o saneamento básico.

A partir desta prévia e, diante da necessidade de solucionar a falta de tratamento de esgoto na Vila de Eufrasina, desenvolveu-se com a comunidade da Vila um RAB de baixo custo, e implantou-se o mesmo na Associação de Moradores de Eufrasina pelo método de mutirão de trabalho no modelo descrito por Nabarrete Bastos (2014).

O objetivo foi analisar as condições sanitárias da Vila de Eufrasina em relação ao tratamento e destinação do esgoto produzido nas edificações desta comunidade, e apresentar um modelo de projeto de construção de uma Tecnologia Social de saneamento básico chamado Biodigestor construído Artesanalmente (RAB-A).

## **2 | METODOLOGIA**

### **Localização da área**

A comunidade situada na Vila de Eufrasina está situada no município de Paranaguá, no Estado do Paraná, há aproximadamente 12,6 km do centro da cidade, Paranaguá, (2017). As coordenadas geográficas do entorno são 25°27'42"S de latitude e 48°34'30"W de longitude. O mapa apresentado na Figura 1 indica a posição das construções na Vila, bem como a localização da vila em relação à zona urbana de Paranaguá. O único acesso à vila é por meio marítimo. A Figura 1, também mostra uma concentração de edificações próximos às margens do continente, devido ao terreno bastante acidentado da região. De maneira geral, a altitude das construções aumenta à medida que se afastam da margem da baía de Paranaguá.



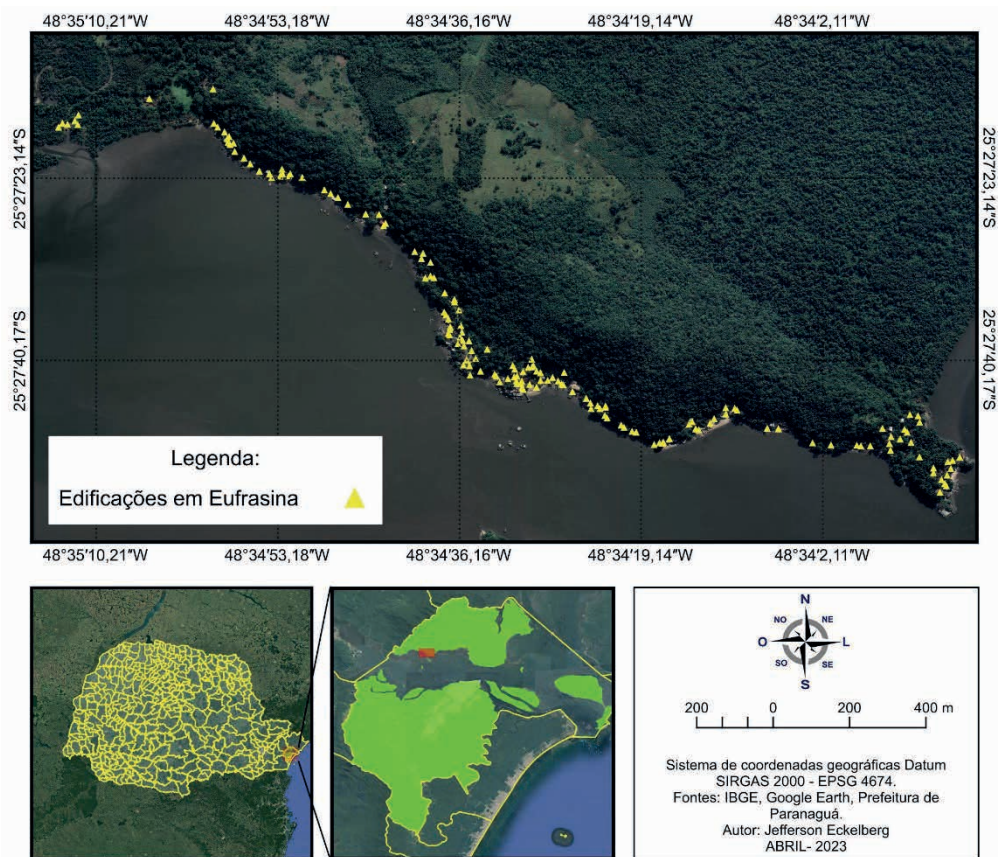


FIGURA 1 – Mapa das edificações da Vila de Eufrasina

Fonte: IBGE, Prefeitura de Paranaguá, autores, 2023.

## Diagnóstico da Vila de Eufrasina

Os dados de campo, socioeconômico e socioambiental, para diagnóstico da situação sanitária da comunidade da Vila de Eufrasina foi obtido a partir do trabalho de levantamento de campo realizado pela Prefeitura Municipal de Paranaguá em atendimento a uma demanda do Ministério Público Federal em abril de 2023. Três grupos foram formados, compostos por um integrante da comunidade, um agente da prefeitura e um dos autores desta pesquisa. Foram feitas inspeções nas edificações da Vila e questionamentos aos responsáveis pelas mesmas com o objetivo de se responder às seguintes perguntas: 1) Quantidade de pessoas no imóvel; 2) Existe um sistema de tratamento de esgoto na edificação? 3) Existe caixa de gordura? 4) Existe espaço para instalar um sistema compacto de tratamento de esgoto? Esta última pergunta se deu para avaliação técnica da possível implantação de um Reator Anaeróbico Biodigestor. Nas construções desocupadas, onde não havia moradores para responder foi realizada apenas a inspeção visual.

## Apresentação do Sistema Reator Anaeróbio Biodigestor Artesanal (RAB)

A partir do projeto de um sistema de tratamento de esgoto alternativo, chamado de Reator Anaeróbio Biodigestor (RAB), com potencial para se tornar uma tecnologia social, capaz de mitigar a falta de sistemas públicos de tratamento de esgoto na comunidade.

Os requisitos para implantação do sistema foram repassados a comunidade e devem considerar, a distância das residências aos corpos hídricos, as particularidades topográficas e edáficas da Vila. Com isso foi proposto a implantação de um sistema piloto do projeto no formato de mutirão com a comunidade.

O RAB é baseado no sistema de tratamento mais amplamente utilizado, que consiste em uma fossa séptica associada a um filtro anaeróbio (BRASIL, 2001). Nesta configuração, há relatos na literatura de sistemas atingindo a eficiência de 40 a 60% na remoção de patógenos Azevedo e Netto (1977).

Embora a fossa séptica tradicional indicada pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) faça o tratamento tanto das águas cinzas quanto das águas escuras, para reduzir o volume de efluente tratado. O RAB-A é proposto para tratamento de águas escuras. Assim, o esgoto advindo dos vasos sanitários é canalizado diretamente para o RAB-A, passando por 3 câmaras, onde é tratado por meio da biodigestão anaeróbia (Figura 3).

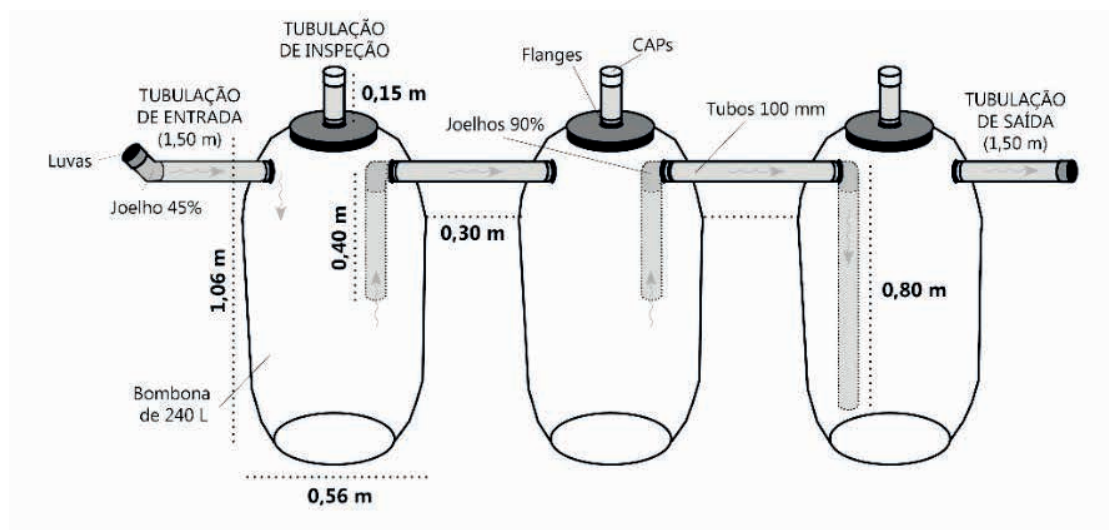


FIGURA 3 – Desenho esquemático do Reator Anaeróbio Biodigestor Artesanal (RAB-A)

Fonte: Adaptado pelos autores, 2023.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Diagnóstico Socioeconômico e socioambiental

A vila de Eufrasina é habitada por 169 moradores, distribuídos em 62 residências. Um total de 162 edificações foram avaliadas, incluindo residências, escolas, igrejas e a Associação dos Moradores. Foram identificadas 98 residências que são utilizadas somente durante o veraneio. Na vila há duas escolas do campo, uma municipal e uma estadual. A escola municipal geralmente tem em torno de 10 alunos que frequentam uma turma matutina. Já na escola estadual, no ano de 2023, há duas turmas multisseriadas de ensino médio com 13 estudantes na turma matutina e 16 estudantes na turma vespertina. Também há uma igreja batista, com alojamento para hospedagem, e uma igreja católica. Existem duas mercearias, uma panificadora, duas pousadas e não há bares e nem restaurantes, entretanto, refeições podem ser encomendadas com alguns moradores. A pesca é a atividade econômica predominante na Vila. Das 162 construções, em apenas 77 os responsáveis estavam presentes para fornecer as informações. As informações referentes às outras 85 edificações foram adquiridas por meio do conhecimento do integrante da comunidade que acompanhou o trabalho, bem como pelo conhecimento técnico dos entrevistadores com a observação visual e apoio de vizinhos.

Os resultados da pesquisa de campo evidenciaram a necessidade de apoiar a comunidade com soluções para sua situação sanitária. Isso envolve a promoção e disseminação de ações e tecnologias sociais, neste caso a implantação da conscientização e incentivar os moradores a adotarem sistemas de tratamento de esgoto para colaborar no turismo sustentável caiçara, Paraná (2017).

A Vila de Eufrasina foi estabelecida sem levar em conta as necessidades de saneamento básico e, ao longo do tempo, foi gradualmente ocupada sem a devida atenção a esse aspecto, resultando em problemas ambientais e de saúde para os moradores locais. Um diagnóstico prévio apontou um grande número de residências sem nenhum tipo de tratamento de efluentes domésticos, com lançamento do esgoto diretamente nas águas da Baía de Paranaguá, onde a própria comunidade faz o uso destas águas para a pesca e recreação, Paraná (2017).

A Figura 2 apresenta a atual situação referente ao tratamento de esgoto nas edificações existentes na comunidade.

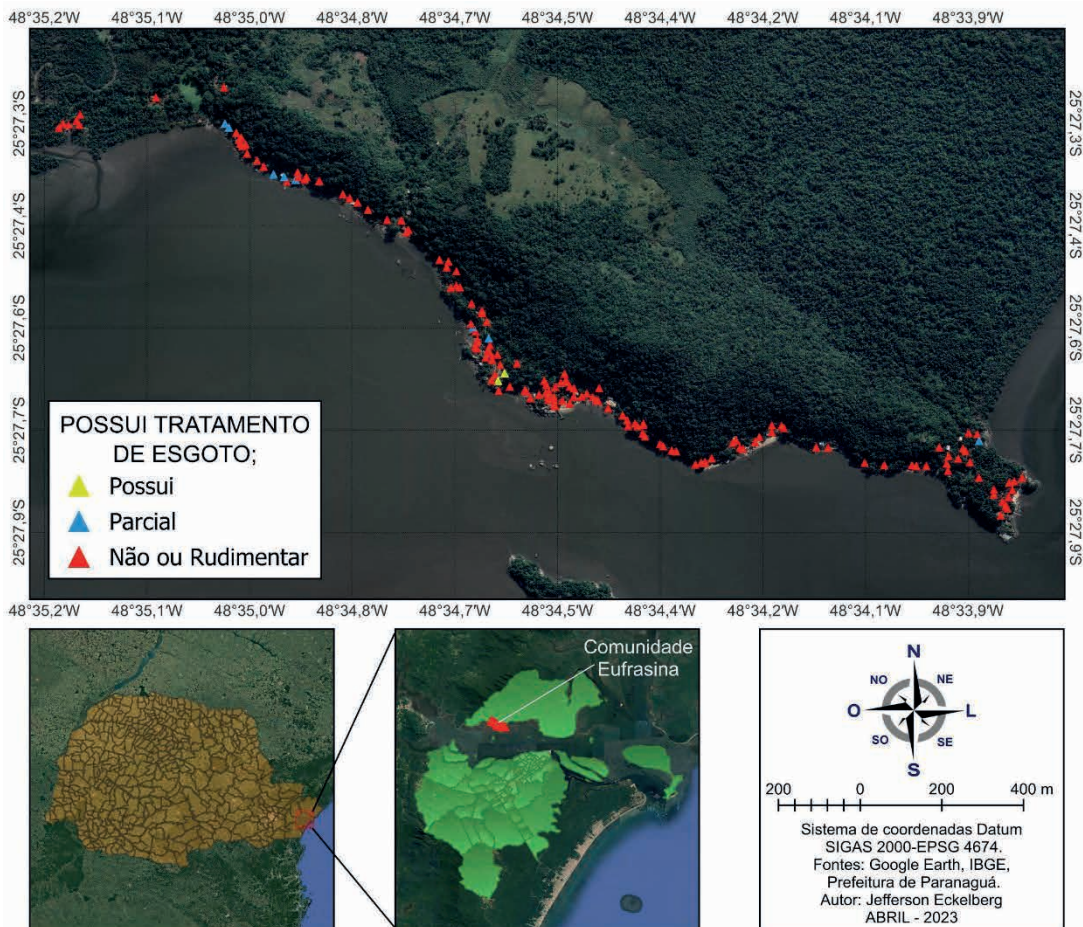


FIGURA 2 – Situação do tratamento de esgoto nas edificações da comunidade.

Fonte: IBGE, Prefeitura de Paranaguá, autores, 2023.

A pesquisa de campo realizada sobre o sistema de tratamento de esgoto nessa comunidade costeira revelou que edificações analisadas, apenas duas possuíam um sistema de tratamento considerado adequado. Sete edificações foram identificadas como possuindo um sistema parcial de tratamento, indicando a necessidade de complementação, e a maioria dos edificações avaliadas, totalizando 153 (94,44%), apresentou ausência de sistema tratamento de esgoto, com presença de fossa subdimensionada, ou com despejo do esgoto diretamente no ambiente. Além disso, 88,9% não possui caixa de gordura, o que intensifica o problema.

Sistemas com fossas simples, poderiam ser consideradas adequadas, desde que os mesmos estivessem implantados em locais de baixa densidade populacional, distantes de corpos hídricos, com tampas vedadas e resistentes Tonetti et al., (2018). O despejo de esgoto in natura no meio ambiente vem acarretando alguns impactos ambientais negativos



relatados pelos próprios moradores, como mau cheiro, doenças gástricas e de pele. O tratamento do efluente doméstico evita a proliferação de doenças advindas do contato com patógenos Leonel et al., (2013). Condições não adequadas de saneamento, além de prejudicar a saúde e o ambiente, também contribuem para o aprofundamento das desigualdades sociais, como renda, educação, entre outros Marinho et al., (2021); Lins, (2019); Oliveira, (2014).

Os possíveis motivos para um número tão elevado de edificações sem um método de tratamento de esgoto são:

1 - O terreno da maioria das edificações em região de encosta, íngreme, onde o solo é pouco permeável, e com muitas rochas. Essas características dificultam a escavação para implantação de sistemas convencionais, como tanques sépticos. Outro fator a ser considerado é o acesso às casas, que é feito por meio de trilhas, o que tende a dificultar a logística até o local de implantação.

2 - Uma parcela significativa da comunidade é composta por pescadores de baixa renda (APPA, 2017). Assim, a adoção de soluções convencionais, como tanques sépticos, muitas vezes se torna inviável devido ao alto custo dos materiais de alvenaria e à dificuldade de transportar materiais de construção em pequenas embarcações.

3 – Falta de investimento público para atendimento das comunidades remotas do litoral do Paraná.

A implantação de um sistema de tratamento de esgoto descentralizado do tipo Biodigestor, disponível para compra no comércio de materiais de construção civil, pode ser um desafio devido ao seu tamanho, pois haveria dificuldade no transporte e na escavação profunda por causa das rochas e do solo argiloso. Além disso, a concentração de peso em um terreno com declividade elevada aumenta o risco de deslizamento de terra, principalmente em períodos chuvosos Silva e Ferreira, (2022). Além disso, O tempo de detenção hidráulica é um parâmetro importante para o tratamento de efluentes (média do tempo que a água permanece dentro do reator). Em geral, o tempo de detenção hidráulica para o tratamento de efluentes costuma ser definido de forma a garantir que haja tempo suficiente para a degradação dos componentes do efluente, sendo recomendado para sistemas convencionais de tratamento de esgotos um tempo de detenção hidráulica de 24h ou mais. Porém, é importante destacar que o tempo ideal pode variar bastante dependendo das características específicas de cada efluente e do sistema de tratamento utilizado, sendo necessário avaliar cada caso individualmente NBR 7.229, (1989).

Com base neste diagnóstico e nos aspectos descritos, buscou-se estudar um método de tratamento que atenda às necessidades locais e demandas existentes, surgindo a proposta de apresentar à comunidade um Reator Anaeróbio Biodigestor construído Artesanalmente (RAB-A), como possível solução para mitigar a falta de tratamento nas diversas edificações da região.

## **Implantação do modelo Reator Anaeróbio Biodigestor construído artesanalmente (RAB-A)**

Após diagnóstico da comunidade Vila de Eufrasina definiu-se o local para instalação do modelo piloto implantado. A edificação escolhida foi a Associação dos Moradores da Vila de Eufrasina. O modelo foi implantado seguindo a metodologia do Reator Anaeróbio Biodigestor construído artesanalmente (RAB-A). A implantação do RAB-A na Associação dos Moradores da Vila de Eufrasina despertou nos moradores o interesse em solucionar a falta de saneamento da comunidade, principalmente porque o RAB-A é uma solução de baixo custo e de fácil implantação.

No modelo piloto implantado na Associação dos Moradores da Vila de Eufrasina, o tubo de saída do RAB-A foi direcionado a uma vala de infiltração, conforme as empresas dos Biodigestores comercializados recomendam. Além da vala de infiltração, há diversas alternativas para o efluente do biodigestor, a depender, principalmente, da distância dos locais de implantação das mesmas de corpos hídricos e da capacidade de infiltração do solo desses locais, tais como: sumidouro, círculo de bananeiras Silva, (2017); Figueiredo et al. (2018), Sistemas Alagados Construídos Brasil, (2005); Freitas et al., (2017). A primeira e a segunda câmaras desempenham a função de sedimentação e biodigestão anaeróbia, enquanto a terceira câmara tem o objetivo de intensificar a biodigestão. Para isso, a terceira câmara é preenchida com materiais, tais como tocos de bambu ou cascas de coco, que atuam como suporte para os microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Essa configuração aumenta o contato do efluente com esses microrganismos, resultando em uma maior eficiência na remoção de matéria orgânica. As três bombonas utilizadas somaram 750 litros e, seguindo uma estimativa de produção de efluentes de 100 litros por pessoa, considerando uma residência de baixo padrão, o sistema garantiria o tempo de detenção hidráulica de 36 horas para uma família de 5 pessoas, superando em 12h o tempo de detenção hidráulica mínimo recomendado pela ABNT NBR 7.229 de 1993.

Dentre as vantagens do RAB-A na comunidade de Eufrasina estão:

- A distribuição do peso em três pontos diferentes, dividindo a carga no terreno, o que diminui consideravelmente a possibilidade de deslizamento de solo, agravado em períodos de chuva, haja visto que grande parte das edificações ficam nas encostas de morro;
- A vedação hermética das câmaras, impedindo o vazamento no solo ou no mar;
- A possibilidade de construção com materiais acessíveis, de baixo custo e leves, o que facilita o transporte em pequenas embarcações e no terreno íngreme. Além disso, as bombonas são facilmente encontradas, sendo utilizadas em comunidades da região litorânea para armazenamento temporário de pesca, água, gelo e para a construção de pequenos decks flutuantes;
- Trata-se de um sistema individual, descentralizado e auto gerível, o que não acarreta custos permanentes e ou periódicos ao proprietário que cuida do seu

próprio sistema;

- Por se tratar de sistema individual descentralizado, os volumes de esgoto são tratados em pequena escala, o que diminui consideravelmente riscos de acidentes com grandes impactos ao meio ambiente, não há a necessidade de grandes extensões de tubulações e grandes obras, o que seria um grande desafio devido ao terreno rochoso, de encosta e com trilhas sinuosas Thoubanougloous e Leverenz, (2013). Todo o processo ocorre naturalmente sem a necessidade do consumo de energia elétrica Silva, (2014). Não há necessidade de esgotamento do lodo com grande frequência, já que o acúmulo de lodo é baixo, o que reduz, além de custos, a necessidade de manutenção constante e, devido ao baixo volume, os próprios moradores podem realizar o esgotamento Novaes et al., (2002). É adaptável e facilmente expansível, podendo ser utilizado outros recipientes como caixas d'água, podendo ampliar sua capacidade apenas multiplicando o número de reservatórios ou ampliando o volume do recipiente Silva et al., (2017). Facilmente replicável em comunidades remotas, podendo ser construído pelo método de mutirão comunitário.

Por se tratar de um processo de tratamento realizado por microrganismos, deve-se evitar a utilização de produtos de limpeza que contenham bactericidas em sua composição, a fim de manter a população de microrganismos decompositores presentes no sistema. Também se deve evitar o descarte de objetos alheios, bem como papel higiênico no vaso, para evitar a sobrecarga, entupimento e acúmulo de material no biodigestor. Com relação à disposição final do efluente, mesmo havendo uma significativa redução de patógenos, ainda assim não se recomenda que esta água tenha contato direto com o ser humano, bem como nas superfícies de frutos e vegetais de consumo Silva et al., (2017); Figueiredo, (2019).

Um diferencial do sistema, que pode ser, algumas vezes, considerado como desvantagem, é que ele não trata todo o esgoto doméstico, somente as águas escuras (água dos vasos sanitários). Restringiu-se o RAB-A ao tratamento de águas escuras para aumentar a eficiência do tratamento através do aumento do tempo de detenção hidráulica e para promover uma maior concentração de microrganismos no sistema. As águas cinzas geralmente contêm produtos de limpeza, que podem interferir na concentração de microrganismos decompositores de matéria orgânica Silva et al., (2017). As águas chamadas cinzas, provenientes de ralos de chuveiro e pias, devem passar por uma caixa de gordura e posteriormente ser direcionadas para um sistema de tratamento Leonel et al., (2013), podendo ser um sistema mais simples, tal como o círculo de bananeiras. O efluente do esgoto tratado é rico em nitrogênio, matéria orgânica dissolvida, e nutrientes como potássio, fósforo, cálcio, magnésio, entre outros, podendo ser utilizado como um biofertilizante Otenio et al., (2014). No entanto, as normas para reuso das águas na irrigação ainda são incipientes no Brasil e, no geral, tem-se como referência normas européias estipulados pela WHO e USEPA Bastos e Bevilacqua, (2006).

Possivelmente, após uma implantação do modelo piloto deverá ser divulgado de

forma ampla que poderá promover melhoria na qualidade do entorno Figueiredo, (2019).

O RAB-A foi projetado e planejado para atender à emergente necessidade de um tratamento de esgoto mais eficiente, capaz de mitigar os impactos decorrentes do despejo irregular que se verificou na comunidade de Eufrasina, de forma a ser acessível financeiramente às famílias de baixa renda e de fácil implantação. Relatos dos moradores participantes mostraram que o sistema foi bem aceito pela comunidade quando apresentado o projeto, entretanto, foi salientado que, mesmo o sistema sendo melhor e mais eficiente do que os encontrados nas residências da Vila, ainda assim ele necessita de um sistema complementar, que deve ser avaliado de acordo com as características do local de implantação. Também se ressalta a necessidade de mudança de hábitos por parte dos usuários do sistema, tanto no seu uso em si como na limpeza do vaso sanitário Silva et al, (2017).

## **4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Um diagnóstico sobre as condições sanitárias foi realizado na Vila de Eufrasina do município de Paranaguá, onde foi possível constatar a preocupante realidade da falta de saneamento básico na Vila. Constatou-se que 94,44% das edificações lançavam o esgoto bruto diretamente no meio ambiente, geralmente na baía de Paranaguá. Para agravar esta situação, em 88,9% das edificações não havia caixa de gordura.

As características do local, com solo íngreme e argiloso, bem como as condições socioeconômicas da maior parte da comunidade, tornam-se desafios para implantação de sistemas convencionais de tratamento de esgoto nas edificações da Vila, pois são onerosos e demandam áreas de implantação maiores. Considerando esses aspectos, foi apresentado um modelo de Biodigestor Artesanal denominado RAB-A, a fim de se tornar uma Tecnologia Social para a comunidade. O RAB-A é de baixo custo e atende às peculiaridades do terreno e do solo da região.

Um modelo piloto foi implantado pelo método de mutirão na Associação dos Moradores da Vila de Eufrasina em escala teste. Com isso, despertou-se interesse dos moradores em replicar essa solução, a fim de solucionar a falta de saneamento básico da vila.

O RAB-A pode ser um modelo de projeto para o tratamento de esgoto residencial em comunidades sem atendimento, mostrando potencial de tecnologia social. Essa solução tem eficiência similar aos Biodigestores comercializados, e, portanto, o tratamento deve ser complementado com outras soluções, a fim de se atingir uma eficiência de tratamento que atenda aos padrões de lançamento de efluentes no meio.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos o financiamento da pesquisa por meio do Programa Institucional



de Apoio à Pesquisa - PIAP/IFPR edital nº 06/2022 - DIPE/PROEPPI. Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA). E ao Programa de Pós Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade (PPGCTS) do IFPR.

## REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2017.

APPA - Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina. RIMA - **Diagnóstico Ambiental e do Meio Socioeconômico**. Paranaguá, 2017.

ARAÚJO, G.C.; CHERNICHARO, C.A.; SPERLING, M. Von. **Análise da remoção de matéria orgânica e sólidos ao longo de um sistema de aplicação de esgotos no solo tratando efluentes de reatores UASB**. In: SILUBESA-SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2000, Porto Seguro. Anais... Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.1.098-106. 2000.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Sistema de esgotos sanitários**. 2 ed. São Paulo: CETESB, 1977.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. **Normas e critérios de qualidade para reúso da água**. In: Florêncio, L; Bastos, R. K. X.; Aisse, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

BRASIL. EMBRAPA. **Fossa Séptica Biodigestora**. São Carlos, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de maio de 2005, publicada no DOU de 16/05/2011.

CHERNICHARO, C.A.L.; HAANDEL, A. Van; AISSE, M.M.; CAVALCANTI, P.F.F. **Reatores anaeróbios de manta de lodo**, In: CAMPOS, J.R. (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES/ PROSAB, p.155-98, 1999.

DAGNINO, Renato et al. **Tecnologia social:** ferramenta para construir outra sociedade. Campinas: Unicamp, 2009.

DAGNINO, Renato. **Tecnologia Social:** contribuições conceituais e metodológicas. Eduepb, 2014.

FIGUEIREDO, I. C. S.; Santos, B. S. C.; Tonetti, A. L. **Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras**. Campinas: Biblioteca Unicamp. p. 28. 2018.

FIGUEIREDO, Isabel C. S. **Tratamento de esgoto na zona rural:** diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas. Doutora—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2019.

FRANCISCO, Amanda Alcaide; POHLMANN, Paulo Henrique Mazieiro; FERREIRA, Marco Antônio. **Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência.** Eng. Ambient. Londrina, n. 1, p. 1-9, 2011.

FREITAS, Monique Nunes de et al. **Avaliação da hidrodinâmica e do desempenho de um wetland construído horizontal componente de um sistema híbrido empregado no tratamento de esgoto sanitário.** 2017.

GARCIA FREITAS, Carlos César; KÜHL, Marcos Roberto; SEGATTO, Andrea Paula. **Tecnologia social e a sustentabilidade.** Evidências da relação Interciência. Asociación Interciência Caracas, Venezuela, vol. 38, n. 3, pp. 229-236, mar, 2013.

LEONEL, L.F.; MARTELLI, L.F.A.; DA SILVA, W.T.L. **Avaliação do efluente de fossa séptica biodigestora e jardim filtrante.** In: III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. São Pedro, São Paulo, 2013.

LINS, J. C. de B. **Relação entre saneamento básico e indicadores de saúde:** panorama Brasil, Nordeste e Pernambuco. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Economia, Recife, BR-PE, 55 f. 2019.

MARINHO GL, RAUPP L, LUCENA JRM, TAVARES FG. **Saneamento básico em domicílios indígenas de áreas urbanas da Amazônia Legal, Brasil.** Cad Saúde Colet, 2021; 29 (esp.): 177-186. <<https://doi.org/10.1590/1414-462X202199010455>>.

NABARRETE BASTOS, Pablo., (2014), **Mutirão da Vila Comunitária:** Memória Social, Comunicação e Trabalho. Razón y Palabra, Vol., núm. 86, pp. ISSN: Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199530728012>>.

NOVAES, A. P.; Simões, M. L.; Marantin-Neto, L.; Cruvinel, P. E.; Santana, A.; Novotny, E. H.; S Santiago, G.; Nogueira, A. R. A. 2002. Comunicado Técnico 46: **Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. 5 p.

OLIVEIRA, D. M. de. **Saneamento Básico e Desenvolvimento Humano: um Estudo de Caso no Município de Imperatriz/MA a Partir da Abordagem das Capacitações.** Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário UNIVATES. 2014.

OTENIO, Marcelo Henrique ... [et al.]. **Como montar e usar a fossa séptica modelo Embrapa:** cartilhas adaptadas ao letramento do produtor. - Brasília, DF: Embrapa, 2014. 44 p.: il. col.; 23 cm x 21 cm. Disponível em: Portal Embrapa.

PARANÁ. **O retrato das comunidades da baía de Paranaguá.** APPA. 2017.

RIETOW, J.C.; AISSE, M.M.; BARÉA, L.C.; ANDREOLI, C.V.; POSSETTI, G.R.C. **Consolidação da tecnologia de reatores UASB no estado do Paraná para o tratamento de esgotos sanitários.** Eng Sanit Ambient [Internet]. 2023;28:e20220298. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220298>

SALAZAR, Bruno Lopes. **Desenvolvimento de funções de custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário**. 2010. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9ASKJC>>

SANTOS, Rubens Francisco; IRAZUSTRA, Sílvia Pierre; TEIXEIRA, Elisabeth Pelosi; DEGASPERI, Francisco Tadeu. **Abordagem Descentralizada Para Concepção de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico**. RETC - Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura. Edição 16ª, abril de 2015.

SCHWAB, Diego; GARCIA FREITAS, Carlos Cesar. **Tecnologia social: implicações e desafios da implantação**. Revista Tecnologia e Sociedade, vol. 12, núm. 26, septiembre-diciembre, 2016, pp. 42-60 Universidade Tecnológica Federal do Paraná Curitiba, Brasil.

SILVA, L. F. ; FERREIRA, S. R. M. **Solos colapsíveis, dispersivos e erodíveis em encostas da Região Metropolitana de Recife/PE**: da ocorrência a problemas associados. COBRANSEG, 2022. ISBN: 978-65-89463-30-6 Disponível em: <https://doi.org/10.4322/cobramseg.2022.0973>

SILVA, W. T. L.; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. Documentos 65. **Memorial descritivo: montagem e operação da fossa séptica biodigestora**. Embrapa Instrumentação. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. 27 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1081476/memorialdescritivo-montagem-e-operacao-da-fossasepticabiodigestora>>

SILVA, W. T. L. da. **Sistemas biológicos simplificados aplicados ao saneamento básico rural**. Separata de: NAIME, J. de M.; MATTOSO, L. H. C.; SILVA, W. T. L. da; CRUVINEL, P. E.; MARTIN-NETO, L.; CRESTANA, S. (Ed.). Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura. Brasília/DF. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1031073/sistemasbiologicos-simplificados-aplicados-ao-saneamento-basico-rural>>

TEIXEIRA, José. B. **Saneamento rural no Brasil: perspectivas**. Panorama do saneamento básico no Brasil. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

TONETTI, A. L. et al. 2018. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP. Biblioteca/Unicamp. 153 p.

THOUBANOUGLOUS, G.; LEVERENZ, H. 2013. Chapter 8. **The rationale for decentralization of wastewater infrastructure**. In: Larsen, T. A.; Udert, K. M; Lienert, J. "Source Separation and decentralization for wastewater management". IWA Publishing.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgoto: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias**. 4a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2014.

WSP- **WATER AND SANITATION PROGRAM**. World Bank. Report 2002-2003, 55 p. Índia, 2004.

# UNIVERSALIZAÇÃO DE COLETA E ENCAMINHAMENTO DOS ESGOTOS PARA TRATAMENTO EM ÁREAS IRREGULARES DA SUB-BACIA DO ALTO PIRAJUÇARA, AFLUENTE DO RIO PINHEIROS

*Data de submissão: 12/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Ramon Velloso de Oliveira**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de São Paulo – FESP (1993) e Tecnólogo de Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC (1988). Engenheiro Civil, Supervisor e Coordenador da Cobrape desde 1989.

### **Renato Cecílio de Faria**

Engenheiro Civil e Mecânico pela Faculdade de Engenharia Industrial de S.B.C (FEI). Coordenador de Contratos na Cobrape.

**RESUMO:** Ao longo das últimas décadas, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) vem sofrendo com problemas relacionados à ocupação urbana desordenada de seu território, onde se verificam a existência de bolsões de pobreza representados por aglomerações subnormais e loteamentos clandestinos e, conseqüentemente, a ausência de provisão de serviços públicos adequados. Este cenário pode ser observado na sub-bacia hidrográfica do Alto Pirajuçara (PI-03), afluente da margem esquerda do Rio Pinheiros, em que a ocupação nas áreas irregulares é densa

e desorganizada, dificultando o acesso às instalações de infraestrutura de saneamento básico, principalmente, nos fundos de vale, que, por sua vez, impacta na qualidade da água não somente do Córrego Pirajuçara, como também a jusante no Rio Pinheiros, devido ao aporte inadvertido de esgotos sanitários e resíduos sólidos diretamente aos corpos d'água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Universalização de coleta e encaminhamento de esgotos gerados em áreas irregulares.

## 1 | INTRODUÇÃO

A sub-bacia do Alto Pirajuçara, pertencente à bacia do Córrego Pirajuçara, possui uma área total de 34 km<sup>2</sup>, onde residem aproximadamente 586 mil de habitantes (SEADE, 2014) e abrange parcialmente os territórios dos municípios de São Paulo, Taboão da Serra e Embu das Artes. No que concerne à infraestrutura de saneamento básico, a sub-bacia possui cerca de 147 mil de economias ativas de água e 113 mil de economias ativas de esgoto. Em termos de vazão, são gerados 0,56 m<sup>3</sup>/s de esgoto, em que 0,41 m<sup>3</sup>/s

são coletados e 0,03 m<sup>3</sup>/s é tratado, remanescendo uma vazão de 0,53 m<sup>3</sup>/s de esgoto não encaminhado para tratamento (SABESP, 2019).

Com vistas à melhoria da qualidade ambiental da bacia do Rio Pinheiros, diversos programas foram e estão sendo desenvolvidos nos últimos anos, como o Projeto Tietê, considerado o maior programa de saneamento ambiental do país, e que, atualmente, encontra-se em sua 4ª etapa. Recentemente, a Sabesp implementou o Programa Novo Rio Pinheiros, voltado a execução de um conjunto diversificado de obras e intervenções em esgotamento sanitário, incluindo a implantação de Unidades de Recuperação (UR) de qualidade da água nos córregos afluentes, e que objetivam garantir a melhora da oxigenação e a redução da matéria orgânica no Rio Pinheiros.

Neste sentido, o presente estudo apresenta os métodos empregados para a captação e regularização das ligações de esgotos nas áreas de ocupação irregular na sub-bacia do Alto Pirajuçara.

## 2 | OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do presente trabalho é demonstrar os métodos utilizados para captação e regularização das ligações de esgoto em áreas de ocupação irregular na sub-bacia do Alto Pirajuçara (PI-03), afluente da margem esquerda do Rio Pinheiros.

O conjunto de intervenções considerado neste trabalho se baseia nas ações realizadas para a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), integrante do Programa Novo Rio Pinheiros.

As atividades de regularização das ligações de esgoto em áreas de alta vulnerabilidade social do Programa Novo Rio Pinheiros (Ação Pirajuçara), contemplaram as comunidades: Jd. Mitsutami, Jd. Maria Virgínia, Jd. Ana Maria 3, Jd. Iracema, Jd. Vazame, Jd. Rebouças, Jd. São Vicente, Jd. Vitória, Jd. Trianon, Jd. Ypê, Jd. Pirajussara, Vale das Virtudes, Jd. Portelinha, Jd. Leônidas Moreira, Jd. Vitória, Jd. Jurema, Jd. Vazame, Jd. Amália e ligações inativas nas UGR's Taboão, Embú e Butantã.



Figura 1: Mapa de Atuação em Áreas Irregulares

### 3 | METODOLOGIA UTILIZADA

Para a execução das obras de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara, que pertencem ao conjunto de obras do Programa Novo Rio Pinheiros, foram considerados os seguintes processos:

- Varredura de Anomalias: detecção de lançamentos clandestinos e anomalias no sistema de esgotamento – áreas irregulares
- Rede Coletoras de Esgoto
- Ligações de esgoto
- Ações comerciais
- Cadastro de Ligações e Redes

#### 3.1 Varredura e detecção de anomalias

A varredura e detecção de anomalias será elaborada a partir de serviços de campo para a sub- bacia escopo do presente trabalho que aponte os problemas existentes.

Inspeções de campo:

- Coletores tronco existentes
- Redes coletoras de esgotos existentes

- Pontos de lançamento das ligações de esgoto domiciliares
- Pontos de lançamento de águas pluviais domiciliares
- Identificação dos lançamentos de ramais condominiais e rede coletoras existentes
- Detalhamento preliminar de soluções
- Lançamentos clandestinos
- PVs e PIs cobertos.



### 3.2 Inspeção visual da rede coletora

Foram inspecionadas todas as singularidades e equipamentos (PV's, PI's, TL's) em elevatórias, sifões, coletores-tronco e redes coletoras, estas nos trechos de interceptação com os coletores-tronco e nos trechos mais críticos, mesmo que a montante, onde sejam observadas interrupção e/ou anormalidades no fluxo.

A inspeção tem o objetivo de fornecer as indicações necessárias para o complemento do diagnóstico do sistema coletor da sub-bacia, permitindo a identificação de problemas de origem estrutural, hidráulica, geométrica e/ou construtiva.



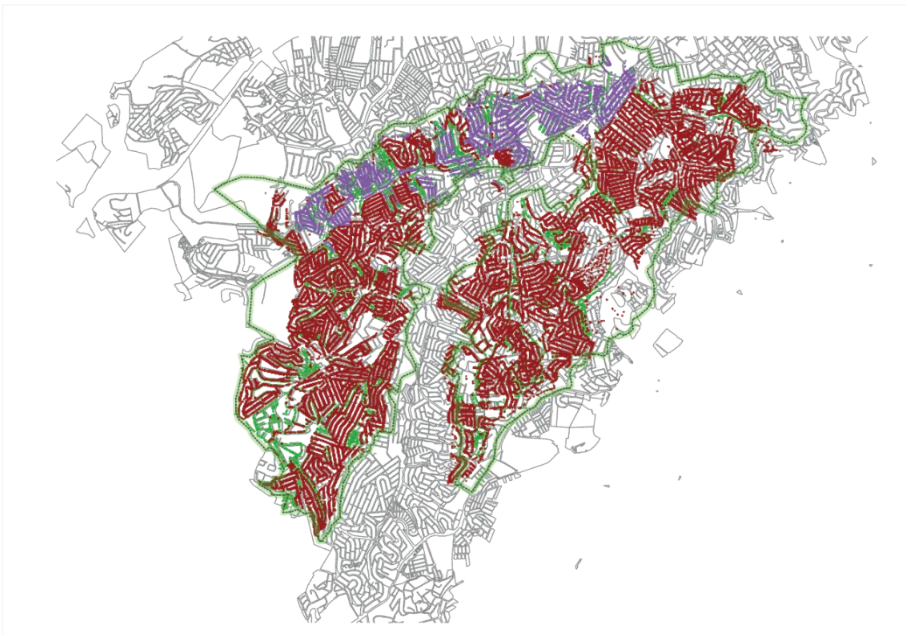


Figura 2: Identificação de Economias

### 3.3 Inspeção visual da galeria de águas pluviais

Inspeção de galerias, com o objetivo de complementar o serviço de inspeção das redes de esgotos e permitir a identificação de pontos de interligação com o sistema de esgotamento sanitário.





### 3.4 Identificação de lançamentos provisórios

A partir das inspeções visuais da rede coletora, das galerias de águas pluviais, testes de corante em rede coletora, foram analisados e definidos os pontos de ocorrência dos lançamentos em galerias pluviais e consequentemente em corpos d'água.

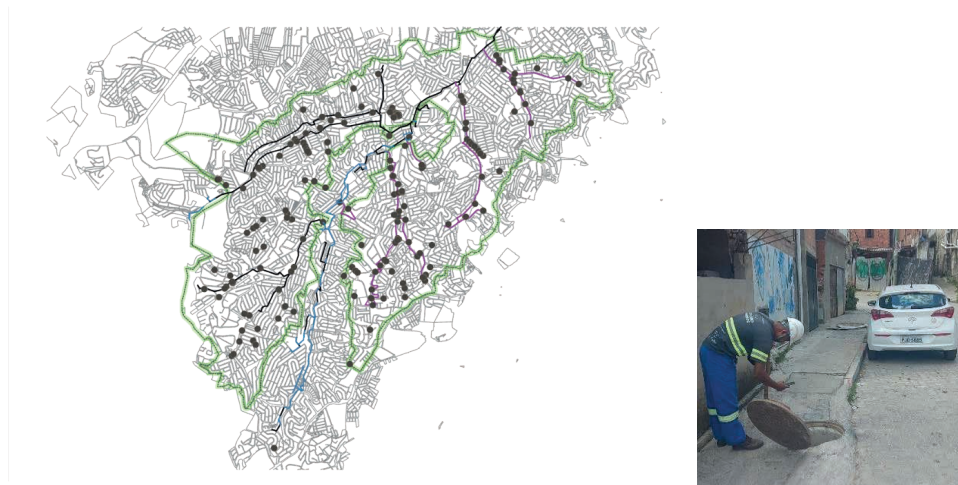


Figura 3: Lançamentos Provisórios

## 4 | PROJETOS: REDES COLETORAS EM ÁREAS IRREGULARES

Foram elaborados projetos de todas as intervenções realizadas no sistema de esgotamento da sub-bacia com a definição da metodologia construtiva e de seu detalhamento.



Figura 4: Estudo Preliminar – Rede Coletora em Fundo de Vale

## 5 | PROJETOS: CAPTAÇÃO DE ESGOTO EM TEMPO SECO

O sistema de captação de esgoto em regime de tempo seco foi utilizado em locais que não foi possível a realização de obras de infraestrutura convencional de coletores-tronco e/ou redes coletoras.

Esta solução objetiva o direcionamento da vazão de esgoto doméstico aportada irregularmente nos corpos d'água para o sistema de redes coletoras existentes em períodos que não ocorram precipitação. Utilizada estritamente para pequenas contribuições de esgotos domésticos.

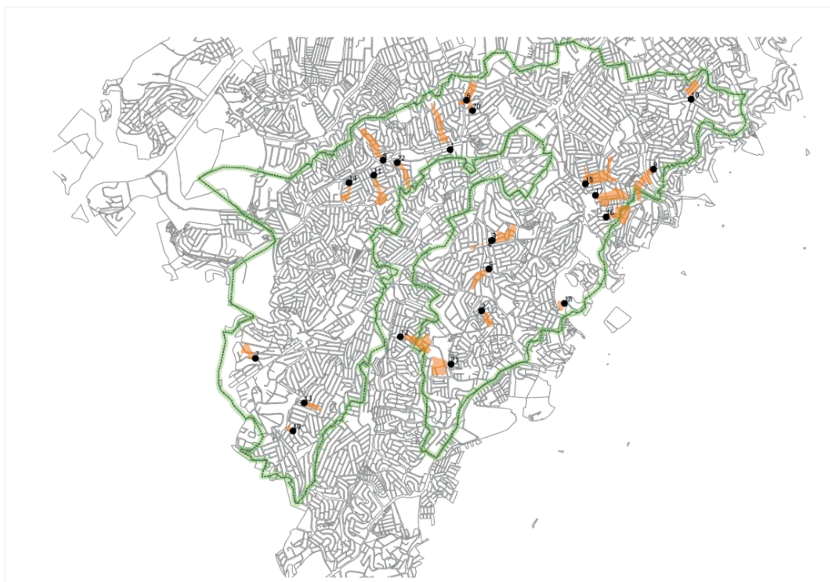
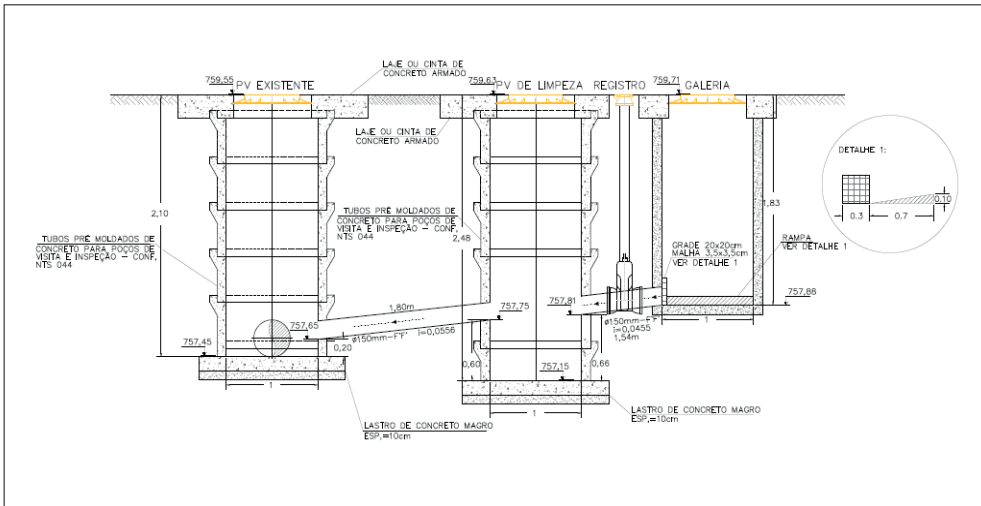


Figura 5: Pontos de Captação em Tempo Seco



Figura 6: Projeto de Captação em Tempo Seco



## 6 | EXECUÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTOS E RAMAIS



Obras civis para a implantação de redes coletoras e ramais

## 7 | RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

Com a finalização das obras de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara, os seguintes números foram obtidos:

### 7.1 Varredura

- Inspeção e Identificação de 234 km de redes existentes de esgoto, ramais coletivos particulares de coleta de esgoto, águas pluviais, poços de visita, pontos com redes de esgoto obstruídas, lançamentos existentes em córregos e gale-

rias de águas pluviais;

- Execução de testes de corante para identificação dos lançamentos de esgotos nas redes de águas pluviais, redes de esgotos e córregos;
- Varredura para identificação de economias com a impossibilidade da execução de ligação domiciliar de esgoto;
- Acompanhamento na execução de 12.422 m de rede de esgoto, 5.153 ligações de esgotos e captação de 3.580 economias por sistema de coleta tempo seco.
- Adesão e cadastramento comercial em 5.153 ligações;

## **7.2 Ações comerciais**

- Pesquisa, identificação e localização de 264 ligações inativas nas comunidades e entorno;
- Pesquisa, identificação e localização de 476 ligações novas nas comunidades e entorno;
- Elaboração de 5.153 Termos de Adesão ou Termos de Autorização das ligações domiciliares.

## **7.3 Cadastramento e adesão às ligações de esgoto**

- Execução de atualização de 3.910 economias;
- Levantamento de 2.552 dados das áreas de atuação por meio de Arrolamento.
- Execução do cadastramento de 5.153 ligações e redes contempladas pelas obras;
- Cadastramento das redes existentes constantes no Signos;
- 4.982 Atualizações cadastrais

## **7.4 Obras**

Com a finalização das obras de esgotamento sanitário nas áreas irregulares da sub-bacia do Alto Pirajuçara, os seguintes números foram obtidos:

- Rede Coletoras de Esgoto: 10.391,00 m;
- Ligações de Esgoto: 4.884 ligações;
- Total de Economias Captadas: 6.611 economias;
- Interligações: 16 unidades.
- Captação em Tempo Seco: 21 unidades



## 8 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

A execução das obras do sistema de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara contribuiu para o incremento de economias encaminhadas para tratamento na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barueri, passando de 7.749 economias em 2019 para 118.697 economias ao final das obras, em outubro/2022, incluindo as áreas regulares e as regiões em que não foi possível a realização de obras de infraestrutura convencional de coletores-tronco e/ou redes de esgoto.

A quantidade de economias conduzidas para tratamento reflete na qualidade das águas dos córregos estudados da sub-bacia do Alto Pirajuçara, onde foram observadas reduções das concentrações médias de DBO entre o período inicial do monitoramento, em setembro/2020, até o período atual, em outubro/2022.

Especificamente para as áreas irregulares, observa-se um aumento na qualidade das águas dos córregos, onde foram retiradas quase que na totalidade os lançamentos irregulares de esgotos.

As soluções técnicas adotadas podem ser consideradas como “provisórias”, mas para o cenário atual das áreas, onde, para uma solução definitiva, haveria a necessidade de uma urbanização total áreas. Desta forma, o sistema implantado reflete uma melhoria atual nas condições de moradia e qualidade de vida da população residente nestas áreas.

## 9 | CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

A efetivação das obras de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara é um marco importante para a contribuição da melhoria da qualidade ambiental da bacia do Rio Pinheiros, um dos mais importantes corpos hídricos da cidade de São Paulo.

O benefício para a população residente no entorno é enorme, uma vez que os esgotos gerados passam a ser coletados e encaminhados para tratamento por meio de um sistema de esgotamento sanitário, proporcionando uma melhor qualidade de vida e condições dignas de moradia.

Entretanto, vale reforçar a importância da manutenção adequada dos sistemas de esgotamento sanitário implantados ao longo do tempo, de modo a evitar alguma eventualidade ou anomalia que possa interferir na qualidade da água dos córregos afluentes ao Rio Pinheiros, como, por exemplo, o extravasamento e/ou rompimento da rede coletora de esgoto.

## REFERÊNCIAS

1. SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Projeto Tietê e Novo Rio Pinheiros. Votorantim:** Sabesp, 2019.
2. SEADE. **Projeção da população e dos domicílios para os municípios do estado de São Paulo – 2010-2050.** São Paulo SEADE, 2014.

**3. Edital TGD 02.878/19: Contratação Integrada para a Execução das Obras dos Coletores Tronco, incluindo Interligações, e Soluções para a Redução dos Níveis de DBO na Bacia de Esgotamento PI-03 – Alto Pirajuçara, Afluente do Rio Pinheiros, Vinculadas a Metas de Performance, Integrantes do Projeto de Despoluição do Rio Tietê – Etapa IV**

# UNIVERSALIZAÇÃO DE COLETA E ENCAMINHAMENTO DOS ESGOTOS PARA TRATAMENTO EM ÁREAS REGULARES E A SUA INFLUÊNCIA NA MELHORIA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS CORPOS HÍDRICOS DA SUB-BACIA DO ALTO PIRAJUÇARA, AFLUENTE DO RIO PINHEIROS

*Data de submissão: 12/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Ramon Velloso de Oliveira**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de São Paulo – FESP (1993) e Tecnólogo de Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC (1988). Engenheiro Civil, Supervisor e Coordenador da Cobrape desde 1989.

### **Renato Cecílio de Faria**

Engenheiro Civil e Mecânico pela Faculdade de Engenharia Industrial de S.B.C (FEI). Coordenador de Contratos na Cobrape.

### **Carolina Harue Nakamura**

Engenheira Química pela Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia (EEM/IMT). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEB/UNESP). Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental na FEB/UNESP. Engenheira na Cobrape.

bacia do Rio Pinheiros vem contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental de seu entorno, sendo este um dos principais escopos do Programa Novo Pinheiros. Especificamente para a sub-bacia do Alto Pirajuçara, pertencente à bacia do Córrego Pirajuçara, afluyente da margem esquerda do Rio Pinheiros, foram desenvolvidas diversas intervenções para a captação dos esgotos domésticos gerados nas áreas de ocupação regular, para posterior encaminhamento à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barueri. Dentre as obras realizadas estão a execução de coletores-tronco e interligações, redes coletoras de esgoto, ligações de esgoto e sistemas de coleta em tempo seco (SCTS). Com isso, houve incremento de economias encaminhadas para tratamento, passando de 7.749 em 2019 para 118.697 ao final das obras em 2022, incluindo as economias captadas pelos SCTS. O resultado é a melhora na qualidade da água dos córregos afluentes do Córrego Pirajuçara, corroborado pelas médias ponderadas do parâmetro DBO observadas desde o início do monitoramento (147,0 mg/L) até o mês de fevereiro/2023 (14,9 mg/L), atendendo a meta estabelecida pela Sabesp para a fase de apuração de performance, que é de

**RESUMO:** A execução de um conjunto de obras e intervenções de esgotamento sanitário nas sub-bacias que compõem a

75 mg DBO/L. Assim, é possível concluir a importância de investimento em infraestrutura de saneamento básico nas regiões periféricas das cidades, proporcionando uma melhor qualidade de vida e condições dignas de moradia para a população beneficiada, além da melhoria na qualidade ambiental das águas de um dos principais corpos hídricos da cidade de São Paulo. Enfatiza-se também que a manutenção das obras implementadas é fundamental para que os benefícios conquistados sejam contínuos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgotamento sanitário, SCTS, DBO, melhoria da qualidade da água, Pirajuçara.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) vem sofrendo com problemas relacionados à ocupação urbana desordenada de seu território, onde se verificam a existência de bolsões de pobreza representados por aglomerações subnormais e loteamentos clandestinos e, conseqüentemente, a ausência de provisão de serviços públicos adequados. Este cenário pode ser observado na sub-bacia hidrográfica do Alto Pirajuçara (PI-03), afluente da margem esquerda do Rio Pinheiros, em que a ocupação nas áreas irregulares é densa e desorganizada, dificultando o acesso às instalações de infraestrutura de saneamento básico, principalmente, nos fundos de vale, que, por sua vez, impacta na qualidade da água não somente do Córrego Pirajuçara, como também a jusante no Rio Pinheiros, devido ao aporte inadvertido de esgotos sanitários e resíduos sólidos diretamente aos corpos d'água.

A sub-bacia do Alto Pirajuçara, pertencente à bacia do Córrego Pirajuçara, possui uma área total de 34 km<sup>2</sup>, onde residem aproximadamente 586 mil de habitantes (SEADE, 2014) e abrange parcialmente os territórios dos municípios de São Paulo, Taboão da Serra e Embu das Artes. No que concerne à infraestrutura de saneamento básico, a sub-bacia possui cerca de 147 mil de economias ativas de água e 113 mil de economias ativas de esgoto. Em termos de vazão, são gerados 0,56 m<sup>3</sup>/s de esgoto, em que 0,41 m<sup>3</sup>/s são coletados e 0,03 m<sup>3</sup>/s é tratado, remanescendo uma vazão de 0,53 m<sup>3</sup>/s de esgoto não encaminhado para tratamento (SABESP, 2019).

Com vistas à melhoria da qualidade ambiental da bacia do Rio Pinheiros, diversos programas foram e estão sendo desenvolvidos nos últimos anos, como o Projeto Tietê, considerado o maior programa de saneamento ambiental do país, e que, atualmente, encontra-se em sua 4ª etapa. Recentemente, a Sabesp implementou o Programa Novo Rio Pinheiros, voltado a execução de um conjunto diversificado de obras e intervenções em esgotamento sanitário, incluindo a implantação de Unidades de Recuperação (UR) de qualidade da água nos córregos afluentes, e que objetivam garantir a melhora da oxigenação e a redução da matéria orgânica no Rio Pinheiros.

Neste sentido, o presente estudo apresenta os métodos empregados para a captação e regularização das ligações de esgotos nas áreas de ocupação regular na sub-



bacia do Alto Pirajuçara, e da avaliação do impacto das obras sob a qualidade da água de cinco corpos hídricos que contribuem diretamente ao Córrego Pirajuçara na sub-bacia do Alto Pirajuçara.

## **2 | MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho foi conduzido em duas etapas: (i) obras estruturantes e intervenções de esgotamento sanitário; e (ii) monitoramento da qualidade da água nos afluentes do Córrego Pirajuçara pertencentes à sub-bacia hidrográfica do Alto Pirajuçara.

### **2.1 Obras Estruturantes e Intervenções de Esgotamento Sanitário**

Para a execução das obras estruturantes de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara, que pertencem ao conjunto de obras do Programa Novo Rio Pinheiros, foram considerados os seguintes processos como escopo obrigatório:

- Execução de 27.496 metros de coletores-tronco e interligações;
- Execução de 9.152 metros de redes de esgoto;
- Execução de 202 interligações existentes;
- 1 Estação Elevatória de Esgoto / DIP;
- Instalação de 12 Sistemas de Coleta em Tempo Seco;
- 175 km de Varredura de Anomalias

#### **a) Coletores-tronco e Interligações**

As obras dos coletores-tronco foram projetadas com o objetivo de captar o esgoto lançado nos principais córregos da sub-bacia do Alto Pirajuçara, apresentando as seguintes denominações, que denotam as suas localidades:

- Coletor-tronco Diniz;
- Coletor-tronco Engenho;
- Coletor-tronco Engenho secundário;
- Coletor-tronco Catanduva;
- Coletor-tronco Olarias;
- Coletor-tronco Olarias Montante;
- Coletor-tronco Jorge Arida;
- Coletor-tronco Januário.

Os coletores-tronco e as interligações foram implementados por diversos processos executivos, sendo eles: método não destrutivo (MND), através de tubo cravado e horizontal directional drilling (HDD) ou furo direcional; e método com abertura a céu aberto (VCA) e furo direcional.

A Figura 1 apresenta o caminhamento de um dos coletores-tronco executados no entorno de um dos córregos abrangidos por este projeto. Já nas Figuras 2 a 5 estão ilustrados os métodos construtivos adotados para a consecução das obras estruturantes.

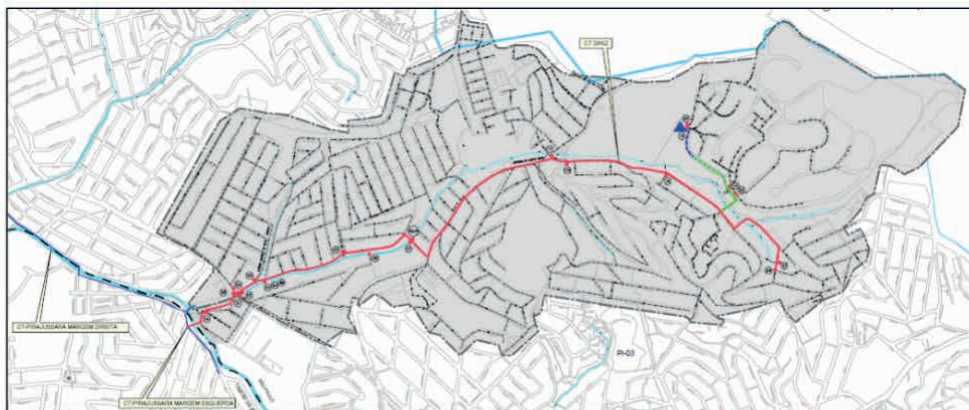


Figura 1: Caminhamento do coletor-tronco Diniz



Figura 2: Instalação do Shield, processo Tubo Cravado



Figura 3: Cravação do tubo de concreto



Figura 4: Processo Furo Direcional HDD



Figura 5: Escavação de Vala Processo VCA

### **b) Execução de interligações**

A eliminação de lançamentos de esgoto efetuados nos leitos naturais nos corpos d'água e em galerias de águas pluviais ocorreu por meio das obras de 202 interligações ao sistema de esgotamento sanitário existente na sub-bacia do Alto Pirajuçara.

Essas obras foram realizadas através de dois processos executivos: o HDD e o VCA.

### **c) DIP – Sistema de bombeamento direto em linha para efluente bruto**

O DIP, que é um sistema de bombeamento direto em linha para efluente bruto, é formado por um conjunto de motobombas com corpo duplo, composta de duas volutas e dois motores, em que a sucção é realizada diretamente na linha para esgoto, e são montadas em um corpo único com válvulas e instrumentos. Uma das volutas funciona como bomba principal, e a outra como reserva, porém podem operar simultaneamente caso ocorra uma demanda de vazão superior à nominal.

O DIP possui um painel de controle e proteção, que foi montado separadamente e contém um inversor de frequência para cada bomba e dispositivo de telemetria para monitoramento remoto via computador/Smartphone/Tablet. Em cada DIP implementado, foram montadas as Interface Homem-Máquina (IHMs) dos inversores de frequência e botão de emergência na porta. O controle do equipamento é feito pelos inversores de frequência, que se comunicam entre si, a partir dos dados coletados pelo transmissor de nível.

As especificações das bombas instaladas são:

- Modelo: bomba SBL – 1310 – 4 polos – 30 HP (22 kw).
- Vazão: 41,58 L/s
- Altura manométrica: 16,87 mcs
- Tensão de trabalho: 220 V

A Figura 6 mostra a bomba DIP instalada no córrego do Engenho.

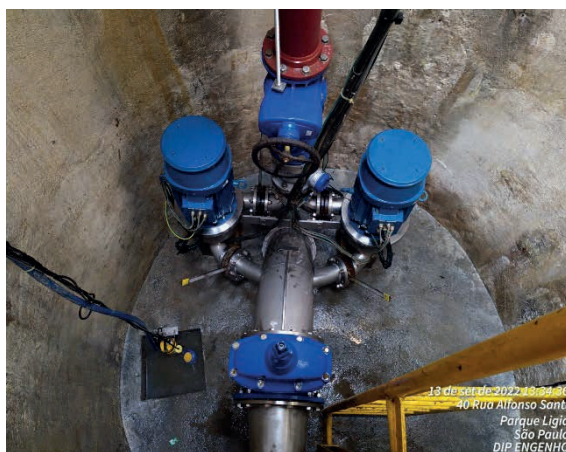


Figura 6: DIP Engenho

#### **d) Instalação de Sistema de Coleta de Tempo Seco (SCTS)**

Os sistemas de coleta em regime de tempo seco (SCTS) captam determinado volume de esgoto a fim de encaminhá-lo à estação de tratamento como solução alternativa onde não é possível executar infraestrutura convencional de coletores e/ou redes, sob determinadas condições urbanas, em especial quando da ocupação inadequada de fundos de vale, onde há limitações para a implantação.

O perfil dos SCTS construídos na sub-bacia do Alto Pirajuçara está ilustrado na Figura 7, onde é possível observar o fluxo de escoamento do esgoto coletado na galeria existente, passando pelo poço de visita (PV) de limpeza até chegar ao coletor existente.



# PERFIL

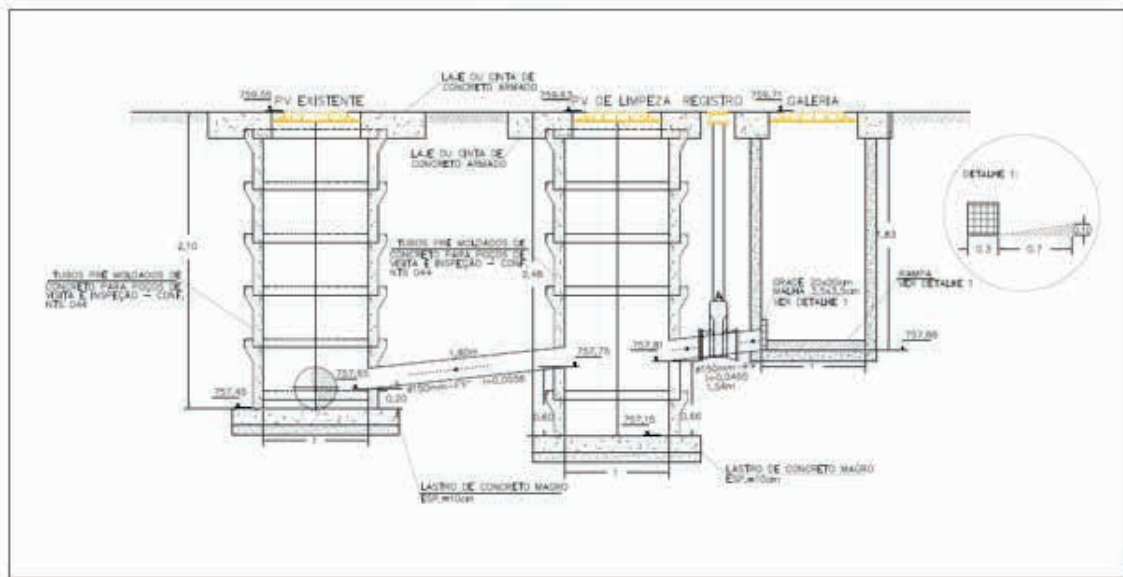


Figura 7: Desenho do Sistema de Captação Tempo Seco

Na sub-bacia do Alto Pirajuçara, 21 localidades foram beneficiadas com os SCTS, conforme apresenta a Tabela 1, cujos esgotos aportam diretamente para cinco córregos escopos deste trabalho, ou seja, Olarias, Diniz, Joaquim Cachoeira, Engenho e Nova República.

| SCTS | Nome                          | Endereço                                 | Município       | Córrego           |
|------|-------------------------------|------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| 1    | Av Arlindo Genário de Freitas | Av Arlindo Genário de Freitas, 29        | Taboão da Serra | Joaquim Cachoeira |
| 2    | Rua José de Maistre           | R. José de Maistre, 400                  | São Paulo       | Engenho           |
| 3    | Rua Vitoriano de Oliveira LD  | Rua Vitoriano de Oliveira, 203 A         | São Paulo       | Engenho           |
| 4    | Rua Vitoriano de Oliveira LE  | Rua Vitoriano de Oliveira, 203 A         | São Paulo       | Engenho           |
| 5    | Rua Abilheira                 | Rua Vitoriano de Oliveira, 30            | São Paulo       | Engenho           |
| 6    | Rua Virginia P. da Conceição  | Rua Virginia Placidina da Conceição, 278 | Taboão da Serra | Joaquim Cachoeira |
| 7    | Lançamento MT91               | Rua São Raimundo, 39                     | Embu das Artes  | Nova República    |
| 8    | Rua Rodrigues Alves           | R. Rodrigues Alves, 279                  | Taboão da Serra | Joaquim Cachoeira |
| 9    | Rua Caio Graco                | R. Caio Graco da Silva Prado, 186        | São Paulo       | Olaria            |
| 10   | Rua Andrea de Firenze         | Rua Andrea de Firenze, 73                | São Paulo       | Olaria            |
| 11   | Rua Santo Antonio             | Rua Santo Antonio, 17                    | Taboão da Serra | Joaquim Cachoeira |

|    |                    |                                                 |                 |                   |
|----|--------------------|-------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| 12 | Lançamento 327     | Rua Agostinho de Paiva, 1036                    | São Paulo       | -                 |
| 13 | Rua Paranaíba      | Rua Paranaíba, 07                               | Embu das Artes  | Nova República    |
| 14 | Lançamento 201B    | R. Santo Antero Pôrto Martins, 51               | Taboão da Serra | Joaquim Cachoeira |
| 15 | Lançamento 275     | Vielas Rua Luiz Paulucci Neto                   | São Paulo       | Diniz             |
| 16 | Galeria SLR_SP_056 | Rua Luis de Morales x Rua José Teixeira Barreto | São Paulo       | Diniz             |
| 17 | Lançamento 272A    | Vielas João Miguel Fernandes Coelho             | São Paulo       | Diniz             |
| 18 | Galeria SLR_SP_025 | Comunidade Capelinha                            | São Paulo       | Diniz             |
| 19 | Galeria SLR_SP_045 | Rua Botucatu, 134 - Viela                       | Embu das Artes  | Nova República    |
| 20 | Lançamento 165     | Av. Laurita Ortega Mari, 1781                   | Taboão da Serra | Joaquim Cachoeira |
| 21 | Lançamento 326     | Rua Ana Aslan, 65                               | São Paulo       | Engenho           |

Tabela 1: Localidades dos SCTS implementados

A Figura 8 mostra a construção e a obra finalizada do SCTS 21, localizado na Rua Ana Aslan, no município de São Paulo.



Figura 8: SCTS 21 na Rua Ana Aslan

#### e) Varredura de Anomalias

As atividades de varredura para identificação de anomalias no sistema de coleta e afastamento de esgotos, identificação de ligações a serem executadas e regularizadas, e acompanhamento das obras foram desenvolvidas em áreas de alta vulnerabilidade social pelo Programa Novo Rio Pinheiros (Ação Alto Pirajuçara).

O trabalho de varredura de inspeção e identificação de anomalias, lançamentos irregulares, foi executado em quatro frentes, a saber:

- Se Liga na Rede (SLR);
- Captação de Tempo Seco (CTS);

- Ligações Avulsas;
- Detecção de Anomalias, sendo esta frente o escopo do presente trabalho.

Com o mapeamento das redes cadastradas da Sabesp, as equipes de varredura de detecção anomalias percorreram 234 km de redes de esgoto, com o objetivo de comprovar o destino do esgotamento apontado em cadastro fazendo uso de corantes.

Estas equipes foram responsáveis pela detecção de 23 lançamentos não previstos no escopo do contrato, gerando uma captação de 8.202 economias além do previsto inicialmente.

### 3 | MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A efetividade da implementação das infraestruturas de esgotamento sanitário sob a qualidade das águas dos afluentes do Córrego Pirajuçara está sendo verificada por meio do monitoramento da qualidade da água em cinco pontos alocados nos córregos Olarias, Diniz, Joaquim Cachoeira, Engenho e Nova República, cujas informações estão apresentadas na Tabela 2.

| Ponto de Monitoramento | Córrego           | Município       | Latitude  | Longitude | Área de contribuição (km <sup>2</sup> ) |
|------------------------|-------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------------------------------------|
| TD-06                  | Olarias           | São Paulo       | -23,62342 | -46,76355 | 2,73                                    |
| TD-07                  | Diniz             | São Paulo       | -23,62910 | -46,76950 | 2,71                                    |
| TD-08                  | Joaquim Cachoeira | Taboão da Serra | -23,63384 | -46,78093 | 4,24                                    |
| TD-09                  | Engenho           | São Paulo       | -23,63798 | -46,78135 | 3,43                                    |
| TD-10                  | Nova República    | Embu das Artes  | -23,64828 | -46,79455 | 5,07                                    |

Tabela 2: Dados sobre os pontos de monitoramento

O monitoramento foi iniciado no decorrer da execução das obras de esgotamento sanitário, em setembro/2020, e está em andamento durante a fase pós-obra, ou seja, fase de apuração de performance do Programa Novo Rio Pinheiros. A frequência da coleta das amostras de água é semanal, no período da manhã, e seguem as recomendações de ANA & CETESB (2011) e APHA et al. (2017). As amostras são encaminhadas e analisadas em laboratório acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

O parâmetro selecionado para análise da qualidade da água é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), em que é considerada a média ponderada dos resultados semanais de cada ponto de monitoramento, com o intuito de verificar o atingimento da meta estabelecida pela Sabesp ( $DBO \leq 75$  mg/L) para a fase de apuração de performance do Programa Novo Rio Pinheiros. A média ponderada dos cinco pontos de monitoramento é determinada pela Equação 1:

$$DBO_{ponderada} = S (DBO_i \times A_i) / \sum A_i \quad \text{equação (1)}$$

onde:

$DBO_{ponderada}$  = média mensal ponderada de DBO dos cinco pontos de monitoramento (mg.L-1)

$DBO_i$  = concentração média de DBO no ponto de monitoramento  $i$  (mg.L-1)

$A_i$  = área de contribuição do ponto de monitoramento  $i$  (km<sup>2</sup>)

## 4 | RESULTADOS

Os resultados deste trabalho são apresentados conforme as etapas apresentadas em Materiais e Métodos, ou seja, obras estruturantes e intervenções de esgotamento sanitário e monitoramento da qualidade da água nos afluentes do Córrego Pirajuçara.

### 4.1 Obras Estruturantes e Intervenções de Esgotamento Sanitário

Com a finalização das obras de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara, os seguintes números foram obtidos:

- Coletores Tronco e Interligações: 30.014 m;
- Rede Coletoras de Esgoto: 12.422 m;
- Ligações de Esgoto: 5.153 ligações;
- Sistemas de Coleta em Tempo Seco: 21 SCTS;
- Varredura de Anomalias: 234 km;
- Total de Economias Captadas: 118.697 economias.

A execução das obras do sistema de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara contribuiu para o incremento de economias encaminhadas para tratamento na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barueri, passando de 7.749 economias em 2019 para 118.697 economias ao final das obras, em outubro/2022, incluindo as economias captadas pela solução alternativa implementada – sistema de captação em tempo seco (SCTS) – nas regiões em que não foi possível a realização de obras de infraestrutura convencional de coletores-tronco e/ou redes de esgoto.

Na Tabela 3 estão apresentados o quantitativo das obras de interligações executadas e o número de economias captadas para tratamento, enquanto na Tabela 4 estão apresentados o quantitativo das obras extras de interligações executadas, detectadas pelas equipes de Varredura de anomalias, e o número de economias captadas para tratamento.



| <b>Interligação</b>                                                     | <b>Economias captadas</b> |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Int-Catanduva 01 e 02 (236)                                             | 6.547                     |
| Int-Catanduva-03 (235)                                                  | 816                       |
| Int-CTS Eng-01 (225/308/308A)                                           | 1.586                     |
| Int-CTS Eng-02 (307)                                                    | 44                        |
| Int-CTS Eng-03/04 (305/306/401)                                         | 1.887                     |
| Int-CTS-Eng-05 (297A/298)                                               | 633                       |
| Int-CTS Eng-06 (296)                                                    | 677                       |
| Int-CTS-Eng-07 (297)                                                    | 1.685                     |
| Int-CTS Eng-08 (295)                                                    | 47                        |
| Int-CTS Eng-09 (403)                                                    | 1.107                     |
| Int-CTS Eng-10 (334)                                                    | 287                       |
| Int-CTS Eng-11 (332)                                                    | 44                        |
| Int-Eng Sec-12 (323B/323A/402A/331/402)                                 | 1.089                     |
| Int-Diniz-01 (225)                                                      | 334                       |
| Int-Diniz-02/03/04/04A - (226)                                          | 1.297                     |
| Int-Diniz-05 (224L)                                                     | 101                       |
| Int-Diniz-06 (223)                                                      | 809                       |
| Int-Diniz-07 (222)                                                      | 1.121                     |
| Int-Diniz-08 (221)                                                      | 99                        |
| Int-Diniz-09 (406)                                                      | 32                        |
| Int-Diniz-10/11 (267A)                                                  | 782                       |
| Int-Diniz-12 (267)                                                      | 1.948                     |
| Int-Diniz-14 (273A)                                                     | 1.678                     |
| Int-Diniz-15 (268 – 273 – 270- 270A - 270B)                             | 2.627                     |
| Int-Diniz PV16 (271 / 272 / 272A / 274 / 275 / 275A / 276 / 278 / 278A) | 5.906                     |
| Int-Eng-01 (264)                                                        | 325                       |
| Int-Eng-02 (263)                                                        | 320                       |
| Int-Eng-03 (262)                                                        | 349                       |
| Int-Eng-04 (260/261)                                                    | 394                       |
| Int-Eng-05 (256)                                                        | 900                       |
| Int-Eng-06 (257)                                                        | 964                       |
| Int-Eng-07 (259/TG-37)                                                  | 297                       |
| Int-Eng-08 (309)                                                        | 425                       |
| Int-Eng-09 (304)                                                        | 152                       |
| Int-Eng-10/10A/12 (302/303)                                             | 489                       |
| Int-Eng-13/11/14 (301)                                                  | 564                       |
| Int-Eng-15 (293B)                                                       | 0                         |
| Int-Eng-16 (293)                                                        | 941                       |
| Int-Eng-17 (293A)                                                       | 443                       |

| <b>Interligação</b>                | <b>Economias captadas</b> |
|------------------------------------|---------------------------|
| Int-Eng-18 E 15 (292)              | 87                        |
| Int-Eng-19 E 20 (291)              | 598                       |
| Int-Eng-21 (323)                   | 199                       |
| Int-Eng-22 (325)                   | 279                       |
| Int -1- DIP- Eng (288)             | 21                        |
| Int -2- DIP- Eng (322)             | 109                       |
| Int -3- DIP- Eng (321)             | 1.436                     |
| Int -4- DIP- Eng (324)             | 116                       |
| Int -5- DIP- Eng (289)             | 238                       |
| Int-Jan-01 (265)                   | 206                       |
| Int- Jan -02 (265A)                | 19                        |
| Int- Jan -03 (265B)                | 477                       |
| Int- Jan -03 (265C)                | 0                         |
| PV-11 do coletor (265D)            | 466                       |
| Int-Jorge Arida-01 (TG-38)         | 1.617                     |
| CT Olarias Montante PV-01 (MT46)   | 713                       |
| Int- Olarias Montante -02- (MT45)  | 4.392                     |
| Int- Olarias Montante -03- (MT48)  | 210                       |
| Int- Olarias Montante -04- (400)   | 195                       |
| PV21 - Olarias Montante (400A)     | 461                       |
| Int-Olarias-01 (MT39/MT40/MT38)    | 1.105                     |
| Int-Olarias-02 (MT44)              | 674                       |
| Int-Olarias-03 (MT42/MT43/237/234) | 512                       |
| Int-Olarias-04 (MT47-238)          | 2.036                     |
| <b>Total</b>                       | <b>55.812</b>             |

Tabela 3: Interligações de esgoto resultantes e as economias captadas para tratamento

| <b>Interligação Extra Escopo</b>     | <b>Economias captadas</b> |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Extra Escopo - Área de Inspeção 02   | 1.642                     |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 08   | 612                       |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 40   | 1.155                     |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 31.2 | 102                       |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 21   | 787                       |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 09   | 324                       |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 24   | 508                       |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 45   | 90                        |
| Extra Escopo - Rua Oregon            | 113                       |
| Extra Escopo - Av João Paulo I       | 1.147                     |
| Extra Escopo - Inspeção 70           | 644                       |

|                                                                  |              |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| Extra Escopo - Área de Inspeção 13                               | 248          |
| Extra Escopo - Área de Inspeção 33                               | 464          |
| Extensão de Rede – Chico Nunes                                   | 31           |
| Extensão de Rede – Armando Erse Figueredo/Estrada do Campo Limpo | 15           |
| Extensão de Rede – Carlos Lacerda/Nainpur                        | 70           |
| Extensão de Rede – Estrada das Olarias                           | 27           |
| Extensão de Rede – Jd. Macedonia                                 | 15           |
| Extensão de Rede – Laurita Ortega                                | 97           |
| Extensão de Rede – Maria Henriqueta L. Batista                   | 67           |
| Extensão de Rede – Viela Adriano Felix                           | 6            |
| Extensão de Rede – Vila São José                                 | 33           |
| Extensão de Rede – Rua Francisco Peixoto                         | 5            |
| <b>Total</b>                                                     | <b>8.202</b> |

Tabela 4: Interligações Extra Escopo de esgoto detectadas pelas Equipes de Varredura de Anomalias

Na Tabela 5 estão mostradas as localidades onde foram implementados os SCTS e a quantidade de economias captadas para tratamento.

| <b>SCTS</b> | <b>Nome</b>                   | <b>Município</b> | <b>Córrego</b>    | <b>Economias captadas</b> |
|-------------|-------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|
| 1           | Av Arlindo Genário de Freitas | Taboão da Serra  | Joaquim Cachoeira | 543                       |
| 2           | Rua José de Maistre           | São Paulo        | Engenho           | 242                       |
| 3           | Rua Vitoriano de Oliveira LD  | São Paulo        | Engenho           | 337                       |
| 4           | Rua Vitoriano de Oliveira LE  | São Paulo        | Engenho           | 0                         |
| 5           | Rua Abilheira                 | São Paulo        | Engenho           | 215                       |
| 6           | Rua Virginia P.da Conceição   | Taboão da Serra  | Joaquim Cachoeira | 0                         |
| 7           | Lançamento MT91               | Embu das Artes   | Nova República    | 249                       |
| 8           | Rua Rodrigues Alves           | Taboão da Serra  | Joaquim Cachoeira | 373                       |
| 9           | Rua Caio Graco                | São Paulo        | Olaria            | 424                       |
| 10          | Rua Andrea de Firenze         | São Paulo        | Olaria            | 295                       |
| 11          | Rua Santo Antonio             | Taboão da Serra  | Joaquim Cachoeira | 140                       |
| 12          | Lançamento 327                | São Paulo        | -                 | 414                       |
| 13          | Rua Paranaíba                 | Embu das Artes   | Nova República    | 224                       |
| 14          | Lançamento 201B               | Taboão da Serra  | Joaquim Cachoeira | 161                       |
| 15          | Lançamento 275                | São Paulo        | Diniz             | 299                       |
| 16          | Galeria SLR_SP_056            | São Paulo        | Diniz             | 416                       |

|    |                    |                 |                   |     |
|----|--------------------|-----------------|-------------------|-----|
| 17 | Lançamento 272A    | São Paulo       | Diniz             | 231 |
| 18 | Galeria SLR_SP_025 | São Paulo       | Diniz             | 282 |
| 19 | Galeria SLR_SP_045 | Embu das Artes  | Nova República    | 236 |
| 20 | Lançamento 165     | Taboão da Serra | Joaquim Cachoeira | 849 |
| 21 | Lançamento 326     | São Paulo       | Engenho           | 407 |

Tabela 5: Quantitativo de economias captadas para tratamento pelos SCTS

## 4.2 Monitoramento da qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água possibilita avaliar a situação qualitativa dos corpos hídricos nas regiões que foram beneficiadas com as obras de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara. Os primeiros resultados obtidos em setembro/2020, período em que as obras estavam em andamento, observa-se que as concentrações médias mensais de DBO eram superiores à 130 mg/L, evidenciando o aporte de esgoto doméstico in natura diretamente nos cursos d'água estudados. À medida que os esgotos domésticos fossem conduzidos para tratamento através da infraestrutura de esgotamento sanitário implementada, as condições da qualidade da água dos córregos estudados começaram a melhorar, apresentando concentrações médias de DBO inferiores à 25 mg/L em fevereiro/2023, como ilustrado na Figura 9.

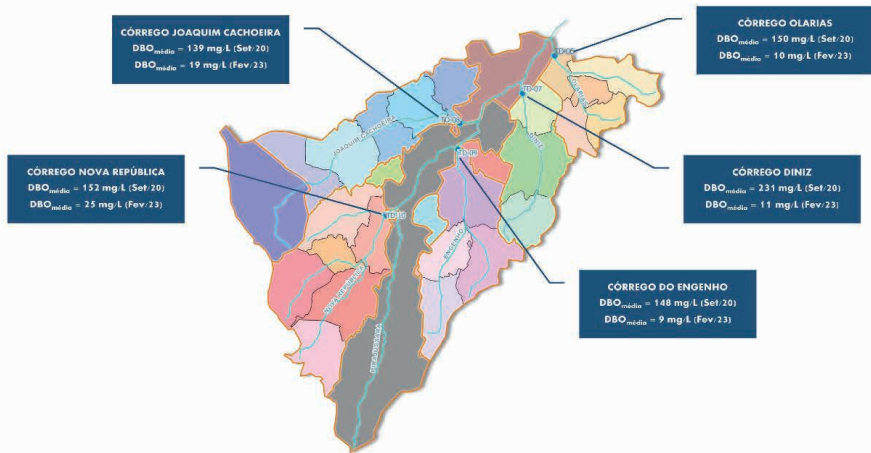


Figura 9: Concentração de DBO nos pontos de monitoramento ao longo do tempo

Comparando-se os resultados do início do monitoramento até os dias atuais, observa-se que no Córrego Diniz, por exemplo, a concentração média de DBO diminuiu

em 95%, nos córregos Olarias e do Engenho, a redução foi de 93%, no Córrego Joaquim Cachoeira, o decréscimo foi de 86%, e no Córrego Nova República, a redução foi de 84%. A Figura 10 corrobora com a esta situação descrita, em que é possível verificar visualmente as condições qualitativas do Córrego Joaquim Cachoeira (TD-08) em setembro/2020 e fevereiro/2023. No mês de setembro/2020 (à esquerda da Figura 10), a água do córrego está visivelmente turva e barrenta, enquanto no mês de fevereiro/2023 (à direita da Figura 10), a água está transparente, possibilitando enxergar o fundo do corpo hídrico.



Figura 10: Comparação visual da água no Córrego Joaquim Cachoeira (TD-08) - Set/2020 e Fev/2023

As reduções das concentrações nos pontos de monitoramento refletem positivamente na média ponderada de DBO, indicador de performance estabelecido pela Sabesp, que envolve a média mensal dos cinco pontos de monitoramento e suas respectivas áreas de contribuição, que também decresceu no período analisado, como pode ser visualizado na Figura 11. Em setembro/2020, a média foi de 147 mg/L e, com o aumento de economias de esgoto sendo encaminhadas para tratamento, em fevereiro/2023, a média de DBO passou para 15 mg/L, valor este 80% menor que a meta estabelecida para a fase de apuração da performance de DBO ( $\leq 75$  mg/L).

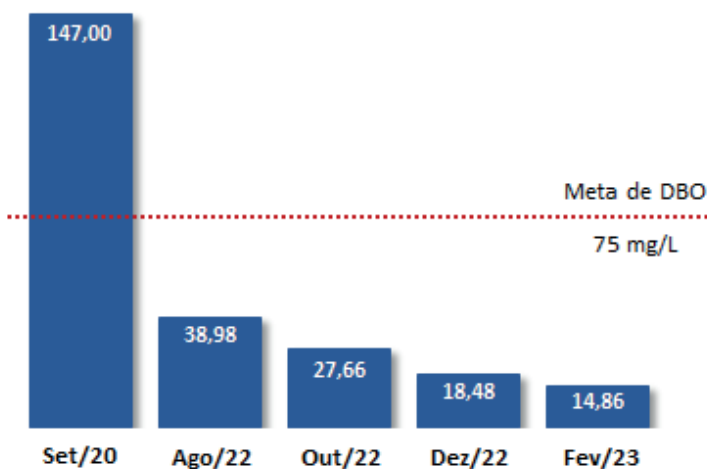


Figura 11: Média ponderada de DBO dos cinco pontos de monitoramento

## 5 | CONCLUSÕES

A efetivação das obras de esgotamento sanitário na sub-bacia do Alto Pirajuçara é um marco importante para a contribuição da melhoria da qualidade ambiental da bacia do Rio Pinheiros, um dos mais importantes corpos hídricos da cidade de São Paulo.

O benefício para a população residente no entorno é enorme, uma vez que os esgotos gerados passam a ser coletados e encaminhados para tratamento por meio de um sistema de esgotamento sanitário, proporcionando uma melhor qualidade de vida e condições dignas de moradia.

Outra consequência benéfica é a melhoria da qualidade das águas dos córregos afluentes ao Rio Pinheiros, evidenciada pela redução das concentrações de DBO observadas durante o período de implantação e finalização das obras de esgotamento e, consequente, redução da carga orgânica aportada aos corpos hídricos, promovendo a melhora da oxigenação nas águas e devolvendo, aos poucos, a sua vida aquática.

Entretanto, vale reforçar a importância da manutenção adequada dos sistemas de esgotamento sanitário implantados ao longo do tempo, de modo a evitar alguma eventualidade ou anomalia que possa interferir na qualidade da água dos córregos afluentes ao Rio Pinheiros, como, por exemplo, o extravasamento e/ou rompimento da rede coletora de esgoto.

## REFERÊNCIAS

1. ANA (Agência Nacional de Águas); CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011.

2. APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard methods for examination of water and wastewater**. 23rd ed. Washington, DC: APHA Press, 2017.
3. SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). **Projeto Tietê e Novo Rio Pinheiros**. Votorantim: Sabesp, 2019.
4. SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados). **Projeção da população e dos domicílios para os municípios do estado de São Paulo – 2010-2050**. São Paulo: SEADE, 2014.

# GESTÃO INTEGRADA DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Melissa Seixas Lima Figueiredo**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da UFMG (EE UFMG). Especialista em Engenharia Sanitária (EE UFMG). MBA em Gerenciamento Estratégico de Projetos pela Universidade FUMEC. Mentora do Programa de Mentoria Feminina da COPASA MG. Superintendente da Unidade de Negócios Norte (UNNT) da COPASA MG.

### **Jairo Soares Araújo**

Bacharel em Administração. Tecnólogo em Gestão Comercial pelo IFNMG. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela FACUMINAS. Técnico em Meio Ambiente pelo CEIVA. Técnico Especialista em Tratamento de Esgoto na Unidade de Serviço de Apoio Operacional Norte (USON) da COPASA MG.

### **Stanley Carlos Nascimento**

Bacharel em Administração pela Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). Especialista em Marketing e Gestão Estratégica pela Universidade Cândido Mendes. Assistente Administrativo Especial na Gerencia Regional de Januária (GRJA) da COPASA MG.

**RESUMO:** Com a implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário nos anos de 2012 e 2013, alavancados principalmente por recursos da FUNASA e CODEVASF e, conseqüentemente sendo iniciadas as operações em 2014 e 2015, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA MG) enfrentou desafios com a assunção desses Sistemas, a quantidade de extravasamentos de esgoto tornou-se um problema muito sério, causando impactos negativos diante da sociedade, afetando também o meio ambiente e até mesmo o tratamento final do esgoto. Numa análise inicial, na área de atuação da Gerencia Regional de Januária (GRJA) da COPASA MG, foram identificados problemas com equipes inexperientes, falta de equipamentos e maquinários inapropriados, o que tornava a execução das atividades de manutenção menos eficientes. Diante dos novos desafios, surgiu a necessidade de um gerenciamento mais aprofundado dos problemas gerados pelos extravasamentos. A prática implantada consistiu num conjunto de ações estruturadas com criação de grupo de trabalho afim de identificar as melhores ações que impactariam na solução do problema. O grupo de trabalho foi composto inicialmente pela Gerencia, Setor Técnico e



Técnico Químico de Esgoto. Após reuniões de análise crítica com utilização de ferramentas de análise e solução de problemas como Gráficos de Controle e Diagrama de Causa e Efeito, várias ações foram levantadas e elencadas na ferramenta EAP – Estrutura Analítica de Projeto, dentre elas estão a capacitação dos empregados, aquisição de equipamentos específicos para as manutenções, construção de caixas de desarenação, locação de veículo com implementos especializados. Outro ponto de grande relevância desenvolvido pelo grupo foi a criação de calendário para atendimento com o veículo hidrojateador para manutenções preditivas. Com a implementação da prática podemos observar a evolução dos resultados médios anuais na GRJA do indicador Extravasamento de Esgoto por Extensão de Rede. Além disso, mais resultados alcançados foram a redução dos impactos gerados pelos extravasamentos ao meio ambiente, melhoria da imagem da empresa diante dos clientes e sociedade, melhoria dos efluentes nas estações de esgoto e consequentemente nos resultados do tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão integrada, operação de sistemas de esgoto, extravasamento de esgoto.

## INTEGRATED MANAGEMENT OF SANITARY SEWAGE SYSTEMS

**ABSTRACT:** With the implementation of Sanitary Sewage Systems in 2012 and 2013, leveraged mainly by resources from FUNASA and CODEVASF and, consequently, starting operations in 2014 and 2015, Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA MG) faced challenges with the Assumption of these Systems, the amount of sewage spillage has become a very serious problem, causing negative impacts on society, also affecting the environment and even the final treatment of sewage. In an initial analysis, in the area covered by the Regional Management of Januária (GRJA) of COPASA MG, problems were identified with inexperienced teams, lack of equipment and inappropriate machinery, which made the execution of maintenance activities less efficient. Faced with the new challenges, the need arose for a more in-depth management of the problems generated by spillages. The implemented practice consisted of a set of structured actions with the creation of a working group in order to identify the best actions that would impact on the solution of the problem. The working group was initially composed of Management, Technical Sector and Sewage Chemical Technician. After critical analysis meetings using analysis and problem solving tools such as Control Charts and Cause and Effect Diagrams, several actions were raised and listed in the EAP tool - Analytical Project Structure, among them are the training of employees, acquisition of specific equipment for maintenance, construction of sandboxes, vehicle rental with specialized implements. Another point of great importance developed by the group was the creation of a schedule for service with the water blasting vehicle for predictive maintenance. With the implementation of the practice, we can observe the evolution of the annual average results in the GRJA of the indicator Sewage Overflow by Extension of Network. In addition, more results achieved were the reduction of impacts generated by spillages on the environment, improvement of the company's image before customers and society, improvement of effluents in sewage stations and consequently in treatment results.

**KEYWORDS:** Integrated management, operation of sewage systems, sewage overflow.

## INTRODUÇÃO

O esgoto bruto que extravasa do sistema retornando para o meio ambiente sem o devido tratamento afeta a qualidade de vida da população, podendo impactar à saúde pública e o meio ambiente. Ou seja, quanto maior a tendência de ocorrência de extravasamentos de esgoto, maior é a necessidade de melhorias/manutenções no sistema de esgotamento sanitário.

Com a implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário - SES, cujas operações iniciadas em 2014 e 2015, a Gerencia Regional da Companhia 1, enfrentou desafios com a assunção desses Sistemas, como a ocorrência de extravasamentos de esgoto que tornou-se um problema muito sério, causando impactos negativos diante da sociedade, afetando também o meio ambiente e até mesmo o tratamento final do esgoto. Na Gerencia Regional da Companhia 1, por meio do sistema de Reuniões, durante a análise dos resultados identificou-se como causas raízes, equipes inexperientes, falta de equipamentos, maquinários inapropriados e falta de ferramentas de gestão adequadas para o SES, o que tornava a execução das atividades de manutenção menos eficientes e eficazes.

Diante dos novos desafios advindos do Marco Legal do Saneamento, e visando atender aos objetivos estratégicos da Companhia 1, em 2019 foi implantada a prática “Gestão Integrada de Sistemas de Esgotamento Sanitário” com o objetivo de eliminar ou mitigar as causas e efeitos gerados pelos extravasamentos. A prática é realizada rotineiramente, utilizando das estruturas operacionais e equipes dos SES da Gerencia Regional da Companhia 1, por meio da análise dos relatórios SIGOS relativos a extravasamentos de esgoto por localidade e por bacia, que permite monitorar, controlar e atuar preventivamente de forma a garantir a eficácia dos SES, possibilitando a tomada de decisões estratégicas, com o propósito de assegurar a eficiência das ações e o aperfeiçoamento da prestação dos serviços de manutenção de esgotamento sanitário, seja pelas equipes próprias ou terceirizadas. Além disso, utiliza-se a plataforma Informação do Saneamento por Assunto – ISAA que permite estudo dos extravasamentos em mapa georreferenciado, com apresentação de mapa de calor. Após análise é elaborado um calendário para atendimento com o veículo hidrojateador para manutenções preventivas.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção preventiva é inversa a manutenção corretiva, pois procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, procura prevenir.

“Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (NBR 5462, 1994).

“É a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou a quebra no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo” (PINTO; XAVIER, 1999 p. 35).

Os relatórios analisados pela equipe, direciona também a execução dos serviços, como: construção de caixas de desarenação, Poços de Visita – PV, adequação de redes coletoras e interceptores, entre outros. Além das ações supracitadas, a eficácia da prática é analisada mensalmente, nas reuniões de análise crítica observando a evolução dos resultados do indicador Extravasamento de Esgoto por Extensão de Rede e Eficiência na Remoção de DBO, contribuindo para a melhoria da imagem da Companhia 1.

O bom funcionamento do Sistema de Esgotamento Sanitário desde a coleta, transporte, tratamento e disposição final requer uma sequência com o mínimo de interrupções possíveis, para que nenhuma das etapas interfira no resultado final do processo, infelizmente o uso inadequado das instalações pelos clientes tendem a prejudicar o processo devido ao grande volume de lixo e águas pluviais despejados nas tubulações, ocasionando entupimentos frequentes. Esta situação exige o desenvolvimento e a aplicação de novos métodos de gerenciamento da manutenção.

Segundo Medeiros Filho, no Sistema de Coleta de Esgoto Sanitário, a maioria das ocorrências que requerem trabalhos contínuos de manutenção, principalmente nos coletores, pois, 70 a 80 % dos entupimentos tem como origem as instalações internas das edificações contribuintes, em consequência do mau uso destas instalações, decorrentes normalmente da falta de consciência dos usuários.

Pedaços de madeira, panos, plásticos, areia, brita e outros objetos inadequados ao meio, além de gorduras, são frequentes razões para originarem problemas e complicações ao funcionamento contínuo do sistema. Medeiros Filho, (2005).

O presente trabalho teve como objetivos eliminar ou mitigar as causas e efeitos geradores de extravasamentos de esgoto nos 14 municípios operados pela GRJA da COPASA MG.

## **METODOLOGIA**

O desenvolvimento da prática se deu com a criação do grupo de trabalho afim de identificar as melhores ações que impactariam na solução do problema, esse grupo foi composto inicialmente pela Gerencia Regional, que atuaria como gerenciadora do projeto, Técnicos de Projeto e Obras, responsável pela compilação de dados, contratação e implementação das obras necessárias e Técnico Químico de Esgoto e Encarregado de Esgoto que, detentores de conhecimento técnico mais específico, permeariam os demais integrantes subsidiando com informações, dados e suporte técnico, os Encarregados dos Sistemas também foram envolvidos sendo muito importantes na análise crítica inicial, levantamentos de dados e implementação das ações em campo. O projeto obedeceu às seguintes etapas:

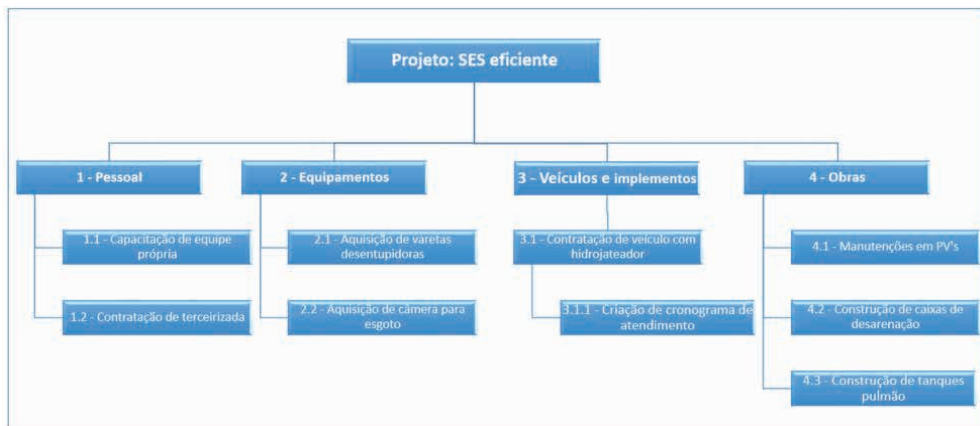
1. Reuniões com utilização de ferramentas de análise e solução de problemas como Gráficos de Controle, Brainstorming e Diagrama de Causa e Efeito.

2. Mapeamento e revisão dos procedimentos operacionais.
3. Análise e reestruturação do quadro de pessoal próprio e verificação de necessidades de contratação de terceirizados.
4. Visitas técnicas aos Sistemas de Esgotamento Sanitário para levantamentos de Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças.
5. Levantamento de novas tecnologias e equipamentos de manutenção e seus respectivos custos.
6. Equacionamento de recursos.
7. Treinamentos e reciclagens de equipes.
8. Implementação de obras e melhorias.
9. Monitoramento e controle dos resultados.

Foram levantados também os riscos inerentes ao projeto, destacando-se aqueles que poderiam atrasar o andamento das ações como, variações climáticas, prestadores de serviços inabilitados e insuficiência orçamentária.

As estratégias de atuação foram planejadas a curto e médio prazo, de forma contínua e alinhadas com os interesses da Companhia, o mapeamento dos processos de coleta, transporte e tratamento de efluentes foi fundamental para o balizamento das ações de maior relevância e hierarquização das atividades, dentre elas estão a capacitação dos empregados, aquisição de equipamentos específicos para as manutenções, construção de caixas de desarenação, locação de veículo com implementos especializados, outro ponto de grande relevância desenvolvido pelo grupo foi a criação de calendário para atendimento de todos os Sistemas com o veículo hidrojateador para manutenções preditivas.

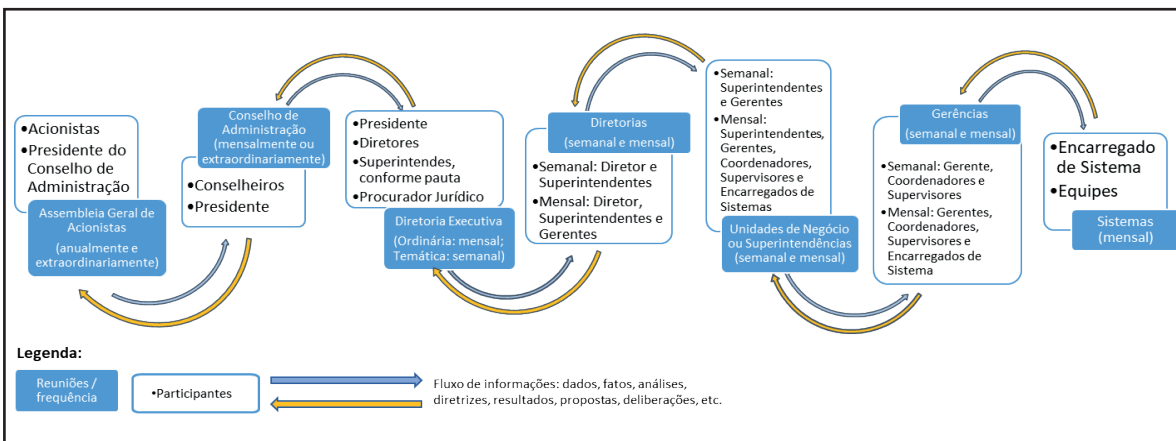
Para auxiliar os integrantes do grupo com a visão geral do trabalho e com a finalidade de organizar cada etapa do processo, distribuindo as atividades com os profissionais do time foi adotado a ferramenta EAP – Estrutura Analítica de Projetos (Figura 1), onde todos teriam uma visão geral das ações a serem desenvolvidas.



**Figura 1 – Estrutura Analítica de Projeto – EAP.**

Como sistemática para o desenvolvimento do projeto foram seguidas as etapas de Diagnóstico, Planejamento, Execução, Monitoramento e Controle, depois dos levantamentos iniciais e entendidas as causas, chegou-se em algumas soluções que impactariam nos diversos Sistemas de Esgotamento Sanitário da Gerencia Regional de Januária, a equipe do projeto distribuiu todas as tarefas priorizando alternativas envolvendo soluções inovadoras, buscando sempre o atendimento dos objetivos e diretrizes da empresa.

Para implementação da primeira etapa de Diagnóstico do projeto uma ferramenta de fundamental importância no suporte e já amplamente utilizada pela empresa foi utilizada, trata-se do Sistema Estruturado de Reuniões (Figura 2), onde as lideranças se reúnem periodicamente para tomada de decisões.



**Figura 2 – Sistema de Reuniões**

O detalhamento das fases do projeto com seus respectivos responsáveis e prazos foi gerenciado pela ferramenta Diagrama de Gantt (Figura2), facilitando a visualização

das ações bem como o acompanhamento das execuções. As correções de rumo foram discutidas em reuniões semanais da equipe de projeto, onde além do cronograma físico financeiro, foram acompanhados todos os demais aspectos relacionados à gestão de projeto, tais como, atendimento ao escopo, comunicação da equipe, compras, gestão dos riscos e contratos.

Figura 3 – Diagrama de Gantt

## RESULTADOS

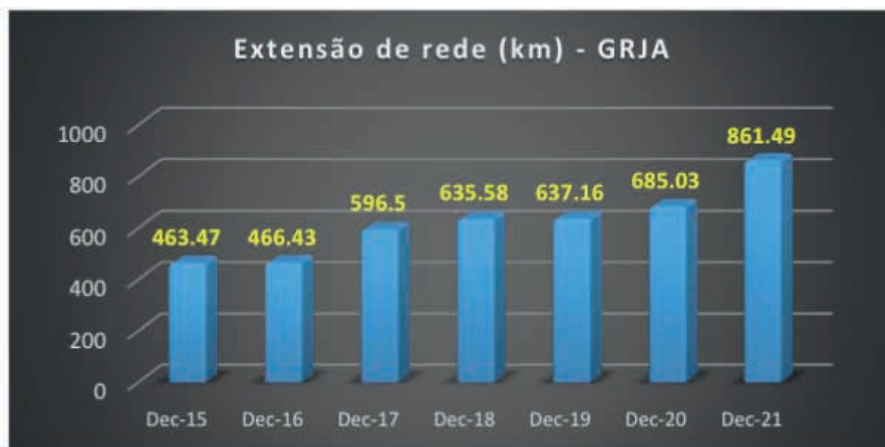


Figura 4 – Gráfico do indicador Extensão de Rede – GRJA.

da extensão de redes, os extravasamentos de esgoto por 100Km de redes diminuíram, mostrando a eficiência das ações, conforme apresentado no gráfico da figura 5.

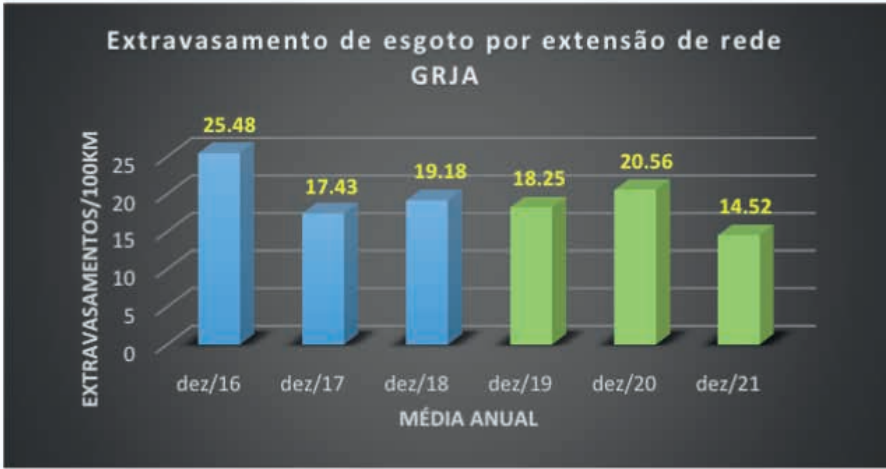


Figura 5 – Gráfico do indicador Extravasamento de Esgoto por Extensão de Rede – GRJA.

Na figura 6 é demonstrado o grau de competitividade que a GRJA atingiu com a implementação da prática quando comparado a resultados de outras gerencias regionais de referências da COPASA MG.

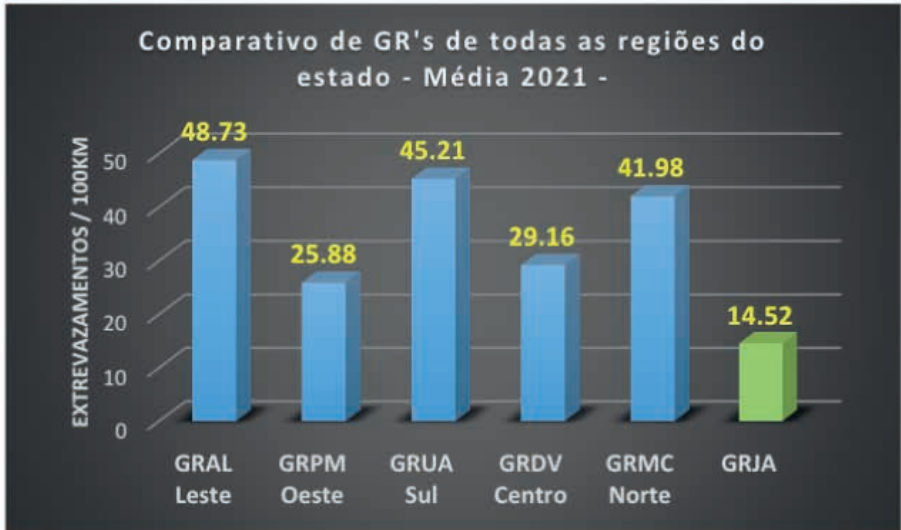


Figura 6 – Comparativo do indicador Extravasamento de Esgoto por GR's de todas as regiões do estado.

Os resultados do indicador de desempenho Eficiência na Remoção de DBO (%) da GRJA demonstra como as ações desenvolvidas com os novos métodos de gerenciamento

das manutenções refletiram no tratamento final. Bem como, as melhorias implementadas nos processos de coleta e transporte dos efluentes e consequentemente aumento da qualidade dos mesmos, os reflexos nas Estações de Tratamento de Esgoto foram evidentes, como demonstrados no gráfico abaixo desse indicador.

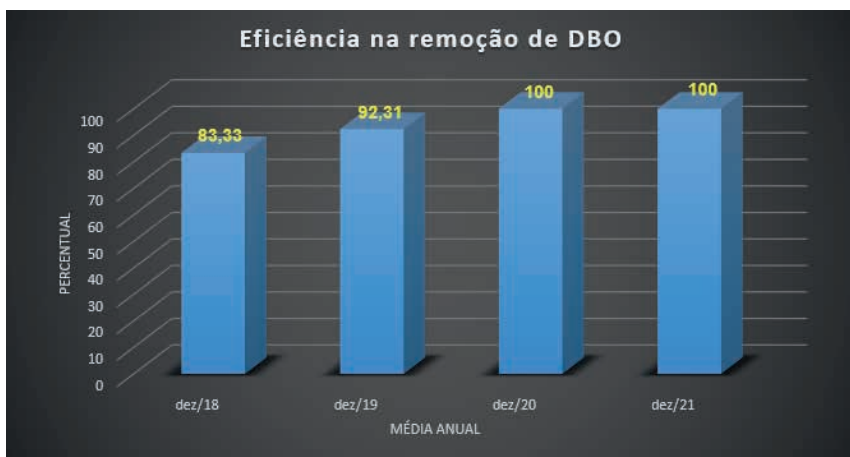


Figura 7 – Gráfico do indicador Eficiência na Remoção de DBO – GRJA.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir de 2019, Início da prática, até 2021 houve um incremento de 36% na extensão de redes de esgotamento sanitário na GRJA, passando de 636 km de redes para 862 km, apesar desse expressivo crescimento a prática, Gestão Integrada de Sistemas de Esgotamento Sanitário - SES, mostrou-se eficiente, o que pode ser evidenciado pelo desempenho dos seguintes indicadores:

- Extravasamento de esgoto por extensão de rede;
- Redução de 19,18 extravasamentos por 100 km de redes em 2018 para 14,52 extravasamentos por 100 km em 2021, uma redução de 24,3%;
- Eficiência na Remoção de DBO
- Com o aumento da qualidade dos efluentes em decorrência das ações implementadas, a eficiência no tratamento das ETE's também obteve um ganho substancial, evidenciado no indicador Eficiência na Remoção de DBO de 79,86% em 2018, atingindo 89% em 2019 e finalmente a eficiência máxima de 100% em 2020 e 2021.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Após os trabalhos de desenvolvimento de ações, treinamentos, investimentos e controle, compreendemos ainda mais que a universalização dos serviços de água e esgoto



com qualidade e de forma sustentável é o nosso compromisso diário com os nossos clientes, pois entendemos a nossa contribuição, por meio dos nossos serviços, para o desenvolvimento socioeconômico e qualidade de vida das pessoas.

Reforçamos ainda mais nossa perspectiva de que, com treinamentos e capacitação adequados, a parceria entre empregados próprios e terceirizados podem gerar valor para nosso negócio e contribuir para a disseminação de consciência ambiental, além de que, juntos, podemos trabalhar pela redução e a contenção dos impactos sociais e ambientais da nossa operação. Somos protagonistas no desenvolvimento dos locais onde prestamos os nossos serviços e contribuimos para o desenvolvimento social e econômico.

A parceria desenvolvida com as equipes terceirizadas proporcionou amadurecimento e constância de propósito, refletidos nos processos e consequentemente observados nos resultados que buscamos.

Outra lição muito importante aprendida foi a adoção de ações com uma abordagem preventiva, responsável e proativa, o ganho em produtividade é muito grande quando atuamos de forma antecipada à ocorrência dos problemas, principalmente para os desafios ambientais.

Atualmente grande parte das empresas então se envolvendo com a agenda ESG, buscando o equilíbrio dos aspectos ambientais, social e de governança na gestão dos negócios, buscando assegurar a competitividade, a perenidade e o desenvolvimento sustentável. Diante disso, entende-se que uma gestão responsável como a prática descrita coaduna de maneira sólida com essa nova realidade, o que a torna totalmente aplicável em outras Gerencias Regionais da COPASA MG.

## REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
2. KARDEC, ALAN. & NASCIF, J.A. Manutenção – função estratégica. 2.<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2001.
3. MEDEIROS FILHO, C. F. de. Esgotos sanitários. In: MEDEIROS, C.F.de. Manutenção de sistemas de esgotos. 1<sup>a</sup> ed. João Pessoa: Universitária. cap. 17, p.377-382.
4. PINTO, ALAN KARDEC; XAVIER, JULIO NASSIF. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. p. 287.

# SANEAMENTO AMBIENTAL: DESAFIOS PARA A UNIVERSALIZAÇÃO E A SUSTENTABILIDADE. COMO TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E AUTOMAÇÃO PODEM MELHORAR A VIDA DAS PESSOAS

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **José Eduardo Coutinho Tessis**

Sistemas de Informação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

### **Cássio Anderson da Silva Rodembuch**

Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Gestão da Tecnologia da Informação pela Universidade Paulista (UNIP).

### **Marcelo Gil Faccin**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pós-Graduação em Administração Pública pela Faculdades Porto-Alegrenses (FAPA).

### **Paulo Ricardo Dias Tabim**

Engenheiro Eletricista pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Pós-Graduação em Processamento Digital de Sinais na PUCRS.

### **Rodrigo Gomes Soares**

Sistemas de Informação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Administração de Tecnologia de Informação pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). MBA em Gestão de

Processos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

**RESUMO:** Operar e manter os Sistemas de Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário, Drenagem Urbana e Proteção contra Cheias no município de Porto Alegre/RS é missão do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) e, neste sentido, a validação e o desenvolvimento de soluções de Tecnologia de Informação e de Automação são chaves para gestão dos Sistemas com ênfase na eficiência energética, no controle de perdas e na qualidade de vida e ambiental. O Centro de Supervisão Operacional (CSO) foi criado em novembro de 2021 com este propósito, reunindo profissionais das áreas de Tecnologia de Informação e Engenharias do Departamento, com foco em Gestão, Comunicação e Inovação. Este trabalho apresenta uma síntese do primeiro ano do CSO, no qual diversas ferramentas de gestão foram elaboradas a partir das análises de eventos críticos, de modo a minimizar danos e melhorar a vida das pessoas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Centro Supervisão Operacional, Eficiência Energética, Controle

## INTRODUÇÃO

O Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre/RS é uma autarquia municipal, criada em 15 de dezembro de 1961, cuja missão é prestar serviços públicos de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana com qualidade, tendo sustentabilidade ambiental, econômica e social.

No eixo Abastecimento de Água, contempla 100% da população atendida em áreas regulares, a partir de seis Estações de Bombeamento de Água Bruta, seis Estações de Tratamento de Água, 87 Estações de Bombeamento de Água Tratada, 101 reservatórios e quase 4.200 quilômetros de redes de distribuição de água.

No Esgotamento Sanitário, o DMAE opera 11 Estações de Tratamento de Esgotos e 36 Estações de Bombeamento de Esgotos que possibilitam mais de 90% de coleta e 58% de tratamento de esgotos (em 2021) de uma capacidade instalada superior a 80%, a partir de uma rede de mais de 2.000 quilômetros de extensão.

Já na Drenagem Urbana e Proteção de Cheias do Município de Porto Alegre, que conta com 27 bacias hidrográficas e mais de 300 quilômetros de arroios, córregos e valas, o DMAE é responsável por 2.700 quilômetros de redes pluviais e mais de 80 quilômetros de galerias, canais e condutos forçados, além de 65 quilômetros de diques de proteção e 28 bacias de amortecimento públicas, bem como 23 Estações de Bombeamento de Águas Pluviais e mais de 120 mil pontos de captação (bocas de lobo e poços de visita).

Neste contexto, a operação e manutenção da infraestrutura acima é de grande complexidade e com impactos diários na vida das pessoas e na preservação dos recursos do ambiente. O DMAE possui equipes próprias e terceirizadas que respondem pela integridade dos serviços, a partir da supervisão de um Centro de Controle Operacional (CCO) 24 horas por dia, 365 dias por ano.

A implantação do Centro de Supervisão Operacional do DMAE (CSO-DMAE), em 03/11/2021, foi uma resposta da Administração e do corpo técnico do Departamento aos desafios da universalização e sustentabilidade do saneamento ambiental em Porto Alegre, a partir de investimentos em tecnologias de informação e automação que permitam monitorar as condições operacionais dos sistemas e identificar riscos, de forma a minimizar danos e melhorar a vida das pessoas.

## MATERIAIS (FONTES DAS ANÁLISES)

Para operação e manutenção das infraestruturas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana e proteção de cheias no município de Porto Alegre/RS o DMAE utiliza três sistemas principais:

**156POA:** responsável pelo atendimento das demandas dos clientes e pela tramitação

As figuras 1 e 2 apresentam duas telas do Sistema 156POA.





**GEODMAE:** desenvolvido pela PROCEMPA, que é a empresa de tecnologia da informação e comunicação da Prefeitura de Porto Alegre, permite acesso pela internet ao cadastro técnico georreferenciado nos três eixos, sendo configurado pelo usuário tanto na localização espacial quanto no nível de detalhes (camadas) e na escala.

As figuras 3 e 4 apresentam duas telas do Sistema GEODMAE.

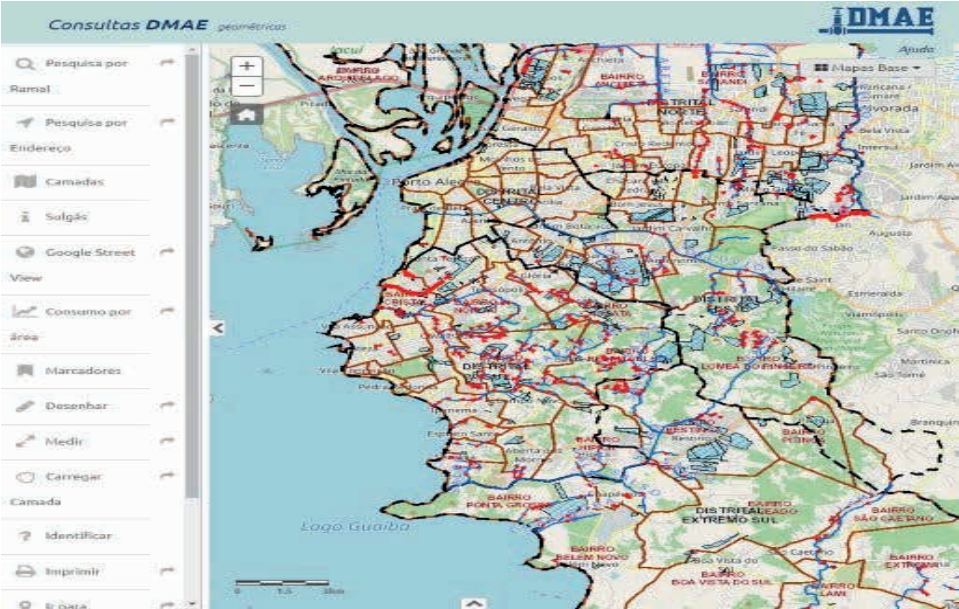


Figura 3: Tela inicial do GEODMAE.

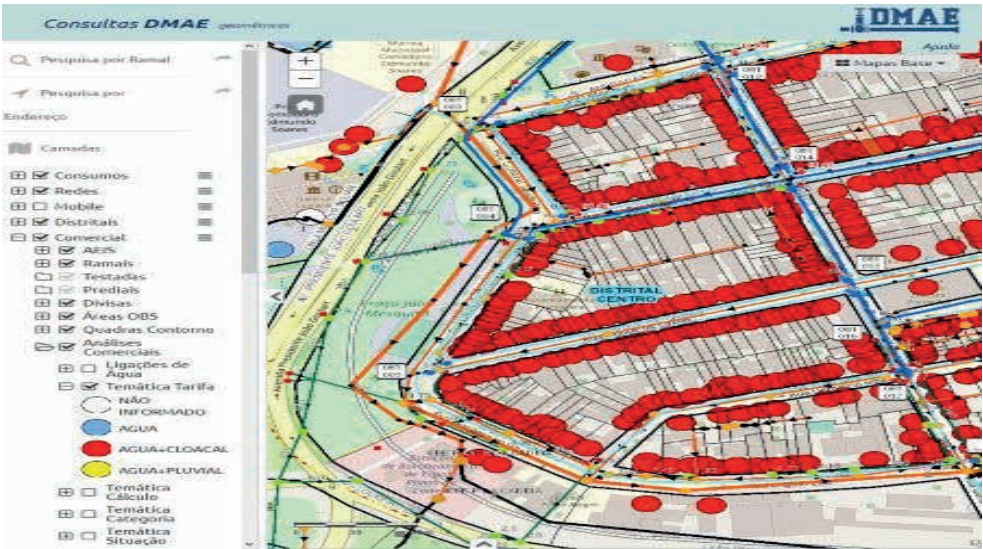


Figura 4: Consulta a Temática de Tarificação através do GEODMAE.

**SIGES:** é o sistema responsável pelo registro e tratamento de Paradas Operacionais

As figuras 5 e 6 apresentam duas telas do Sistema SIGES.

Figura 5: Consulta a Tela de Paradas Operacionais no SIGES.

Figura 6: Consulta a Tela de Solicitação de Serviços no SIGES.

218



Sanitário (figuras 11 e 12) e Drenagem Urbana (figura 13):

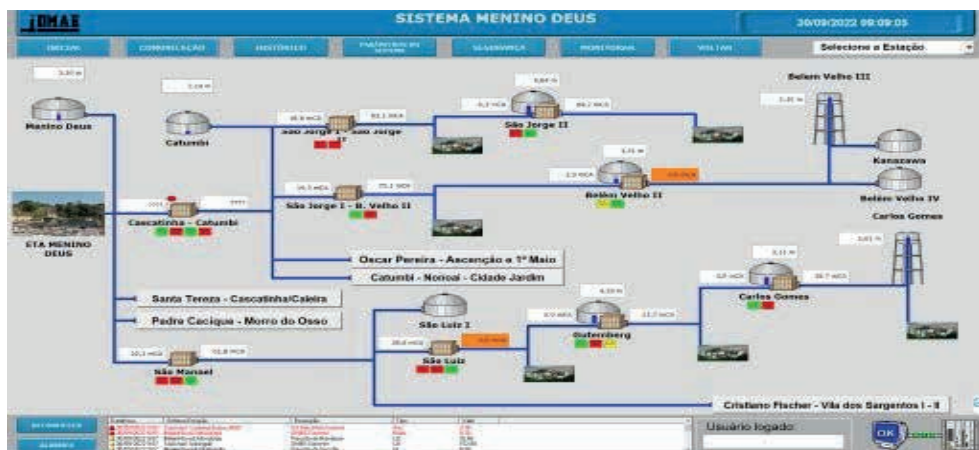


Figura 7: Supervisorio do Sistema de Abastecimento de Água Menino Deus (parcial).



Figura 8: Supervisório da Estação de Tratamento de Água São João.

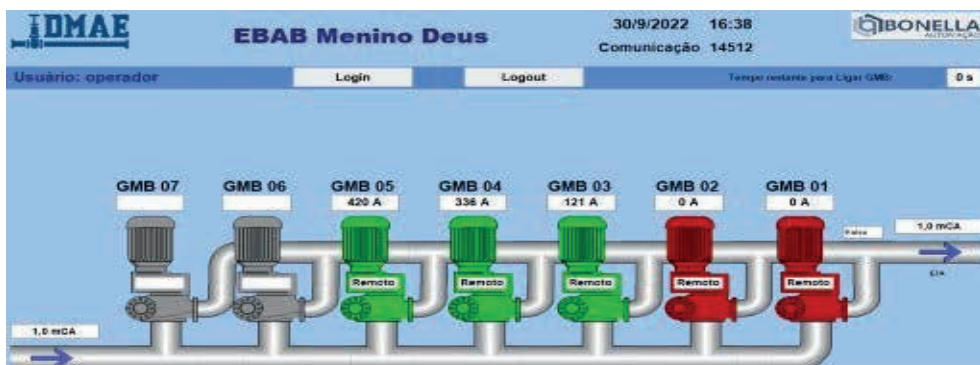


Figura 9: Supervisório da Estação de Bombeamento de Água Bruta Menino Deus.



Figura 10: Supervisório da Estação de Tratamento de Água Moinhos de Vento.

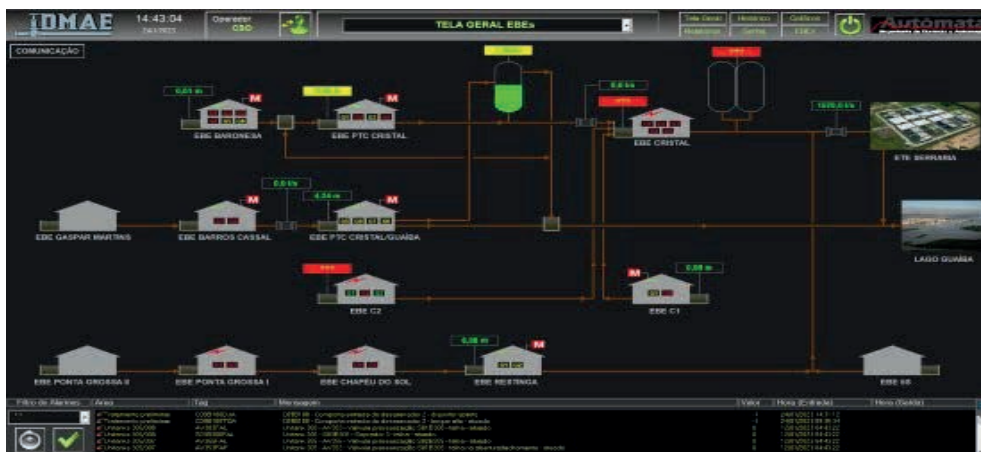


Figura 11: Supervisório da Estação de Tratamento de Esgoto Serraria.

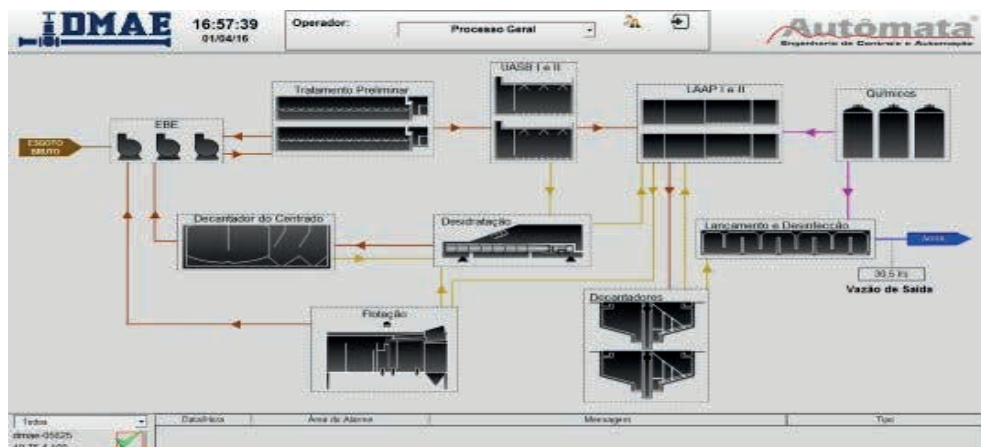


Figura 12: Supervisório da Estação de Tratamento de Esgoto Sarandi.





Figura 13: Supervisório da Estação de Bombeamento de Águas Pluviais EBAP 16.

Além dos supervisórios SCADA o DMAE utiliza um sistema de monitoramento de macromedidores (ZEUS), conforme figuras 14 e 15.

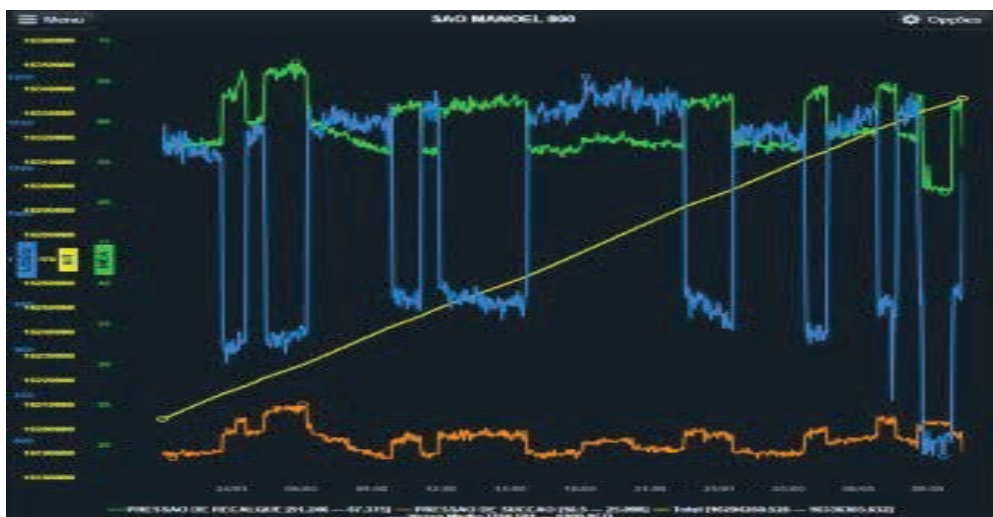


Figura 14: Macromedidor Estação de Bombeamento de Água Tratada São Manoel.



Figura 15: Macromedidor Estação de Bombeamento de Água Tratada Restinga.

## MÉTODOS

Utiliza-se o conceito de BI para realizar as principais tarefas do CSO.

Através de conexões com os mais diversos bancos de dados do DMAE, temos uma gama de informações que vão desde a parte comercial (SCA), passando pelos serviços (156poa) e chegando à operação das estações (Elipse).

Com a análise dos dados provenientes destes bancos, iniciam-se as análises dos eventos relativos coleta, tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento de esgoto cloacal, coleta e devolução as manancial das águas pluviais e toda a gama de serviços relativos a estes processos, resultando destas análises, relatórios e mapas temáticos, relativos a estes processos e eventos, conforme descritos no item Ferramentas.

Estas análises são realizadas por Analistas de TI e Engenheiros, os quais participam ou participaram direta ou indiretamente dos processos de operação ou nos desenvolvimentos dos sistemas envolvidos.

Com seus conhecimentos destes processos, eles agregam ainda mais nos resultados obtidos, pois permitem que façam de forma macro estas análises.

O cruzamento de dados de serviços como rompimento de redes e fugas, com dados operacionais como uma parada de estação por falha eletromecânica, pode identificar a origem do problema, que pode ser uma brusca variação de pressão na rede, causando um fenômeno conhecido como golpe de aríete, o qual pode ser a causa destes eventos.

Cruzar dados de serviços de alagamentos com problemas de manutenção ou operação em EBAPs e redes, para entender as causas destes eventos, é um exemplo de outra análise realizada.

Com esta análise podemos avaliar se o problema tem origem na estação por

problemas eletromecânicos, bocas de lobo obstruídas ou se o dimensionamento das redes está abaixo da necessidade da área atingida.

Analisando os dados de operação das estações, podemos avaliar se os equipamentos estão sendo utilizados da melhor forma, buscando uma melhor performance dos mesmos. Verifica-se o tempo de operação do mesmo, número de ligamentos/desligamentos, horário desta operação (hora sazonal) e a capacidade deste grupo moto bomba, em relação a demanda da região por ele abastecida.

Com os dados de macromedição é feita uma análise sobre o consumo da área, avaliando a necessidade de ampliação dos grupos moto bombas, a utilização de chaves de partida eletrônicas (inversores de frequência ou soft starter), para melhor operação do consumo destas áreas e estimar as perdas nestas operações.

#### **Bancos de dados utilizados:**

- 156poa
- Siges
- SCA
- SDO
- Geodmae
- Elipse Água
- Elipse ETAs
- Elipse ETEs
- Elipse EBAPs
- Macromedidores - Zeus
- Unilins – dados analíticos
- VRPs - Vector

#### **Ferramentas Geradas**

A partir dos sistemas mencionados, o CSO-DMAE desenvolveu diversas ferramentas de análise, gestão e comunicação, conforme figuras 16 a 21.

MAPA ANÁLISE GERAL:

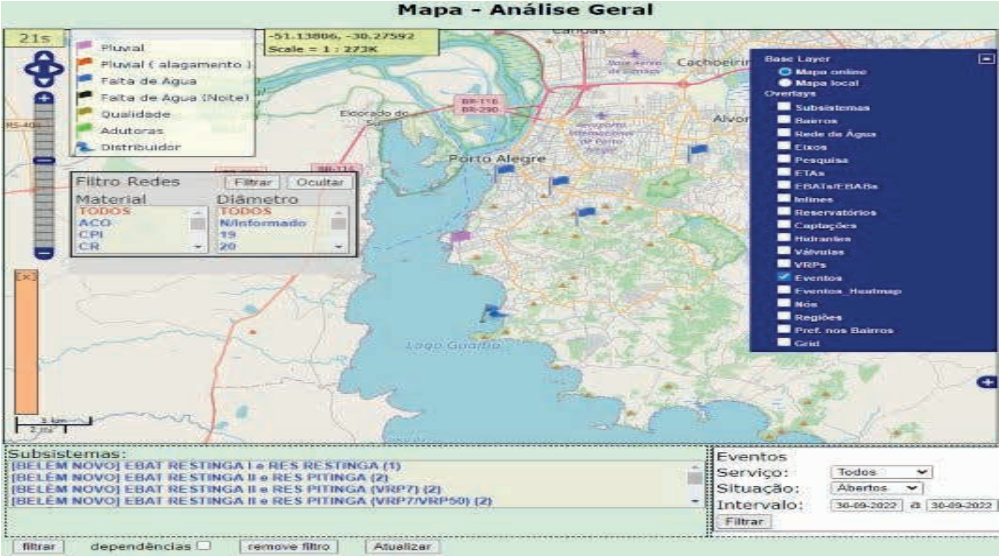


Figura 16: Mapa de Análise Geral para Serviços de Água.

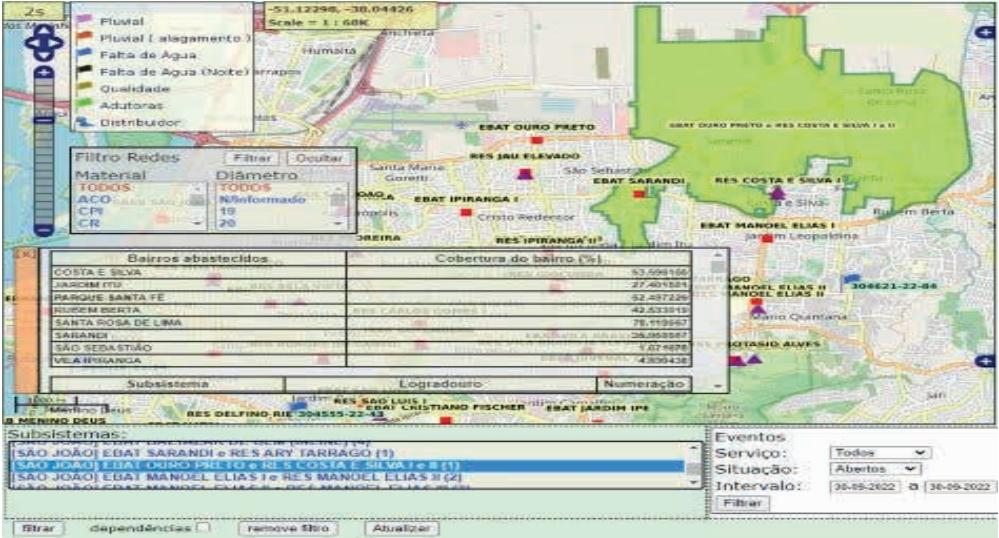


Figura 17: Mapa de Análise Geral. Subsistema EBAT Ouro Preto/Reservatório Costa e Silva.



MAPA ANÁLISE DE ALAGAMENTOS:

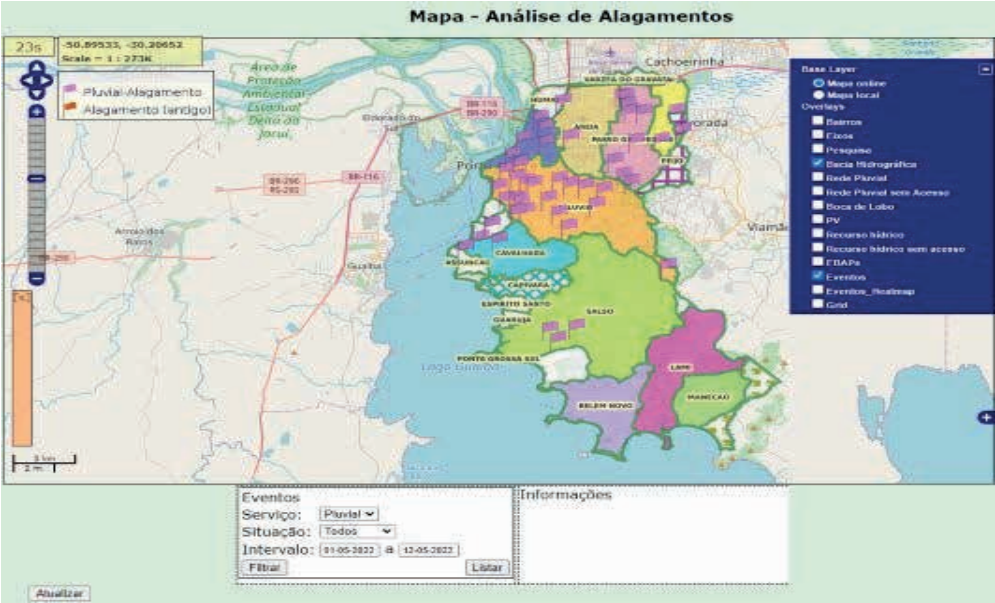


Figura 18: Mapa de Análise de Alagamentos.

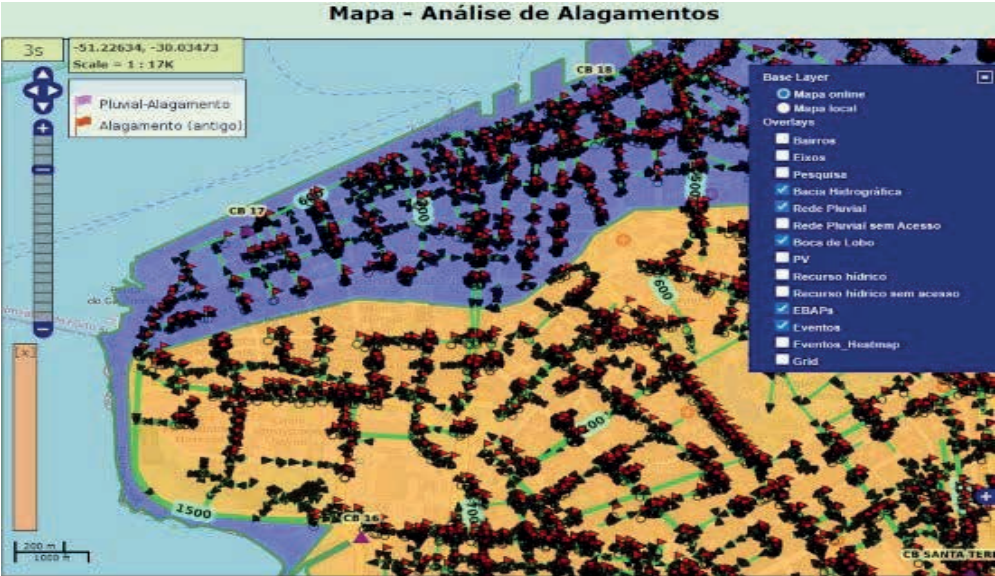


Figura 19: Mapa de Análise de Alagamentos. Camadas Bacias Hidrográficas e Redes Pluviais com Bocas de Lobo em destaque.

MAPA ANÁLISE QUALIDADE DA ÁGUA

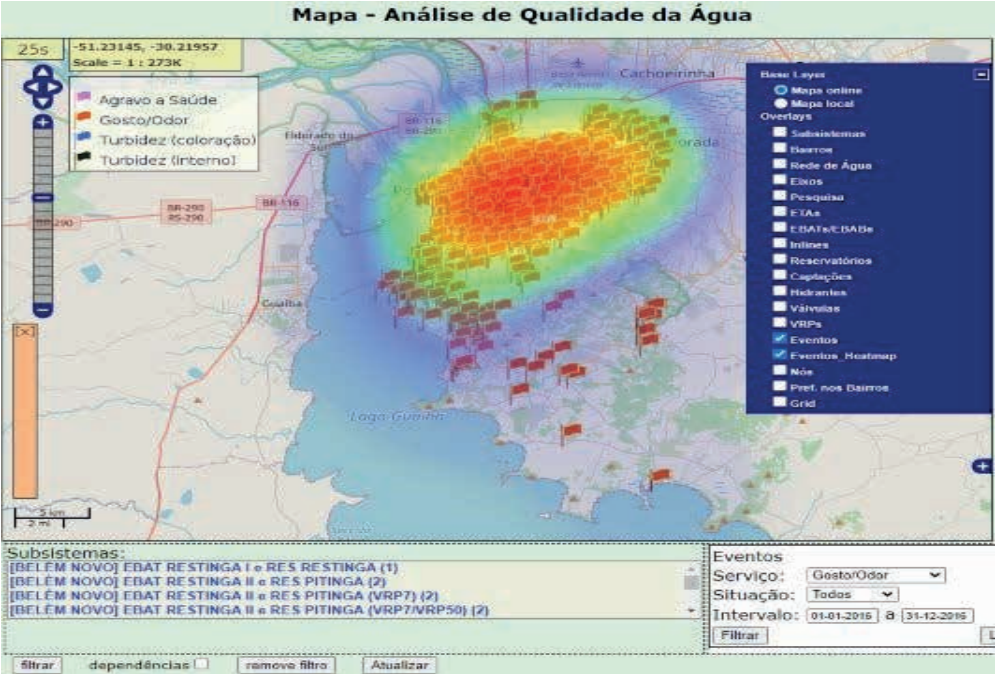


Figura 20: Mapa de Análise de Qualidade da Água.

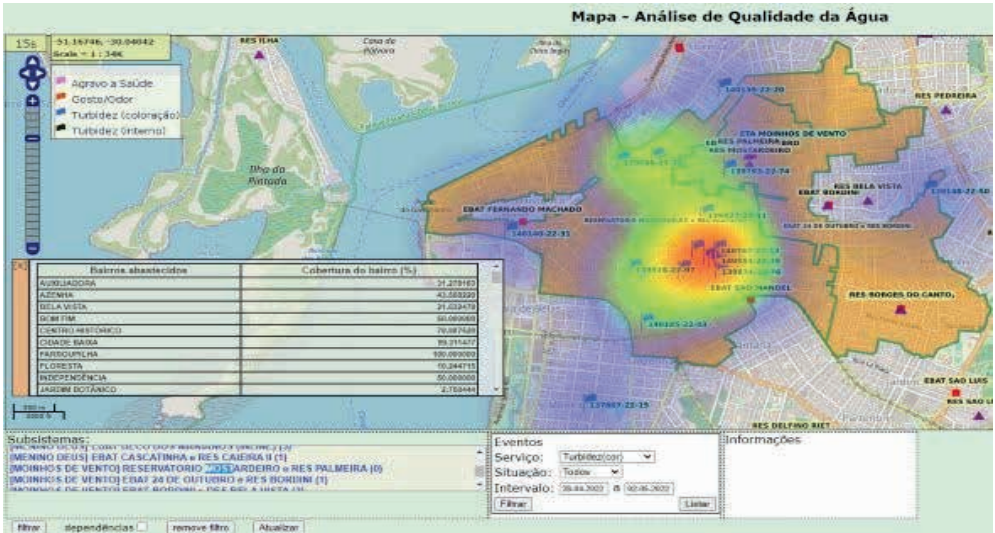


Figura 21: Mapa de Análise de Qualidade da Água. Eventos Turbidez Subsistema Moinhos de Vento/ Gravidade.

## CONCLUSÕES

- Melhorias nos processos de operação das estações e grupos moto bombas, visando melhor utilização dos conjuntos moto bombas (menor número de partidas, redução da pressão noturna), com diminuição dos transientes hidráulicos que causam problemas nas redes, redução no consumo de energia com a melhor operação através do uso de inversores e evitando a operação nos horários de maior valor da energia (horo sazonal), além da redução da manutenção eletromecânica e aumento da vida útil dos equipamentos.
- Melhoria nos novos Termos de Referência (novos contratos a serem licitados) onde são analisados os desempenhos das equipes contratadas, oferecendo aos gestores relatórios com dados sobre cada um dos contratos, onde se pode avaliar se eles estão dimensionados de forma a atender as demandas, tanto no que tange a quantitativos de equipes e equipamentos, quanto aos serviços descritos nestes contratos, trazendo uma melhoria evolutiva aos mesmos.
- Melhor uso dos dados dos sistemas contratados ou desenvolvidos pelo Departamento, pois com a integração destes bancos de dados, são executados BIs, resultando em gráficos e relatórios para que a gestão do DMAE possa tomar melhores decisões.

### Importante

- Só conseguimos gerenciar os dados que medimos e validamos.
- Não é necessário um grande investimento para alcançar um bom nível de monitoramento dos processos industriais, bem como tais investimentos podem (e devem) ser realizados de forma planejada, incremental e que os ganhos obtidos sejam reinvestidos em novas melhorias no controle dos processos.

## REFERÊNCIAS

1. DMAE. SIGES. Sistema Gerenciador de Serviços. 2009. Software. Disponível em: <http://siges.procempa.com.br/>. Acesso em: 16 nov. 2022.
2. DORN, Alfredo Arthur (Coordenador) et al. Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Alegre. Volume 1 Diagnóstico. 2015. Disponível em: [http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu\\_doc/pmsb\\_2015\\_volume\\_1\\_diagnostico.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/pmsb_2015_volume_1_diagnostico.pdf). Acesso em: 16 nov. 2022.
3. ELIPSE SOFTWARE. Elipse E3. Versão 6.1.98. Software. Porto Alegre – RS. 2022. Acesso em: 16 nov. 2022.
4. HOFFMANN, César Xavier, TABIM, Paulo Ricardo Dias e TESSIS, José Eduardo Coutinho. 156POA. Porto Alegre - RS. 2016. Disponível em: <https://156poa.procempa.com.br/>. Acesso em: 16 nov. 2022.
5. MICROCOM SISTEMAS MODULARES. ZEUS. Versão 5.8.60. Guipúscoa, Espanha: 2022. Software. Disponível em: <http://zeus.zeben.com.br>. Acesso em: 16 nov. 2022.



6. PROCempa. GEODMAE. Disponível em: <https://mapaspoa.procempa.com.br/consultadmae/>. Porto Alegre - RS. Software. Acesso em: 16 nov. 2022.
7. SANTOS, Elisete Silva dos (Coordenador) et al. Dados gerais DMAE. Porto Alegre – RS. 2021. Site. Disponível em: [http://lintranet.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae-intranet/usu\\_doc/dados\\_gerais\\_2021\\_web.pdf](http://lintranet.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae-intranet/usu_doc/dados_gerais_2021_web.pdf). Acesso em 16 nov. 2022.
8. SOFTEXPERT, SoftExpert Excellence Suite – SE SUITE. Release 2.1.9 Patch 95. Joinville - SC: 16 nov. 2022. Software. Disponível em: <https://sesuite.procempa.com.br>. Acesso em: 16 nov. 2022.
9. TEAMVIEWER. TeamViewer. Versão 15.35.9. Software. Disponível em: <https://www.teamviewer.com/pt-br/download/windows/>. Acesso em: 16 nov. 2022.
10. UNICORP INFROMÁTICA INDUSTRIAL. UNILIMS. Versão 9.4.1.19. Software. São Paulo – SP: 28 set. 2022. Acesso em: 16 nov. 2022.

# UTILIZAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO NO PLANEJAMENTO DE ATIVIDADES NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO E ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO NA GERÊNCIA REGIONAL DE UNIDADE DE NEGÓCIOS IPOJUCA – COMPESA

*Data de submissão: 21/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Marcella Vianna Cabral Paiva**

Funcionária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Professora da Autarquia Educacional do Belo Jardim (AEB). Belo Jardim – Pernambuco. <https://lattes.cnpq.br/2866768055235663>

### **Silvanete Severino da Silva**

Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Unidade Acadêmica do Belo Jardim (UABJ). Belo Jardim – Pernambuco. <http://lattes.cnpq.br/0697832792587182>

### **Luára dos Santos Soares**

Estagiária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Aluna do curso de Engenharia Hídrica da Unidade Acadêmica do Belo Jardim (UABJ/UFRPE). <http://lattes.cnpq.br/3028085984539774>

### **Izabelly Feitoza Nascimento**

Funcionária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Arcoverde – Pernambuco. <http://lattes.cnpq.br/5486408122349716>

### **Silvia Mariana da Silva Barbosa**

Sanvale Soluções Ambientais LTDA. Petrolina – Pernambuco. <http://lattes.cnpq.br/6897701912860507>

### **Tatiana de Oliveira Calado**

Professora do Instituto Federal de Pernambuco – IFPE – Campus Garanhuns. <http://lattes.cnpq.br/9446644042468735>

### **Ednara Fernandes Silva**

Estagiária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Aluna do curso de Engenharia Hídrica da Unidade Acadêmica do Belo Jardim (UABJ/UFRPE).

**RESUMO:** O esgotamento sanitário é fundamental para melhorar a qualidade de vida da população e preservar o meio ambiente. Destaca-se a importância de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) e Estações Elevatórias de Esgoto (EEE's) para a realização do bombeamento e tratamento adequado, de modo a atender todos os parâmetros e diretrizes reconhecidos em leis e normas técnicas para o descarte do efluente tratado nos corpos receptores ou para o reúso. A operação destas unidades deve ser programada e supervisionadas de maneira eficaz, visando a mitigação dos impactos ambientais negativos e a proteção da vida humana. Sendo assim, é necessário

planejar, acompanhar atividades, monitorar as intervenções e armazenar informações para garantir eficiência operacional e a padronização de procedimentos, como também pode gerar redução de custos com manutenção dos equipamentos em decorrência dos serviços de limpeza nas unidades. A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) está realizando monitoramentos dos serviços de manutenção, limpeza e operação das ETE's e EEE's do município de Tacaimbó e de Sanharó em Pernambuco e que fazem parte da Gerência Regional de Unidade de Negócios Ipojuca, registrando informações no Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento (GSAN) com intuito melhorar o monitoramento operacional destas unidades, como também propor ações preventivas e corretivas. Com a realização deste estudo, foi possível observar um aumento considerável na quantidade de serviços realizados pelas equipes.

**PALAVRAS-CHAVES:** Gerenciamento de informações, Estações de Tratamento de Esgoto, Estações Elevatórias de Esgoto.

## USE OF THE INTEGRATED SANITATION MANAGEMENT SYSTEM IN PLANNING ACTIVITIES AT WASTEWATER PLANTS AND WASTEWATER PUMPING STATIONS IN THE REGIONAL MANAGEMENT BUSINESS UNITS OF COMPESA IN IPOJUCA – PE

**ABSTRACT:** Sanitary sewage is fundamental to improve the population's life quality and preserving the environment. The importance of Wastewater Treatment Plants (WWTP) and Wastewater Pumping Stations (WWPS) is highlighted for carrying out adequate pumping and treatment, in order to meet all parameters and recognized guidelines in laws, and technical standards for the disposal of treated effluent in water bodies or even for reuse. The operation of these units must be effectively programmed and supervised, aiming to mitigate negative environmental impacts and protect human life. Therefore, it is necessary to plan, monitor activities, interventions and store information to ensure operational efficiency and standardization procedures, as well as reducing costs with equipment maintenance as a result of cleaning services in the units. The Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) is monitoring the maintenance, cleaning and operation services of WWTP's and WWPS's in the municipalities of Tacaimbó and Sanharó in Pernambuco which are part of the Regional Management of the Ipojuca Business Unit, recording information in the Integrated Sanitation System Services Management (GSAN) with the aim of improving the operational monitoring of these units, as well as propose preventive and corrective actions. By carrying out this study, it was possible to observe a considerable increase in the number of services performed by the teams.

**KEYWORDS:** Information management, Wastewater Treatment Plants, Wastewater Pumping Stations.

## INTRODUÇÃO

A oferta dos serviços de esgotamento sanitário é um fator fundamental para a qualidade de vida da população dos centros urbanos e a coleta, tratamento e destinação adequada de efluentes, colaboram tanto para a manutenção da saúde das comunidades quanto para a conservação do meio ambiente. Neste contexto, é importante gerar dados

relacionados a este setor e atualizá-los periodicamente, assim como planejar as atividades e operar os sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgoto de forma eficiente (IBGE, 2020).

O esgotamento sanitário é indispensável para melhorar a qualidade de vida da população urbana e rural. A operação destas unidades deve ser programadas e supervisionadas de maneira eficaz, visando à mitigação dos impactos ambientais negativos e a proteção da vida humana. O tratamento remove os resíduos, matéria orgânica e organismos patogênicos presentes no esgoto, permitindo que este efluente retorne para os mananciais com a redução dos poluentes e de acordo com parâmetros e limites preconizados na legislação vigente (Ministério da Saúde, 2023).

Neste contexto, é importante ter um acompanhamento da operação das estações de tratamento e estações elevatórias, monitoramento das atividades e armazenamento dos dados, inserindo periodicamente as informações relacionados a manutenção e operação das unidades e assim realizando a gestão eficiente dos sistemas existentes (IBGE, 2018; ROCHA, 2005). A operação das ETE's e EEE's é um fator essencial e está estreitamente associado ao funcionamento eficiente das mesmas. Deste modo, deve-se destacar a indispensável presença diária dos operadores nestas unidades.

De maneira geral, o operador é responsável por remover detritos dos sistemas de tratamento e das próprias áreas das unidades; observar aspectos relacionados à conservação das estruturas de concreto, sistemas de drenagem, grades, caixas de passagem, realizar o manejo do lodo e relatar anomalias ou interrupções nos processos de tratamento e nos sistemas elétricos, além da realização de análises em laboratório (SANEAGO, 2005). Dessa forma, os problemas podem ser sanados imediatamente após identificação.

No que diz respeito aos serviços de manutenção e conservação das unidades, as ETE's e EEE's devem estar sempre livres de vegetações em suas áreas; serem mantidas limpas, realizando-se varrições e pinturas periodicamente nas instalações, casas de bombas, pátios, entre outros; e as cercas e muros devem estar sempre em perfeitas condições evitando assim o acesso de pessoas não autorizadas e de animais (FEAM, 2006).

Nas ETE's, as limpezas em caixas de areia, reatores UASB e nos poços de sucção, as podem ser realizadas manualmente ou de forma mecanizada. No último caso, equipamentos como o caminhão hidro vácuo (caminhão ROOTS) são utilizados pela sua versatilidade e rapidez na execução dos serviços. Os caminhões ROOTS são equipados com sistemas de sucção a vácuo, com alto poder de sucção e com bombas de hidrojateamento, o que os tornam essenciais para as limpezas das ETE's e EEE's.

As EEE's possuem os dispositivos de tratamento preliminar que são utilizados para a remoção de sólidos grosseiros, como a grade de retenção e a caixa de areia, porém, dependendo da necessidade da EEE podem ser utilizadas peneiras rotativas ou

tritadores (MAESTRI, 2017). A caixa de areia evita o desgaste por abrasão das tubulações e equipamentos de transporte do esgoto bruto, assim como os poços de sucção onde são colocadas as bombas que elevam os esgotos até as ETE's (CONCREMAT, 2010).

A qualidade na gestão e operação do esgotamento sanitário está diretamente relacionada à implantação de sistemas de gerenciamento, sendo estes, facilitadores da padronização de procedimentos além de possibilitar melhorias nas esferas organizacionais das empresas de saneamento (ROCHA, 2005). Os sistemas de gerenciamento de informações são de grande importância dentro de qualquer ambiente organizacional, pois possibilitam que planejamentos sejam criados e aplicados (BRAGA, 2000).

O Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento (GSAN), foi criado e financiado pelo Projeto de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), com objetivo de garantir uma gestão integrada, ampla e eficaz de todas as funções desempenhadas pelas companhias de abastecimento de água e saneamento (GSAN, 2020). Este sistema além de proporcionar controle sobre os setores operacional, financeiro, de cadastro, cobrança, faturamento, dentre outros, também pode ser implantado em qualquer empresa nacional e acessado por qualquer navegador (GSAN, 2020). A partir do GSAN é possível a elaboração de Registros de Atendimento (RA's) e Ordens de Serviço (OS's). A OS é o documento que concede a permissão para a realização dos serviços e tem exatamente as mesmas informações do RA. Entretanto, a OS apresentará os dados da real data de execução do serviço e a equipe que o realizou.

A ausência de sistemas integrados de gestão pode acarretar diversos problemas, assim como uma maior dificuldade de acesso e uso das informações tanto pela população quanto pelos gestores do Estado (CONDURÚ & PEREIRA, 2017). Logo, torna-se importante que as empresas prestadoras de serviços de esgotamento sanitário busquem constantemente por melhorias, priorizando uma gestão de qualidade, com base no acompanhamento operacional para conservação e bom funcionamento das unidades de recalque e tratamento de esgoto.

Também é fundamental que as empresas de saneamento e seus respectivos órgãos regulamentadores avaliem o índice de atendimento das legislações vigentes no âmbito do saneamento, sempre objetivando alcançar a eficiência no tratamento e a excelência na prestação dos serviços destinados à população.

Dentre as legislações que devem ser seguidas para qualidade do efluente tratado tem-se a Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre as condições, parâmetros físico-químicos do efluente tratado, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores (BRASIL, 2011). Além desta, há também os Art. 35 e Art. 42 da Resolução ARPE N° 012, de 27 de novembro de 2009, que tratam das EEE's e ETE's e que dispõe sobre as obrigações referentes à limpeza, manutenção e bom funcionamento dessas unidades (PERNAMBUCO, 2009).

Diante do exposto, o presente estudo teve objetivo de monitorar informações e realizar o acompanhamento das demandas operacionais internas das ETE's e EEE's dos municípios de Tacaimbó e Sanharó e que foram planejadas e executadas pela Coordenação Técnica de Esgoto (CTG) da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), Gerência Regional de Unidade de Negócios (GNR) – Ipojuca, assim como padronizar a execução dos serviços que são atividades fundamentais para a manutenção da conformidade, para alcançar a excelência na gestão do sistema de esgotamento sanitário e para mitigar possíveis impactos ao meio ambiente.

## **METODOLOGIA**

Foram realizados o planejamento e os monitoramentos dos serviços de manutenção, limpeza e operação da ETE e EEE's do município de Tacaimbó e da ETE e EEE's do município de Sanharó, que são operadas pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e que são de responsabilidade da Coordenação Técnica de Esgoto (CTG) e que faz parte da Gerência Regional de Unidade de Negócios (GNR) – Ipojuca.

O município de Tacaimbó está localizado na Mesorregião do Agreste Pernambucano, Microrregião do Vale do Ipojuca. No último censo IBGE realizado em 2022, a população era de 13.738 e densidade e demográfica de 60,36 habitantes por km<sup>2</sup>.

O rio Ipojuca corta o município de Tacaimbó e é o corpo receptor do efluente tratado na ETE. A bacia do rio Ipojuca abrange uma área de 3.435,34 km<sup>2</sup>, correspondendo a 3,49% da área do Estado. Estão inseridos nessa bacia um total de 25 municípios, dentre os quais: 14 possuem suas sedes inseridas na bacia (Arcoverde, Belo Jardim, Bezerros, Caruaru, Chã Grande, Escada, Gravatá, Ipojuca, Pombos, Poção, Primavera, Sanharó, São Caetano e Tacaimbó); e 10 estão apenas parcialmente inseridos (Agrestina, Alagoinha, Altinho, Amaraji, Cachoeirinha, Pesqueira, Riacho das Almas, Sairé, São Bento do Una, Venturosa e Vitória de Santo Antão).

Considerado um dos cinco rios mais poluídos do Brasil, o Ipojuca faz parte de um programa que visa a sustentabilidade hidroambiental da bacia hidrográfica. O governo do estado de Pernambuco vem investindo na implementação da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos e para isto firmou um contrato de empréstimo com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), com execução em seis anos, de agosto/2013 a julho/19, visando a recuperação das bacias hidrográficas. Diante disto, foi tomado como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca, considerando uma região prioritária para o desenvolvimento socioeconômico do estado de Pernambuco. A concepção do Programa de Saneamento Ambiental (PSA Ipojuca) foi dividida em três eixos temáticos: fortalecimento institucional, obras e equipamentos e socioambiental, e teve como foco principal o ODS 6, pois propõe aumentar a disponibilidade de água de boa qualidade, promover o saneamento ambiental, ampliando o abastecimento de água, a cobertura de esgotamento sanitário e

dos índices de tratamento de esgoto, principalmente nas 12 cidades-sedes que estão localizadas em suas margens mais as cidades de Arcoverde e Venturosa, promovendo a recuperação do rio e dos principais reservatórios de abastecimento de água da bacia.

Dentre as ações do PSA Ipojuca estão a elaboração de projetos e execução de obras de sistemas de esgotamento sanitário com intuito de reduzir o descarte de poluentes no rio Ipojuca. Os sistemas de esgotamento sanitário de Tacaimbó e Sanharó foram projetados nos anos de 2013 e 2014.

O SES Tacaimbó foi concebido em dois microssistemas de esgotamento, A e B, com execução de rede coletora, ramais condominiais, ligações intra domiciliares, duas estações elevatórias em cada um deles e uma estação de tratamento de esgoto. A estação elevatória 2 (dois) lança seus efluentes na elevatória 1 (um), que recalca os esgotos para a estação de tratamento de esgoto, a ETE Tacaimbó. Na Tabela 1 são apresentados os dados de localização geográfica e concepção da ETE e EEE's Tacaimbó.

O sistema foi dimensionado para a vazão de final de plano considerando a população estimada do município em 2013, atendendo dados básicos, como: um alcance de 20 anos. Sendo assim, a população considerada para início de plano foi de 7.292 habitantes e a de final de plano será de 13.861 habitantes.

| UNID. TACAÍMBÓ                                                  | CONCEPÇÃO                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ETE TACAÍMBÓ</b><br>LAT.-8.316370010<br>LON.-36.272899628    | Peneiras estáticas + reator UASB + tanque de Aeração+ decantador lamelar + desinfecção com aplicação de cloro. Leito de secagem para desidratação de lodo. |
| <b>EEE 01 TACAÍMBÓ</b><br>LAT.-8.317549706<br>LON.-36.289501190 | Gradeamento de retenção de resíduos + caixa de areia + poço de sucção com bombeamento.                                                                     |
| <b>EEE 02 TACAÍMBÓ</b><br>LAT.-8,325973<br>LON.-36,2917         | Gradeamento de retenção de resíduos + caixa de areia + poço de sucção com bombeamento.                                                                     |

Tabela 1: Localização geográfica e concepção das ETE's e EEE's Tacaimbó.

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) foi responsável pela execução das obras, que foram finalizadas em 2018, quando iniciou a operação da ETE Tacaimbó. A operação do SES Tacaimbó é realizada por operadores que ficam responsável pela remoção de resíduos das unidades de tratamento, descargas de lodo e de areia, preparação e dosagem de produto químico ETE, realização de análises do efluente bruto e tratado no laboratório localizado na própria ETE, como também limpezas nas grades, caixas de areia e poços de sucção das EEE's. Como já mencionado anteriormente, estas atividades são planejadas pela coordenação técnica de esgoto, estabelecendo a periodicidade de realização e a execução, que acontece através da geração de RA's e OS's para os funcionários e o acompanhamento é realizado diariamente através de registros fotográficos e inserção das informações no GSAN pela equipe de supervisão.



O município de Sanharó também está localizado no Agreste pernambucano e na Microrregião Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco (CPRM, 2005). A Compesa é a empresa responsável pelo sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário da cidade. Praticamente 100% da população é abastecida por sistema de água, porém, não havia sistema público de esgotamento sanitário na mesma, até a outubro de 2017, quando iniciaram as obras de implantação do SES Sanharó.

O escopo contratado para execução das obras SES Sanharó utilizou a metodologia condominial e consistiu na implantação de sistema composto por ramais condominiais de esgoto, rede coletora, drenagem, ligações intra domiciliares, estações elevatórias, emissários de recalque, da Estação de Tratamento – ETE pré-fabricada e

O objetivo da obra, que foi executada pela Companhia Pernambucana de Saneamento, foi viabilizar o saneamento básico na área urbana da cidade de Sanharó, de forma a resolver os problemas de coleta, transporte e tratamento dos esgotos, promovendo a melhoria da infraestrutura de saneamento, a sustentabilidade ambiental e qualidade de vida da população da cidade, além de ser uma ação que contribui para a preservação do rio Ipojuca.

O sistema foi concebido em três microssistemas de esgotamento, A, B e C. Ele foi dimensionado para a vazão de final de plano, considerando um alcance de 20 anos. O início de plano, no ano de 2017, o sistema iria atender a uma população de 13.059 habitantes, Já em final de plano, no ano de 2037, o sistema atenderá a uma população de 25.444 pessoas.

As obras do SES Sanharó foram concluídas em outubro de 2022 e o que está em operação atualmente é composto por rede coletora, ramal condominial; ligações intradomiciliares, 2 (duas) estações elevatórias de esgotos, linhas de recalque e 1 (uma) ETE compacta e a Tabela 2 apresenta a localização geográfica e a concepção da ETE e EEE's Sanharó.

Devido a intercorrências na execução da ETE Sanharó definitiva não foi possível concluir as obras desta unidade de tratamento e está sendo utilizada de forma provisória a ETE compacta. A ETE Sanharó definitiva será composta por processo biológico e físico-químico através de caixa de distribuição, peneira estática, reator biológico com leito móvel (IFAS), reator anóxico, decantador secundário, tanque de equalização, coagulação/floculação para remoção de fósforo e outro decantador secundário. O tratamento terciário é através de aplicação de cloro em tanque de contato. Para tratamento do lodo, haverá poços de sucção com bombas para encaminhamento do lodo a prensa desidratadora.

| UNIDSANHARÓ                                                   | CONCEPÇÃO                                                                             |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ETE SANHARÓ PROVISÓRIA</b>                                 | Reatores UASB                                                                         |
| <b>EEE BACIA A SANHARÓ</b><br>LAT.-8,323688<br>LON.-36,580545 | Gradeamento de retenção de resíduos + caixa de areia + poço de sucção com bombeamento |
| <b>EEE BACIA C SANHARÓ</b><br>LAT.-8.365850<br>LON.-36.560047 | Gradeamento de retenção de resíduos + caixa de areia + poço de sucção com bombeamento |

Tabela 2: Localização geográfica e concepção das ETE's e EEE's Tacaimbó

A operação da ETE e EEE's Sanharó também é realizada por operadores que seguem o planejamento da coordenação e as atividades geradas pelas unidades operacionais são registradas pelo GSAN, onde são gerados os RA's e OS's.

Na Figura 1 está apresentado o GSAN e na Figura 2 exemplos de RA e OS gerados.



OS AO GSAN.



Menu GSAN

Gsan

Ultimos Acessos

**Entre em Contato**

**Alterar Senha**

**Data Atual:**  
14/09/2023

**Usuário:**  
9057

**Grupo:**  
ACESSO NIVEL I  
ACESSO NIVEL III  
ESPECIAL  
PROGRAMACAO

**Nº Acesso:**  
1450

**Data Ult. Acesso:**  
14/09/2023 01:04:25

**Sair**

GSAN - Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento



Unidade do usuário: 5057 - COORDENACAO TECNICA DE ESGOTO IPOJUCA

**Telefones para suporte ao GSAN:**

Figura 1: Sistema Integrado de Gestão de Serviço de Saneamento – GSAN.

|                                                                                     |                                   |                                                                                                                                                                     |                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| COMPESA - 09.769.035/(00)-64                                                        |                                   | Nº: 53502040                                                                                                                                                        |                                                             |
| ORDEN DE SERVIÇO                                                                    |                                   | RA Nº: 63078246                                                                                                                                                     |                                                             |
| Data geração: 02/03/2023                                                            | Previsto: 13:00                   | Emitido em: 02/03/23 13:11                                                                                                                                          | Mofo: INTERNO                                               |
| Origem: COORDENADORIA TÉCNICA DE ESGOTO E PARÇA                                     |                                   | Atendente: MARCELLA VIANA CARVAL FATUA                                                                                                                              |                                                             |
| Projeto:                                                                            |                                   | Destino: .                                                                                                                                                          |                                                             |
| CLIENTE / SOLICITANTE                                                               |                                   |                                                                                                                                                                     |                                                             |
| Nome: MARCELLA VIANA CARVAL FATUA                                                   |                                   | Inscrição:                                                                                                                                                          |                                                             |
| CPF/CNPJ:                                                                           |                                   | Matrícula:                                                                                                                                                          |                                                             |
| End./Fone: AVENIDA LUIZ MARCEL - S/N - CENTRO TACARIBÓ<br>PE 55143-000/(81)95222333 |                                   | Localidade/Rota/Sequencial Rota:                                                                                                                                    |                                                             |
|                                                                                     |                                   | SIT. A/E:                                                                                                                                                           |                                                             |
|                                                                                     |                                   | Cat./Espec.:                                                                                                                                                        |                                                             |
|                                                                                     |                                   | Perfil do Imóvel:                                                                                                                                                   |                                                             |
| Ponto de Referência:                                                                |                                   |                                                                                                                                                                     |                                                             |
| SERVIÇO SOLICITADO                                                                  |                                   |                                                                                                                                                                     |                                                             |
| Tipo/Local:                                                                         |                                   | Tipo de Serviço:                                                                                                                                                    |                                                             |
|                                                                                     |                                   | LIMPEZA DE CAIXA COM VACUO                                                                                                                                          |                                                             |
| Pavimento Rua/Calçada:                                                              |                                   | Obs.: EEE 1 Tacaribó<br>Atividade: Limpeza de grade<br>Equipe: Operadores<br>Data: 09/03/2023 / EEE 1 Tacaribó<br>Atividade: Limpeza de grade<br>Equipe: Operadores |                                                             |
| INFORMAÇÕES CADASTRAIS - CAMPO                                                      |                                   |                                                                                                                                                                     |                                                             |
| IMÓVEL:                                                                             | <input type="checkbox"/> DEMOLIDO | <input type="checkbox"/> EM CONSTRUÇÃO                                                                                                                              | <input type="checkbox"/> TERCEIRO                           |
| CATEGORIA:                                                                          | <input type="checkbox"/> RES.     | <input type="checkbox"/> COM.                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> IND. <input type="checkbox"/> PUB. |
| Área Constr.: = m²                                                                  | <input type="checkbox"/> ÁGUA     | <input type="checkbox"/> FOGO                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> ESGOTO                             |
| <input type="checkbox"/> CONF.                                                      | <input type="checkbox"/> CORR.    | Par.: = m²                                                                                                                                                          | Material:                                                   |
| <input type="checkbox"/> DISTRIB.                                                   | <input type="checkbox"/> RAMAL    | <input type="checkbox"/> COLETOR                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> ESGOTO                             |
| CACHO                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                     |                                                             |

Figura 2: RA e OS.

Após a realização do serviço, momento no qual o RA e a OS devem ser encerrados no sistema, a OS irá apresentar os dados da real data de execução do serviço, a equipe que o realizou e o parecer técnico. Assim, para fins de fiscalizações da execução dos serviços pelos supervisores são utilizadas as OS, conforme exemplo demonstrado na Figura 3.

| CONCLUSÃO DO SERVIÇO - CAMPO |                |            |                                                                                                                                             |
|------------------------------|----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| COD. SERV.                   | EQUIPE         | DATA       | OBSERVAÇÕES OU MOTIVOS DA NÃO EXECUÇÃO:                                                                                                     |
|                              |                | 20/09/2021 |                                                                                                                                             |
| MATERIAL APLICADO            |                |            | PARECER FINAL EM CAMPO:<br>Serviço executado em 09.09.2021<br>Limpeza de caixa de areia na EEE Vale Dourado.<br>Equipe de Serafico/Lucivan. |
| DISCRIMINAÇÃO                | QUANTIDADE     |            |                                                                                                                                             |
|                              |                |            |                                                                                                                                             |
|                              |                |            |                                                                                                                                             |
|                              |                |            |                                                                                                                                             |
| EXECUTANTES:                 |                |            |                                                                                                                                             |
| ASS./MATRÍCULA               | ASS./MATRÍCULA | CLIENTE    |                                                                                                                                             |

Figura 3: Demonstrativo das informações inseridas na OS após a execução do serviço.

Para o acompanhamento diário do que está sendo inserido no sistema, são gerados relatórios dos RAs, pois esta ação gera um histórico bastante simplificado de todos os serviços que estão em aberto para serem executados como demonstra a Figura 4.

|                                                                                   |                                                                                                                           |                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>GSAN - SISTEMA DE GESTÃO DE SANEAMENTO</b></p> <p align="center">Filtrar Registro de Atendimento</p> | <p>PAG 2/4<br/>21/09/2021<br/>14:46:18<br/>R0405</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|

| UNIDADE ATUAL:<br>COORDENACAO TECNICA DE ESGOTO SAO FRANCISCO |                        |                         | SITUAÇÃO | NÚMERO DO RA | Matrícula<br>Cliente | Perfil do<br>Imóvel | OBSERVAÇÃO                                                     |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------|--------------|----------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| ESPECIFICAÇÃO                                                 | DATA DE<br>ATENDIMENTO | DATA DE<br>ENCERRAMENTO |          |              |                      |                     |                                                                |
| DEMANDAS INTERNAS DE REDE DE ESGOTO                           | 20/09/2021             |                         | Pendente | 59100458     | 1887249.8<br>7840241 | NORMAL              | Solicitacao de limpeza de grade na EEE Rio Corrente.           |
| DEMANDAS INTERNAS DE REDE DE ESGOTO                           | 20/09/2021             |                         | Pendente | 59100488     |                      |                     | Solicitacao de limpeza de grade na EEE Vale Dourado.           |
| DEMANDAS INTERNAS DE REDE DE ESGOTO                           | 20/09/2021             |                         | Pendente | 59100621     |                      |                     | Solicitacao de limpeza de poco de sucção na EEE Haus Bier.     |
| DEMANDAS INTERNAS DE REDE DE ESGOTO                           | 20/09/2021             |                         | Pendente | 59100641     |                      |                     | Solicitacao de limpeza de poco de sucção na EEE Vila Rulalia.  |
| DEMANDAS INTERNAS DE REDE DE ESGOTO                           | 20/09/2021             |                         | Pendente | 59100688     |                      |                     | Solicitacao de limpeza de poco de sucção na EEE Colina do Rio. |
| DEMANDAS INTERNAS DE REDE DE ESGOTO                           | 20/09/2021             |                         | Pendente | 59100836     |                      |                     | Solicitacao de limpeza de poco de sucção na EEE Colina Do Rio. |

Figura 4: Relatório de RA's pendentes.

Para a execução das atividades de operação, limpeza e manutenção de ETE's e EEE's são utilizados os procedimentos operacionais que estão disponíveis no Sistema de Gestão de Normativos - SGN da empresa. Oferecendo também os treinamentos para e padronização das rotinas. São gerados relatórios fotográficos e planilhas obtendo assim prazos para a próxima realização, mantendo assim registros e periodicidade adequada na execução.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o monitoramento da realização das atividades operacionais, de limpeza e manutenção das EEEs e ETE'S, observa-se o número de atividades individuais realizadas periodicamente. Tais atividades como limpeza de grade, caixa de areia, poço de sucção, descargas de lodo. Para ETE localizada no município de Tacaimbó, os serviços que vem sendo realizados desde janeiro até dezembro de 2022 foram contabilizados e separados por atividade e quantidade gerada por mês. Nas Figuras 6, 7, 8 estão apresentadas as quantidades de limpezas mensais. É utilizada uma planilha para contabilização dos serviços realizados mensalmente, conforme Figura 9.

Já para ETE e EEE's Sanharó foram contabilizados as ordens de serviço geradas no período de outubro a dezembro de 2022, demonstrada na Figuras 10 e 11, devido ao início da operação ter sido a partir desta época. A contabilização de atividades geradas facilita a organização de limpeza operacional, verificando se os operadores estão realizando as periodicamente as limpezas.

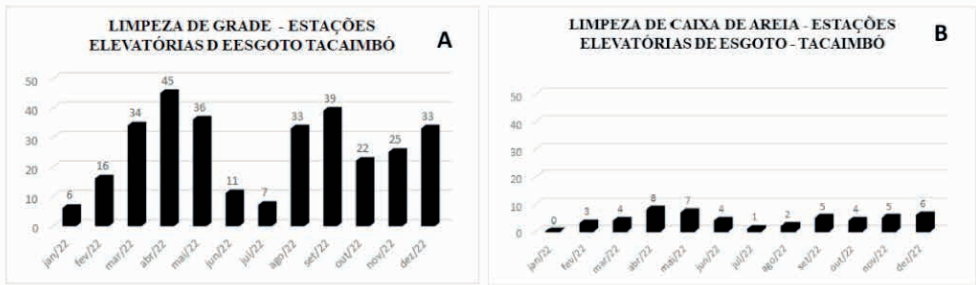


Figura 6: Limpezas de grade (A) e caixas de areia (B) realizadas mensalmente nas ETEs Tacaimbó.

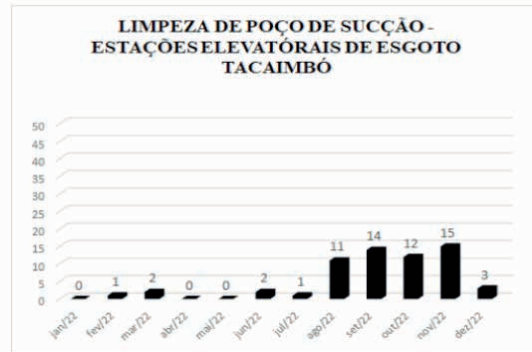


Figura 7: Limpezas de poços de sucção realizadas mensalmente nas ETEs Tacaimbó

| ETE Sanharó DEMANDA INTERNA DE ESGOTO GNR IPOJUCA 2023                                                                                 | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Capinação na área da EEE A/C                                                                                                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Capinação na área da EEE B                                                                                                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Capinação na área da ETE/EEE                                                                                                           |     | 17  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Capinação nas áreas laterais das lagoas estabilização (EEE/ETE)                                                                        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Esgotamentos em Unidades Operacionais em EEE A/ EEE B/ EEE C                                                                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Esgotamentos em Unidades Operacionais em ETE                                                                                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Limpeza de Grades (EEE A/EEE B/EEE C)                                                                                                  |     | 95  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Limpeza De Área / patio ETE/ EEE A/EEE B/ EEE C                                                                                        |     | 23  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Limpeza de poços (EEE A /EEE B/ EEE C                                                                                                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Limpeza de sobrenadante poço de sucção EEE A /EEE B/ EEE C                                                                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Limpeza em unidades operacionais em EEE A /EEE B/ EEE C ( Caixa de área, corre mão, escada, caixa de secagem)                          |     | 8   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Limpeza em unidades operacionais em EEE (Calhas, canaletas, filtros, escada, Tubulações...)                                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Limp. de calhas de secagem da lagoa de estabilização- Serviços Diversos                                                                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Pinturas em EEE/Lagoas (Parede, portão, casa de bombas...)                                                                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Pinturas em ETE (Parede, portão, casa de bombas...)                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Retirada de Sobrenadantes em Lagoas (EEE/ETE)</b>                                                                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Serviços de engenharia/Concreto em EEE/Lagoas , construção de leito de secagem (Construção em geral, reparos, reboco...)               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Serviços de engenharia/Concreto em ETE (Construção em geral, reparos, reboco...)                                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Serviços diversos na EEE A /EEE B/ EEE C</b> (Consertos de portões, cercas, serpentinas, recolher mídias)                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Serviços diversos na ETE/Lagoas</b> (Consertos de portões, cercas, serpentinas, recolher mídias)                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Serviços em geral em EEE A /EEE B/ EEE C (Varrer, lavar, recolher lixos, limpeza de salas, lavagem de banheiros, remoção de folhas...) |     | 5   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Serviços em geral em ETE/Lat Lagoas (Varrer, lavar, recolher lixos, lavagem de banheiros, remoção de folha...)                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Serviços de manutenção em Unidades Operacionais em EEE                                                                                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Serviços de manutenção em Unidades Operacionais em ETE (Decantadores, Filtros, UASB's, Fechadura.                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>TOTAL DE DEMANDAS INTERNAS</b>                                                                                                      |     | 148 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Figura 8: Contabilização das atividades realizadas nas unidades operacionais mensalmente

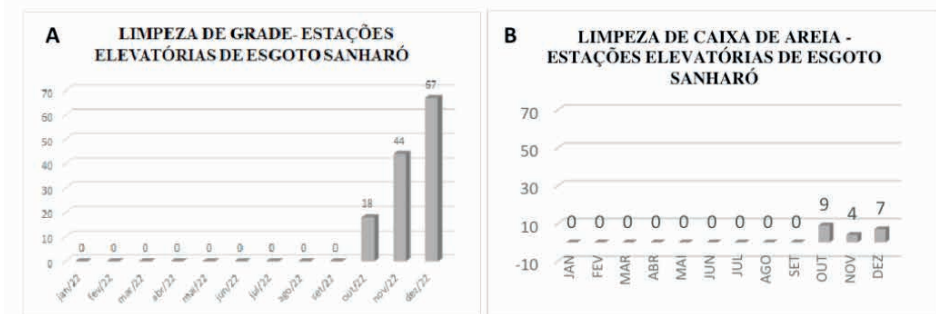


Figura 9: Limpezas de grade (A) e caixas de areia (B) realizadas mensalmente nas EEEs Sanharó.

As atividades de limpeza e manutenção da EEE’s começam a ser planejadas de acordo com a vazão de recebimento das EEE’s e de acordo com análises laboratoriais, no caso das ETE’s. Como resultado, EEE’s de maior porte e que recebem um maior volume esgoto, necessitam de uma quantidade maior de limpeza e a manutenção passa a ser mais frequentes nos equipamentos e instalações; já para as EEE’s de menor porte, apresentam consequentemente menor necessidade de limpeza. As quantidades de atividades também oscilam em decorrência de períodos mais chuvosos, onde é necessária uma maior atenção na operação das unidades devido ao transporte de mais resíduos pela rede coletora. Quando é identificada alterações nos resultados de análises laboratoriais nas ETE’s, em parâmetros como sólidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas ou coliformes termotolerantes, por exemplo, são programadas atividades de limpeza e descartes de lodo e areia, remoção de sujeiras e gorduras sobrenadantes nas unidades de tratamento com intuito de continuar o monitoramento dos resultados para verificação da eficácia as atividades realizadas.

Durante a execução das atividades também é acompanhado através da equipe de supervisão, se procedimentos operacionais e instruções de tratamento estão sendo seguidos pelos funcionários, já que foram treinados para isto e são de grande importância para padronização na realização das atividades. Esses procedimento devem ser seguidos pelos operadores durante a realização das atividades, auxiliando também na diminuição de riscos de acidentes e capacitando – o para cada tipo de atividade a ser desenvolvida

Diante do exposto, a implementação de um plano de gestão operacional pode permitir que as companhias de saneamento, avaliem e gerenciem suas atividades. Além disso, a utilização de sistemas de gerenciamento de informações pode ajudar a organizar e padronizar procedimentos, melhorando na eficiência e qualidade dos serviços prestados e aumentando na transparência da operação. Esses sistemas permitem que as companhias de saneamento gerenciem melhor a rotina de atividades relacionadas aos seus serviços. Pode-se notar através dos gráficos apresentados no estudo, que a quantidade de atividades realizadas pelos operadores e demais funcionários envolvidos com o sistema

de esgotamento sanitário, foram crescentes em meses de fluxo maior de efluentes e decrescente nos meses de menor fluxo, devido essa observação pode se planejar um cronograma de limpeza.

De fato, adotar planejamento com foco na gestão operacional, bem como implementação de sistemas de gerenciamento de informações, pode trazer inúmeros benefícios para as organizações, como, melhoria da qualidade dos serviços prestados onde a organização pode estar acompanhando os serviços realizados, tendo assim um cronograma para que essas limpezas e manutenções não realizadas com periodicidade inadequada.

O monitoramento também interfere na preservação dos equipamentos como, bombas, motores, tubulações, tornando maior a vida útil destes, pois o acúmulo de sujeira pode danificar esses equipamentos.

## CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados do presente estudo foi possível verificar que o planejamento e monitoramento das atividades e a inserção desses dados no sistema de gestão, como também a geração de Registros de Atendimento (RA's) e Ordens de Serviço (OS's) para as equipes operacionais, permitem uma melhora na organização da operação e manutenção nas EEE's e ETE's, planejando e organizando antecipadamente as ações de forma preventiva e para que se possa corrigir possíveis falhas através do acompanhamento dos resultados de análises laboratoriais do esgoto bruto e tratado. como o foco na melhoria contínua

Podemos concluir que é indispensável para manter a gestão organizacional da empresa, utilizando o GSAN, para auxiliar no monitoramento e planejamento não só das atividades, mas para fornecer registro de documentos afins de alcançar medidas de níveis de eficiências para as operações das EEE's e ETE's visando obter um resultado satisfatório do tratamento do efluente.

## REFERÊNCIAS

1. BRASIL. **Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011.** Dispões sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do: Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
2. CUNHA, Ricardo Picinin. **Estudo para implantação de um plano de manutenção preventiva em uma empresa de saneamento.** Panambi, RS. 2019.
3. HALACHMI, A.; BOUCKAERT, G. **Organizational Performance and Measurement in the Public Sector.** Quorum, 1996



4. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Perfil dos municípios brasileiros: saneamento básico: aspectos gerais da gestão de política de saneamento básico** 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://biblioteca.lbge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101610>>. Acesso em outubro de 2020.
5. NEELY, A. **Business Performance Measurement: unifying theory and integrating Practice**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 2. Ed
6. ROCHA, Claudia et al. **Proposta para o gerenciamento da estação de tratamento de esgotos Jarivatuba- ETE Jarivatuba**, Joinville, SC. 2005.
7. PERNAMBUCO. **Resolução n 12, de 27 de novembro de 2009**. Estabelece condições técnico-operacionais e procedimentos de fiscalização da prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, pela Companhia Pernambucana de Saneamento Compesa, em todo o Estado do Pernambuco.
8. Disponível <https://institutopublicx.com.br/wp-content/uploads/2019/01/SANEPAR.pdf> acessado em: 04 de janeiro de 2023, às 23:26 hrs.
9. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília -DF, 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_de\\_qualidade\\_da\\_agua.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_de_qualidade_da_agua.pdf). Acessado em: 17 de janeiro de 2023, às 16:52 hrs.

# ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA DE CICLO COMPLETO COMO MATERIAL DE RECOBRIMENTO EM ATERRO SANITÁRIO EM APARECIDA DE GOIÂNIA (GO)

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Débora Raíssa Marçal**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). Especialista em Saneamento e Saúde Ambiental pela Universidade Federal de Goiás. Técnica em Saneamento da Saneago-GO.

### **Beatriz Soares de Freitas Rodrigues**

Técnica em Controle Ambiental e graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Goiás. Estagiária da Saneago-GO.

### **Brenda Vitória de Sousa Fonseca**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). Especialista em tratamento de efluentes líquidos e disposição final de resíduos sólidos pela Universidade Federal de Goiás. Engenheira de aterro da Metropolitana Serviços Ambientais LTDA.

### **Helen Carla Miranda de Resende**

Engenheira Ambiental pela Faculdade de Caldas Novas (UNICALDAS). Especialista em Gestão em Sistemas de Saneamento pelo Instituto de Pós Graduação (IPOG). Engenheira Ambiental da Saneago-GO.

### **Theyssa Fernanda Barbosa Borges**

Bióloga pela Universidade Estadual de Goiás. Mestre em Ciências Biológicas. Gerente da Gerência de Resíduos de ETAs e ETEs na Saneago-GO.

**RESUMO:** A geração de resíduos é inerente ao processo de fabricação de água potável que ocorre nas Estações de Tratamento de Água. O principal resíduo gerado na ETA é o lodo de ETA (LETA), proveniente da água de lavagem de filtros e da descarga de decantadores, o qual precisa ser devidamente caracterizado para escolha de soluções para sua destinação. Uma das alternativas de aproveitamento do LETA é a sua utilização para o recobrimento de camadas em aterros sanitários. Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho foi classificar o lodo da ETA Meia Ponte, uma ETA de Ciclo Completo na cidade de Goiânia, e analisar o seu comportamento em camadas de cobertura em um aterro sanitário privado na cidade de Aparecida de Goiânia (GO). Para tanto, além da realização de análises com o intuito de determinar a classe do resíduo da referida ETA antes de propor a sua destinação, este

estudo contemplou a avaliação da trabalhabilidade do LETA no recobrimento de resíduos, bem como o seu desempenho geotécnico no aterro sanitário. Os resultados apresentaram um resíduo Classe II-A não perigoso não inerte, com considerável presença de materiais inorgânicos (resultados de sólidos fixos maior que sólidos totais voláteis). Quanto à sua trabalhabilidade, foi possível observar comportamento similar ao solo nos períodos de seca, possibilitando o seu espalhamento uniforme. Já nos períodos de alta pluviosidade, a “pasta” formada pela interação do resíduo com a chuva serviu como barreira hidráulica para contenção de erosões nos taludes provisórios. O estudo permite afirmar que, para este caso específico, há viabilidade no uso benéfico do LETA em substituição ao solo para camadas de cobertura, uma vez que evita a sua disposição como um rejeito e reduz custos na manutenção do aterro. Recomenda-se ainda a realização de novos estudos para efeito de comparação e similaridade de resultados, como também a realização de análises de água de arraste da chuva para verificação do carreamento de impurezas.

**PALAVRAS CHAVE:** Aterro Sanitário, ETA de Ciclo Completo, Lodo de ETA, Camadas de Cobertura, Uso benéfico do LETA.

## INTRODUÇÃO

Uma Estação de Tratamento de Água pode ser entendida como uma indústria, cuja matéria-prima é a água bruta que após diversas operações e processos tem como produto final a água tratada para consumo humano e como subproduto o lodo de ETA, geralmente proveniente das águas de lavagem de filtros e descarga de decantadores (OLIVEIRA, 2016).

Nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) brasileiras, o tratamento convencional é o mais utilizado para remoção das impurezas presentes na água bruta e é composto por três processos básicos: clarificação (coagulação, floculação e decantação/flotação), filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010; SOARES et al., 2009b).

A remoção dos sólidos presentes na água ocorre nos decantadores e por esse motivo, são nessas unidades que se gera o lodo. As características quantitativas e qualitativas desse resíduo variam de acordo com a qualidade da água bruta, o tipo e a quantidade de coagulante adicionado na etapa de coagulação, da eficiência dos floculadores e decantadores. O LETA pode também ser composto por resíduos provenientes dos clarificadores, lavagem de filtros, recuperação da água de lavagem ou uma combinação dessas operações (SOUZA et al., 1999; SOARES et al., 2009b).

O lodo de ETA (LETA) é constituído prioritariamente por frações inorgânicas – compostas por argila, silte, areia fina – mas também pode apresentar material húmico e microrganismos, além de produtos provenientes do processo de coagulação. É classificado como resíduo sólido Classe II pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) e, por esse motivo, precisa ser gerenciado nos termos da Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os resíduos Classe II são os resíduos não perigosos e podem ser classificados

em não-inertes (Classe IIA) e em inertes (Classe IIB) (ABNT, 2004). Os resíduos Classe IIA são aqueles que possuem características de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água. Já os resíduos Classe IIB são aqueles que não se solubilizam na água em quantidades relevante (ABNT, 2004).

Atualmente, a destinação dos LETAs no Brasil ocorre, em sua maioria, sem tratamento nos corpos hídricos, em inobservância aos padrões mínimos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 430/2011 e CONAMA nº 357/2005, potencializando a deterioração da qualidade de água dos rios e lagos (ANDRADE, 2014).

O lançamento do lodo em corpos hídricos devolve os materiais anteriormente removidos, mas, por outro lado, os químicos utilizados facilitam a sedimentação desses materiais, causando assoreamento dos rios, baixando a qualidade da água, podendo causar impactos à vida aquática, e causar eutrofização dos corpos hídricos pelos nutrientes presentes (RICHTER, 2001; HUSSEIN, 2021). Quando o lodo de ETA é descartado na água, não só a qualidade da água, mas a do solo também é afetada, há traços de metais que se acumulam no solo irrigado com canais que recebem esse lodo. Além disso, no verão ocorre alta acumulação de nutrientes, metais, carga orgânica e bactérias na água (HUSSEIN, 2021; WASSERMAN, 2018).

No estado de Goiás, conforme previsto no Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás (PERS, 2017), quanto à destinação do LETA, a recomendação é de que a fase líquida seja preferencialmente recirculada e a fase sólida seja aproveitada na construção civil ou utilizada como material de recobrimento dos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterro sanitário, desde que possua teor de sólidos de, no mínimo, 50%. Apesar disso, não se tem conhecimento de nenhuma experiência com essa destinação no estado de Goiás.

Cabe ressaltar que, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), o aterro sanitário é uma alternativa de disposição final de resíduos que consiste na distribuição ordenada de rejeitos e deve observar normas operacionais específicas, inclusive sistema de cobertura, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

O sistema de cobertura, de uma forma geral, tem a função de proteger a superfície das células de resíduos, minimizando impactos ao meio ambiente, visando especificamente o controle ou impedimento de infiltrações e diminuição da taxa de formação de percolados. Intenciona, ainda, o controle das emissões de biogás assim como a redução da exalação de odores e formação de poeiras a partir dos resíduos, ao mesmo tempo em que dificulta a catação e a proliferação de vetores (PRIM, 2011).

O recobrimento diário, com espessura mínima de 15 cm de solo, evita o arraste de detritos pelo vento, bem como a proliferação de vetores que possam provocar problemas de saúde pública. O recobrimento final é executado após o encerramento de uma parcela do aterro. Este possui espessura mínima de 40 cm de solo (OLIVEIRA, 2002).

No Brasil, a grande maioria dos aterros sanitários ainda possui cobertura com

camada homogênea de argila compactada. O LETA se apresenta como uma possibilidade para o recobrimento de resíduos nos aterros e pode ser utilizado tanto nas camadas intermediárias quanto na camada final (PEREIRA, 2005).

Considerando as recomendações do PERS-GO (PERS, 2017) e a necessidade de se implantar alternativas sustentáveis para o sistema de coberturas de aterros sanitários, este trabalho apresenta um estudo de caso da utilização de LETA de uma ETA de Ciclo Completo em Goiânia (GO) como material de recobrimento em um aterro sanitário em Aparecida de Goiânia (GO).

## OBJETIVOS

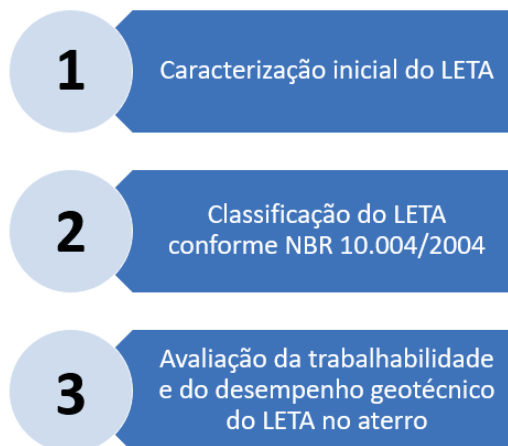
O objetivo geral deste trabalho é classificar o lodo da ETA Meia Ponte, uma ETA de Ciclo Completo na cidade de Goiânia, e analisar o seu comportamento em camadas de cobertura em um aterro sanitário privado na cidade de Aparecida de Goiânia (GO).

São objetivos específicos:

- I) Apresentar a caracterização do LETA quanto à sua granulometria, teor de sólidos, umidade e pH e realizar comparação do LETA com solo;
- II) Classificar o LETA quanto à sua periculosidade;
- III) Avaliar a trabalhabilidade do LETA no recobrimento de resíduos e o desempenho geotécnico do LETA no aterro sanitário;

## METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória do tipo estudo de caso. A metodologia utilizada foi constituída de três etapas principais, conforme fluxograma apresentado na figura 1.



**Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada.**

## **PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LETA**

A caracterização inicial do LETA da ETA Meia Ponte foi realizada por intermédio de um estudo preliminar de VIEIRA E PIMENTA (2021) intitulado “Estudo para aplicação do lodo de ETA como material de cobertura na operação do aterro sanitário de Goiânia – GO”, que apresenta resultados de análises dos parâmetros de granulometria por peneiramento, umidade, pH e sólidos totais, voláteis e fixos, com o objetivo de analisar a possibilidade de utilização do lodo da ETA Meia Ponte para recobrimento de resíduos.

## **SEGUNDA ETAPA: CLASSIFICAÇÃO DO LODO, CONFORME NBR 10.004/2004**

Em seguida, para classificação do lodo, conforme NBR 10004/2004 (ABNT, 2004), em outubro de 2022, foram coletadas amostras compostas do lodo da ETA *in natura*.

A coleta do LETA foi realizada seguindo a NBR 9603/2015 da ABNT que estabelece o procedimento para sondagem a trado, com trado manual de 6 polegadas de diâmetro e seguindo as etapas de perfuração dos furos com o trado manual de 6 polegadas e coleta de amostra do resíduo e envio para análise laboratorial.

A coleta foi realizada em quatro pontos, para amostragem composta. O material retirado foi depositado em uma bandeja de inox e misturado, posteriormente, a amostra foi colocada em um saco plástico e identificada.

As amostras foram encaminhadas para um laboratório externo com acreditação no INMETRO para realização das análises completas de massa bruta, lixiviado e solubilizado do LETA da ETA Meia Ponte consoante anexos 7 e 8 da NBR 10.004/2004.

## **TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE E DO DESEMPENHO GEOTÉCNICO DO LETA NO ATERRO**

Por último, mediante avaliação *in situ* e acompanhamento, verificou-se a trabalhabilidade do LETA no recobrimento de resíduos, bem como o seu desempenho geotécnico no aterro sanitário e o seu comportamento em períodos de pluviosidade.

## **RESULTADOS**

### **PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LETA**

Os resultados das análises realizados por VIEIRA E PIMENTA (2021) do lodo de ETA Meia Ponte são apresentadas no quadro 1:

| Parâmetro               | Peneira | LETA   | Solo   |
|-------------------------|---------|--------|--------|
| Granulometria           | #10     | 100%   | 91,96% |
|                         | #40     | 87,36% | 95,39% |
|                         | #200    | 45,90% | 46,04% |
| Sólidos totais          | -       | 61,80% | 87,40% |
| Sólidos totais voláteis | -       | 19,90% | 9,00%  |
| Sólidos totais fixos    | -       | 80,10% | 91,00% |
| Umidade                 | -       | 39,88% | 13,14% |

Quadro 1: Resultados analíticos do LETA da ETA Meia Ponte.

Fonte: VIEIRA E PIMENTA (2021).

Como pode ser observado no quadro 1, a distribuição granulométrica de ambos materiais é muito semelhante, sendo que o solo e o LETA possuem características de argilas siltosas.

## SEGUNDA ETAPA: CLASSIFICAÇÃO DO LODO, CONFORME NBR 10.004/2004

De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório externo contratado - todos os parâmetros analisados para massa bruta e para lixiviado satisfazem os limites permitidos pela NBR 10.004/2004 para ser classificado como resíduo não perigoso (classe II) e os resultados para solubilizado o classificam o material como não inerte. Assim, foi possível constatar que o LETA analisado é um resíduo Classe IIA - não perigoso não inerte (ABNT, 2004).

Os quadros 2, 3 e 4 apresentam os resultados da análise de massa bruta, lixiviado e solubilizado, respectivamente.

| Massa Bruta     |                     |                             |
|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| Parâmetro       | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 -Massa Bruta |
| Aspecto         | Sólido (S)          | ---                         |
| Cor da Amostra  | Marrom (MA)         | ---                         |
| Ponto de Fulgor | > 250 °C            | > 60 °C                     |
| Cianeto Total   | < 3,5 mg/kg         | 250 mg/kg                   |
| pH              | 6,47 -              | 2,0 - 12,5                  |
| Líquidos Livres | Não                 | ---                         |
| Sulfeto         | < 2,16 mg/kg        | 500 mg/kg                   |
| Óleos e Graxas  | 1,15%               | ---                         |
| % de Sólidos    | 56,44%              | ---                         |



|              |        |     |
|--------------|--------|-----|
| % de Umidade | 43,56% | --- |
|--------------|--------|-----|

Quadro 2: Resultado da análise de massa bruta

| Lixiviado                           |                     |                                      |                              |                     |                                      |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Parâmetro                           | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo F (Lixiviado) | Parâmetro                    | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo F (Lixiviado) |
| pH do Extrato Lixiviado             | 4,35                | ---                                  | Benzo(a)pireno               | < 0,00000500 mg/L   | 0,07 mg/L                            |
| Arsênio (As)                        | < 0,0010 mg/L       | 1,0 mg/L                             | Cloreto de Vinila            | < 0,00050 mg/L      | 0,5 mg/L                             |
| Bário (Ba)                          | 1,712 mg/L          | 70 mg/L                              | Monoclorobenzeno             | 0,0098 mg/L         | 100 mg/L                             |
| Cádmio (Cd)                         | < 0,001 mg/L        | 0,5 mg/L                             | Clorofórmio                  | < 0,0020 mg/L       | 6,0 mg/L                             |
| Chumbo (Pb)                         | < 0,010 mg/L        | 1,0 mg/L                             | Cresóis Totais               | 0,000492 mg/L       | 200 mg/L                             |
| Cromo (Cr)                          | < 0,010 mg/L        | 5,0 mg/L                             | o-Cresol                     | < 0,0000100 mg/L    | 200 mg/L                             |
| Fluoreto                            | 0,94 mg/L           | 150 mg/L                             | m,p-Cresol                   | 0,000492 mg/L       | 200 mg/L                             |
| Mercúrio (Hg)                       | < 0,00020 mg/L      | 0,1 mg/L                             | 1,4-Diclorobenzeno           | < 0,0020 mg/L       | 7,5 mg/L                             |
| Prata (Ag)                          | < 0,010 mg/L        | 5,0 mg/L                             | 1,2-Dicloroetano             | < 0,0020 mg/L       | 1,0 mg/L                             |
| Selênio (Se)                        | < 0,010 mg/L        | 1,0 mg/L                             | 1,1-Dicloroetano             | < 0,0020 mg/L       | 3,0 mg/L                             |
| Aldrin + Dieldrin                   | < 0,0000030 mg/L    | 0,003 mg/L                           | 2,4-Dinitrotolueno           | < 0,0000250 mg/L    | 0,13 mg/L                            |
| Clordanos (a-Clordano + g-Clordano) | < 0,0000050 mg/L    | 0,02 mg/L                            | Hexaclorobenzeno             | < 0,00000500 mg/L   | 0,1 mg/L                             |
| DDT+DDD+DDE                         | < 0,0000010 mg/L    | 0,2 mg/L                             | Hexaclorobutadieno           | < 0,002 mg/L        | 0,5 mg/L                             |
| 2,4-D                               | < 0,000050 mg/L     | 3,0 mg/L                             | Hexacloroetano               | < 0,000100 mg/L     | 3,0 mg/L                             |
| Endrin                              | < 0,0000030 mg/L    | 0,06 mg/L                            | Metiletilcetona (2-Butanona) | < 0,020 mg/L        | 200 mg/L                             |
| Heptacloro + Heptacloro Epóxido     | < 0,0000050 mg/L    | 0,003 mg/L                           | Nitrobenzeno                 | < 0,0000100 mg/L    | 2,0 mg/L                             |
| g-BHC (Lindano)                     | < 0,0000030 mg/L    | 0,2 mg/L                             | Piridina                     | < 0,000300 mg/L     | 5,0 mg/L                             |
| Metoxicloro                         | < 0,0000100 mg/L    | 2,0 mg/L                             | Tetracloroeto de Carbono     | < 0,0010 mg/L       | 0,2 mg/L                             |
| Pentaclorofenol                     | < 0,0000500 mg/L    | 0,9 mg/L                             | Tetracloroetano              | < 0,0020 mg/L       | 4,0 mg/L                             |
| Toxafeno                            | < 0,0000100 mg/L    | 0,5 mg/L                             | Tricloroetano                | < 0,0010 mg/L       | 7,0 mg/L                             |
| 2,4,5-T                             | < 0,000050 mg/L     | 0,2 mg/L                             | 2,4,5-Triclorofenol          | < 0,0000100 mg/L    | 400 mg/L                             |
| 2,4,5-TP                            | < 0,000050 mg/L     | 1,0 mg/L                             | 2,4,6-Triclorofenol          | < 0,0000100 mg/L    | 20 mg/L                              |
| Benzeno                             | < 0,0010 mg/L       | 0,5 mg/L                             | -                            | -                   | -                                    |

Quadro 3: Resultado da análise de lixiviado

| Solubilizado                        |                     |                                         |                                 |                     |                                         |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|
| Parâmetro                           | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo G (Solubilizado) | Parâmetro                       | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo G (Solubilizado) |
| pH do Extrato Solubilizado          | 6,2                 | ---                                     | Heptacloro + Heptacloro Epóxido | < 0,0000050 mg/L    | 0,00003 mg/L                            |
| Aldrin + Dieldrin                   | < 0,0000030 mg/L    | 0,00003 mg/L                            | Hexaclorobenzeno                | < 0,00000500 mg/L   | 0.001 mg/L                              |
| Arsênio (As)                        | < 0,0010 mg/L       | 0,01 mg/L                               | g-BHC (Lindano)                 | < 0,0000030 mg/L    | 0.002 mg/L                              |
| Bário (Ba)                          | 0,053 mg/L          | 0,7 mg/L                                | Manganês (Mn)                   | 0,098 mg/L          | 0,1 mg/L                                |
| Cádmio (Cd)                         | < 0,001 mg/L        | 0.005 mg/L                              | Mercúrio (Hg)                   | < 0,00020 mg/L      | 0.001 mg/L                              |
| Chumbo (Pb)                         | < 0,010 mg/L        | 0,01 mg/L                               | Metoxicloro                     | < 0,0000100 mg/L    | 0,02 mg/L                               |
| Cianeto Total                       | < 0,020 mg/L        | 0,07 mg/L                               | Nitrato como N                  | < 0,045 mg/L        | 10 mg/L                                 |
| Clordanos (a-Clordano + g-Clordano) | < 0,0000050 mg/L    | 0,0002 mg/L                             | Prata (Ag)                      | < 0,010 mg/L        | 0,05 mg/L                               |
| Cloreto                             | 5,231 mg/L          | 250 mg/L                                | Selênio (Se)                    | < 0,0010 mg/L       | 0,01 mg/L                               |
| Cobre (Cu)                          | < 0,005 mg/L        | 2,0 mg/L                                | Sódio (Na)                      | 9,160 mg/L          | 200 mg/L                                |
| Cromo (Cr)                          | < 0,010 mg/L        | 0,05 mg/L                               | Sulfato                         | 7,596 mg/L          | 250 mg/L                                |
| 2,4-D                               | < 0,000050 mg/L     | 0,03 mg/L                               | Surfactantes                    | < 0,15 mg/L         | 0,5 mg/L                                |
| DDT+DDD+DDE                         | < 0,0000010 mg/L    | 0.002 mg/L                              | Toxafeno                        | < 0,0000100 mg/L    | 0.005 mg/L                              |
| Endrin                              | < 0,0000030 mg/L    | 0,0006 mg/L                             | 2,4,5-T                         | < 0,000050 mg/L     | 0.002 mg/L                              |
| Fenóis Totais (Índice de Fenóis)    | < 0,002 mg/L        | 0,01 mg/L                               | 2,4,5-TP                        | < 0,000050 mg/L     | 0,03 mg/L                               |
| Ferro (Fe)                          | 4,650 mg/L          | 0,3 mg/L                                | Alumínio (Al)                   | 5,174 mg/L          | 0,2 mg/L                                |
| Fluoreto                            | < 0,200 mg/L        | 1,5 mg/L                                | Zinco (Zn)                      | 0,048 mg/L          | 5,0 mg/L                                |

Quadro 4: Resultado da análise de solubilizado

TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE E DO DESEMPENHO GEOTÉCNICO DO LETA NO ATERRO

Com relação a trabalhabilidade do material, foi observado em campo que o LETA se comporta como solo oriundo de escavação, que também é utilizado para o recobrimento dos resíduos.

A figura 2 ilustra o LETA disposto como material de recobrimento, permitindo observar que ele apresentou boa trabalhabilidade, sem desvantagens que pudessem inviabilizar o seu uso.



Figura 2: LETA utilizado como material de recobrimento.

Rocca (1993) apud Prim (2011) e Qasin e Chiang (1994) apud Prim (2011) descrevem que a porcentagem passante na peneira #200 (peneira com abertura de 0,074 mm), precisa ser maior que 30%, para atender os requisitos mínimos para cobertura de aterros. Em ambos os casos o LETA e solo apresentam valores superiores a 30% de material passante na peneira #200, validando, do ponto de vista geotécnico, tanto o uso do solo como do lodo, para cobertura de resíduos.

No tocante ao monitoramento do comportamento do lodo de ETA durante a chuva, observou-se que a área do aterro onde foi utilizado o LETA não apresentou erosões, mas sim resistência ao escoamento superficial. Além disso, não ocorreu mudança em seu comportamento, ou seja, o LETA permaneceu semelhante ao solo de recobrimento.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LETA

Quanto à granulometria, o LETA se assemelha ao solo da região. Além disso, o percentual para sólidos totais é maior que 50%, valor que atende a recomendação do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS, 2017) para disposição do material como recobrimento de aterros sanitários. Ademais, os resultados de sólidos totais fixos maior

que sólidos totais voláteis podem indicar maior presença de material inorgânico.

É importante reforçar que essa amostra foi coletada após um ano de secagem do lodo em uma lagoa de sedimentação. Contudo, em caso de necessidade de retirada do material em períodos menores de secagem, recomenda-se realizar o revolvimento da lagoa.

## **SEGUNDA ETAPA: CLASSIFICAÇÃO DO LODO, CONFORME NBR 10.004/2004**

As análises realizadas para o LETA permitem afirmar que se trata de um resíduo de Classe II A. Por se tratar de um material não perigoso, o resíduo não necessita de transporte especial e poderá ser aceito com maior facilidade em aterros sanitários, uma vez que a maioria dos aterros licenciados se destina a receber resíduos classe II.

Insta salientar que apesar da análise de sólidos indicar maior presença de material inorgânico no LETA, o resíduo foi classificado como não inerte por apresentar valores de alumínio e ferro maiores que os estabelecidos na Tabela G da NBR 10.004 (ABNT, 2004). Esses resultados podem ser justificados pela presença de coagulantes adicionados durante o tratamento de água, mas também por influência da água em decorrência do latossolo vermelho-amarelo local, que possui teores médios a altos de Óxido de Ferro III ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Santos e Zaroni, 2021).

## **TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE E DO DESEMPENHO GEOTÉCNICO DO LETA NO ATERRO**

No tocante a trabalhabilidade do material, observou-se, que seu comportamento é semelhante ao solo anteriormente utilizado no recobrimento dos resíduos. Não houve nenhum entrave quanto ao espalhamento do material, realizado com o trator de esteira.

Porém, no período de alta pluviosidade, observou-se que o LETA disposto sobre o platô (local de tráfego dos caminhões) se assemelha a uma pasta, dificultando a movimentação dos veículos. Em contrapartida, seu uso nos taludes provisórios foi importante na contenção de erosões, vez que ocorreu o crescimento de gramíneas nos taludes recobertos com o LETA (figuras 3 e 4), formando uma barreira hidráulica.

Possivelmente, esse desenvolvimento de plantas se deu pelas características geotécnicas mínimas e concentração de micronutrientes (N, P, K) do LETA.





Figura 3: Talude com recobrimento de LETA apresentando o crescimento de gramíneas.



Figura 4: Talude com recobrimento de LETA apresentando o crescimento de gramíneas.

Com relação ao desempenho geotécnico do LETA, observou-se *in situ*, que não houve fissuras ou trincas nos locais onde o material foi utilizado como material de recobrimento. Ressalta-se que o empreendimento realiza a raspagem do solo à medida que há o avanço do maciço de lixo, ou seja, o LETA não é aterrado.

## CONCLUSÕES

O lodo da estação de tratamento de água da ETA de ciclo completo analisado pode ser classificado como resíduo de classe II A - não perigoso e não inerte e possui teor de sólidos maior que 50%, com comportamento similar ao solo, validando a sua utilização

como material para cobertura de aterros sanitários (PERS, 2017).

Do ponto de vista técnico-operacional, é possível afirmar que o material não apresentou problemas na etapa de transporte. Outrossim, foi possível notar seu bom desempenho nos quesitos trabalhabilidade e desempenho geotécnico, bem como sua resistência ao escoamento superficial e a ausência de erodibilidade durante os períodos de pluviosidade.

Notou-se que seu uso sobre o platô, onde há movimentação de veículos, não é recomendado, vez que, durante períodos de elevada pluviosidade esse material provoca dificuldade no tráfego dos caminhões.

Recomenda-se ainda a realização de novos estudos que contemplem a análise completa de massa bruta, solubilizado e lixiviado do solo local, em conformidade com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), para efeito de comparação e similaridade de resultados, como também a realização de análises de água de arraste da chuva para verificação do carreamento de impurezas.

## REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, C. F. et al. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de eta e seus impactos na qualidade das águas. CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5. Belo Horizonte, MG, 2014.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004.
3. BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/L12305.htm). Acesso em: 02 jan.2023.
4. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255>. Acesso em: 05 abr 2023.
5. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 02 jan. 2023.
6. GONÇALVES, F.; SOUZA, C.H.U.; TAHIRA, F.S.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R.S. Incremento de lodo de eta em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. Revista DAE. Fevereiro, 2016.
7. HUSSEIN AM, MAHMOUD RK, SILLANPÄÄ M, ABDEL WAHED MSM. Impacts alum DWTPs sludge discharge and changes in flow regime of the Nile River on the quality of surface water and cultivated soils in Fayoum watershed, Egypt. Sci Total Environ, 2021
8. Lei Federal nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
9. LIBÂNIO, M. Fundamentos da qualidade e tratamento de água. Campinas, São Paulo: Editora Átomo. 2010. 3ª ed. 494 p.

10. OLIVEIRA, I. Y. Q. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. 71 p. Campo Grande: UFMS, 2016.
11. PERS-GO. Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás, 2017. Disponível em: [https://www.meioambiente.go.gov.br/arquivos/pers\\_versao\\_final\\_forum\\_de\\_residuos\\_solidos.pdf](https://www.meioambiente.go.gov.br/arquivos/pers_versao_final_forum_de_residuos_solidos.pdf). Acesso em 02 jan. 2022
12. PEREIRA, A. V. R. P. Desenvolvimento de um indicador para avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado em Eng. Ambiental) - UFSC, Florianópolis, SC, 2005. Disponível em:  
  
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102025/238671.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
Acesso em: 02 jan. 2022.
13. PRIM, E. C. C. Utilização de lodo de estações de tratamento de água e esgoto sanitário como material de cobertura de aterro sanitário. Tese (Doutorado em Eng. Ambiental) - UFSC, Florianópolis, SC, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103375/317425.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 jan. 2022
14. QASIM, S.R.; CHIANG, W. Sanitary Landfill Leachate: generation, control and treatment. Technomic Publishing Co., Inc, 1994.
15. RICHTER CA. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo (SP): Editora Edgard Blücher LTDA.; 2001.
16. ROCCA, A. C. C. Resíduos Sólidos Industriais. 2. ed.rev. ampliada. São Paulo: CETESB, 1993.
17. SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Latossolos vermelhos. Embrapa Solos. 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chavedo-sibcs/latossolos/latossolos-vermelhos>. Acesso em 10 jan. 2023.
18. SOARES, A. F. S.; CUNHA, A. B. L. ; MACHADO, A. O. V. ; LAGES, F. A. E. . Caracterização físico-química do lodo gerado nas ETAs e impactos ambientais associados ao lançamento em corpo d'água. In: Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, 8., / Simpósio de Engenharia Ambiental do Espírito Santo, 4., Vitória/ES. As cidades brasileiras e seus problemas ambientais: oportunidades e desafios, 2009b.
19. SOUZA, A. G. et al. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. ABES, 1999.
20. VIEIRA, B. H. R. V.; PIMENTA, S. M. Estudo para aplicação do lodo de ETA como material de cobertura na operação do aterro sanitário de Goiânia (GO). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária). IFG, 2021.
21. WASSERMAN JC, SILVA LO, DE PONTES GC, LIMA EP. Mercury contamination in the sludge of drinking water treatment plants dumping into a reservoir in Rio de Janeiro, Brazil. Env Sci Pollut Res, 2018



# BIOINDICADORES COMO FERRAMENTA PARA MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA – UMA EXPERIÊNCIA EM AMBIENTE URBANO, CAMPO GRANDE/MS

*Data de submissão: 21/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

**Maria Helena da Silva Andrade**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS  
Campo Grande, Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/3618197296141334>

**Gabriel Parente de Aquino**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS  
Campo Grande, Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/9798211656156060>

**Matheus Felipe Galhardo**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS  
Campo Grande, Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/6058522922563375>

**RESUMO:** O presente relato surgiu como um relatório de estágio obrigatório, mas ao longo dos trabalhos foi identificado uma divergência entre os resultados obtidos através do índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) com os resultados publicados de forma pública pela prefeitura do município. Construímos este artigo com a premissa de evidenciar e analisar essa diferença através do uso de bioindicadores de qualidade de água como método de análise, contrapondo o método utilizado

pelas autoridades que se baseiam no uso do Índice de Qualidade de Água (IQA). Os processos, métodos e resultados são todos descritos aqui como um relato de experiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água, qualidade, bioindicadores.

## BIOINDICATORS AS A TOOL FOR MONITORING WATER QUALITY - AN EXPERIENCE IN URBAN ENVIRONMENT, CAMPO GRANDE/MS

**ABSTRACT:** This report emerged as a mandatory internship report, but throughout the work a divergence was identified between the results obtained through the Biological Monitoring Working Party (BMWP) index and the results published publicly by the city hall. We built this article with the premise of highlighting and analyzing this difference through the use of water quality bioindicators as an analysis method, contrasting the method used by authorities that are based on the use of the Water Quality Index (WQI). The processes, methods and results are all described here as an experience report.

**KEYWORDS:** Water, quality, bioindicators.

## INTRODUÇÃO

Os corpos de água podem modelar a paisagem, possibilitando a observação dos elementos naturais e sociais em um determinado espaço, sendo um reflexo do uso e ocupação existente na bacia (LEAL, 2000). Além disso, o estudo da qualidade ecológica da água, recurso essencial para a manutenção das dinâmicas natural e artificial associadas ao uso e ocupação da terra, necessita ser aprofundado, considerando os problemas atuais de planejamento e gestão hídrica. De acordo com Bacci & Pataca (2008), a degradação ambiental associada à qualidade das águas de uma bacia hidrográfica tem relação direta com as atividades antrópicas desenvolvidas nestes ambientes. O presente relato de experiência é resultado de uma atividade prática desenvolvida como parte do cumprimento obrigatório de Estágio Supervisionado no curso de Bacharelado em Geografia, da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. A realização do experimento a ser relatado esteve sob a supervisão da coordenação do Laboratório de Geoecologia e teve o objetivo de promover o treinamento dos estagiários a partir da aplicação de protocolos de qualidade de água consolidados e reconhecidos e, para além, averiguar a qualidade da água através do uso de bioindicadores (macroinvertebrados bentônicos).

## DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

A fim de comparar os resultados encontrados com a condição divulgada pela prefeitura municipal de Campo Grande/MS através de placas sinalizadoras nos locais de monitoramento, realizou-se uma coleta de sedimento e seu tratamento em laboratório. O local escolhido está localizado nos limites do campus da UFMS e foi determinado pelo fácil acesso e proximidade ao laboratório onde o tratamento das amostras foi realizado. Trata-se de um ponto do Córrego Cabaça, constituinte da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeira, denominado CAB03 (20°29'52.9"S 54°36'48.6"W) nos relatórios anuais de qualidade de águas superficiais publicados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Gestão Urbana – SEMADUR, por meio de um Programa de Monitoramento de Qualidade de Água intitulado “Córrego Limpo, Cidade Viva”. Os relatórios anuais foram acessados com facilidade no sítio público da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Gestão Urbana (<https://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/programas-e-projetos/outros-programas-e-projetos>).

É importante salientar que, também, a escolha deste local deu-se pelo fato de esta bacia não receber contribuição de nenhuma outra, tornando-a ímpar. A coleta de material de fundo foi realizada no dia 26 de abril de 2022, no período matutino. A utilização da fauna zoo-bentônica é considerada como um dos melhores indicadores que refletem as condições ambientais locais, devido à pequena capacidade locomotora de seus componentes e seu contato direto com o substrato, apresentando, por isso, grande potencial para utilização como bioindicadores (SOUZA & ABÍLIO, 2006; PADCT, 1993; 1994).

Ainda para CALLISTO, MORETTI & GOULART (2001):

Comunidades bentônicas necessitam de um certo tempo para estabelecer suas populações, que por sua vez necessitam de condições ambientais próprias para a sua permanência no meio. A partir deste ponto, atuam como monitores contínuos das condições ecológicas dos rios, indicando tanto variações recentes quanto as ocorridas no passado, decorrentes do lançamento de efluentes industriais e que tenham afetado a qualidade das águas (p. ex. contaminação por metais pesados) e a diversidade de habitats (p. 72).

Metodologicamente, coletou-se três amostras de sedimento para a análise, respectivamente, da margem direita, margem esquerda e do centro do leito do córrego, obedecendo rigorosamente os protocolos internacionais. Para tanto, utilizou-se de pegador tipo Surber, com o qual o sedimento de uma área conhecida é recolhido e retido em uma malha com 0,25mm de abertura. Após a coleta em sacos plásticos, cada amostra foi fixada com formaldeído a 4%, etiquetada e identificada e, em seguida, transportadas para o laboratório onde procedeu-se a lavagem de cada uma com o uso de peneira de malha própria e de abertura de 0,5mm. Depois, as três amostras foram coradas com o corante Rosa de Bengala e passaram, em descanso, por 24h sem serem manuseadas. A triagem foi feita utilizando-se dois protocolos: 1) triagem sob lupa estereoscópica e 2) triagem utilizando-se mesa de luz. A seguir, procedeu-se a identificação da fauna bentônica por meio de chaves de identificação clássicas (EPLER, 1992; MERRIT & CUMMINS, 1996; TRIVINHO-STRIXINO & STRIXINO, 1995).

## RESULTADOS OBTIDOS

Após o processo da triagem realizada em todas as amostras coletadas, foram encontrados espécimes dos seguintes grupos: Chironomidae, Oligochaeta, Hydracarina, Ceratopogonidae e Thiaridae. Posteriormente, aplicou-se o Índice Biótico denominado Biological Monitoring Working Party (BMWP), originalmente concebido na Grã-Bretanha e adaptado para regiões tropicais por Junqueira e Campos (1998). O BMWP é um índice que atribui valores (scores) para cada família, com base na sua tolerância ao impacto. Os valores variam entre 1 e 10 e são atribuídos de acordo com a sensibilidade das famílias a poluentes orgânicos. Famílias sensíveis a altos níveis de poluentes recebem valores mais altos, enquanto famílias tolerantes recebem valores mais baixos. No caso estudado, as pontuações dos grupos encontrados são: Oligochaeta - pontuação 1, Chironomidae - pontuação 2, Hydracarina - pontuação 4, Ceratopogonidae - pontuação 4 e Thiaridae - pontuação 6. De acordo com o gabarito do índice BMWP, a partir do somatório dos valores registrados, obteve-se pontuação 17, indicando como “crítica” a qualidade da água naquele ponto e naquele momento.

Quanto aos relatórios publicados pela prefeitura sobre o ponto estudado (CAB03), estes mantêm os resultados com o padrão de qualidade ‘regular-bom’ desde 2009, quando

houve a primeira publicação pelo site da SEMADUR - Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Gestão Urbana. Registra-se que o índice utilizado pela gestão pública é o IQA (Índice de Qualidade de água) que utiliza apenas parâmetros físicos e químicos, à exceção das bactérias termotolerantes. Assim mesmo, entende-se importante observar que os resultados são discrepantes aos disponibilizados pela prefeitura. Além disso, vale ressaltar a presença de elevado volume de resíduos sólidos no local, como plásticos e rejeitos de materiais de construção. Mas não apenas isso, também foram encontradas nas amostras de sedimentos uma grande quantidade de materiais vítreos, desde tamanhos potencialmente perigosos a fragmentos de vidro moídos.

Reforça-se o contraste das informações obtidas nos relatórios recentes do Programa Córrego Limpo, Cidade Viva, onde o ponto de coleta CAB03, pertencente ao córrego Cabaça, aparece com qualidade de água entre regular e boa. Há também uma placa sinalizadora próxima ao ponto de coleta, indicando que a água está “boa”, entretanto os organismos encontrados no local são, em sua maioria, resistentes à poluição e a contaminação, como os Chironomídeos e os Oligoquetos, ambos com valores baixos de riqueza de espécies.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através das atividades indicam uma forte discrepância entre o que foi indicado pelo índice BMWP e o que está publicado nos relatórios oficiais, que são públicos e de fácil acesso pela internet. A partir disto, fica clara a necessidade de estudos mais aprofundados e com maior período de análise, incluindo, dentro do possível, todas as estações do ano, bem como a ampliação de pontos de monitoramento, a fim de reforçar ou não o que foi observado.

Por fim, a experiência vivida reforça a necessidade de capacitação e qualificação dos estudantes do curso de Geografia no sentido de ampliarem seus olhares geográficos sobre a paisagem, qualificando a análise a respeito do uso e ocupação das bacias hidrográficas. Além disso, ratifica a importância de que a gestão pública necessita aplicar outras ferramentas de monitoramento de qualidade de água, além do IQA para que se possa, de fato, acompanhar e monitorar a qualidade das águas urbanas culminando com subsídios ao planejamento e gestão dos recursos hídricos no perímetro urbano do município de Campo Grande/MS.

## REFERÊNCIAS

BACCI, D.; PATACA, E. **Educação para a água. Estudos Avançados**, Portal de revistas da USP, 22(63), 211-226, 2008. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/eav/article/view/10302>>. Acesso em: 20/06/2022.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 6, n. 1, pag. 71-82, Jan/Mar 2001.

EPLER, J. H. **Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of Florida**. Department of environmental Regulation, Tallahassee-Florida. Tallahassee, 1992. 317 p.

JUNQUEIRA, MV. and CAMPOS, SCM., 1998. **Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil)**. Acta Limnologica Brasiliensia, vol. 10, no. 2, p. 125-135.

LEAL, A. C. et al. **Gestão das Águas no Pontal do Paranapanema**-São Paulo. 2000. Tese de Doutorado.

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W. **An introduction to the aquatic insects of North America**. 3<sup>o</sup> edition. Dubuque, Kendall/Hunt, 1996. 862 p.

PADCT/CIAMB. **Relatório Anual do Projeto Estudos ambientais na Planície de Inundação do Alto rio Paraná no trecho compreendido entre a foz do rio Paranapanema e o reservatório de Itaipú**. Universidade Estadual de Maringá, DBI/NUPELIA. 3V. 612 p. 1993.

PADCT/CIAMB. **Relatório Anual do Projeto Estudos ambientais na Planície de Inundação do Alto rio Paraná no trecho compreendido entre a foz do rio Paranapanema e o reservatório de Itaipú**. Universidade Estadual de Maringá, DBI/NUPELIA. 2V. 299 p. 1994.

SOUZA, A. H. F. F.; ABÍLIO, F. J. P. **Zoobentos de duas lagoas intermitentes da Caatinga paraibana e as influências do ciclo hidrológico**. Revista de Biologia e Ciências da Terra. Suplemento Especial, n.1, p. 146-164, 2006.

TRIVINHO-STRIXINO, S.; STRIXINO, G. **Larvas de Chironomidae do Estado de São Paulo. Guia de identificação e diagnose dos gêneros**. São Carlos: PPG-ERN/UFSCAR, 1995. 229p.

# DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS EM PROCESSO OXIDATIVO MEDIADO POR UM COMPLEXO DE FERRO (III)

*Data de submissão: 18/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Larissa Carreiro de Souza**

Escola de Química, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro.  
Rio de Janeiro - RJ  
<https://lattes.cnpq.br/3285464936051169>

### **Felipe Pereira da Silva**

Escola de Química, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro.  
Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/1143927289210511>

### **Aline Marques Ferreira Linhares**

Escola de Química, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro.  
Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/1811575893844772>

### **Fabiana Valéria da Fonseca**

Escola de Química, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro.  
Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/8778107230566167>

**RESUMO:** Devido à crescente poluição e a escassez da água, têm-se buscado progredir com o desenvolvimento industrial, social e tecnológico e, simultaneamente, garantir a preservação hídrica. As águas residuais geradas na indústria têxtil são

tóxicas quando lançadas nos corpos hídricos sem o tratamento adequado, o que demanda o uso de tecnologias avançadas. A reação de Fenton é atraente, mas requer acidificação das águas residuais a valores de pH entre 3,0 - 4,0. Assim, variações nesse processo têm sido estudadas para reduzir essa limitação. Para explorar a aplicação de um complexo de ferro (III) (FeL) como catalisador na reação de Fenton, foi estudada a degradação do corante reativo Vermelho de Drimaren X-6BN (VDX-6BN). O FeL foi obtido e caracterizado por espectroscopia no infravermelho, espectroscopia eletrônica, difração de raios X (DRX), ponto de fusão e condutividade molar. Os experimentos foram conduzidos utilizando equipamento Jar Test a 200 rpm e temperatura ambiente (~20 °C). O sistema foi inicialmente agitado por 5 min, seguido de adição de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e ajuste de pH. A amostra foi removida, filtrada e a absorbância foi medida a 516 nm utilizando um espectrofotômetro. Os resultados mostraram que o FeL é um catalisador promissor para a degradação de compostos orgânicos, particularmente o corante reativo. As melhores condições para a reação foram pH 6,0, concentração inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 0,01170 mol/L, concentração de

FeL de 0,28 g/L e 0,21 g/L e taxas de remoção de VDX-6BN de  $85,63 \pm 1,21\%$  e  $84,85 \pm 0,80\%$ , respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fenton-like, complexo de ferro, efluente têxtil.

## DEGRADATION OF ORGANIC COMPOUNDS IN OXIDATIVE PROCESS MEDIATED BY AN IRON (III) COMPLEX

**ABSTRACT:** Owing to increasing pollution and water scarcity, progress has been made with industrial, social, and technological development and, simultaneously, ensuring water preservation. Wastewater generated by the textile industry is toxic when released into water bodies without adequate treatment, which requires the use of advanced technologies. Fenton reactions are attractive, but require acidification of wastewater with pH values between 3.0 - 4.0. Therefore, variations in this process have been studied to overcome this limitation. The manipulation of the reactive dye Drimaren's Red X-6BN (VDX-6BN) was studied to explore the speculative application of an iron (III) complex (FeL). FeL was obtained and characterized using infrared spectroscopy, UV-Vis spectroscopy, XRD, melting point, and molar conductivity measurements. The experiments were performed using Jar Test equipment at 200 rpm and room temperature ( $\sim 20^\circ\text{C}$ ). The system was stirred for 5 min, followed by addition of hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) and pH adjustment. The sample was removed and filtered, and the absorbance was measured at 516 nm using a spectrophotometer. The results showed that FeL is promising for handling organic products, specifically reactive dyes. The best conditions for occurrence were pH 6.0, initial  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentration of 0.01170 mol/L, FeL concentration of 0.28 g/L and 0.21 g/L and VDX-6BN removal rates of  $85.63 \pm 1.21\%$  and  $84.85 \pm 0.80\%$ , respectively.

**KEYWORDS:** Fenton-like, iron complex, textile effluent.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, o desafio do uso racional e da preservação dos corpos hídricos vem sendo muito debatido devido à necessidade de frear a poluição e simultaneamente progredir com o desenvolvimento da sociedade.

Entre todos os setores da indústria, as águas residuais geradas pela indústria têxtil são poluentes e tóxicas para os organismos aquáticos e humanos, quando descartadas nos corpos de água sem tratamento adequado. Um componente comum presente nesses efluentes são os corantes, e sua presença nas mesmas pode gerar efeitos adversos nos ambientes aquáticos em termos de demanda química (DQO) e demanda biológica de oxigênio (DBO) (SARATALE et al., 2009).

Além disso, as moléculas de corante contêm grupos reativos de auxocromos e cromóforos que proporcionam uma melhor fixação do corante nas fibras e uma intensificação da cor, respectivamente (DURÁN e MONTEAGUDO, 2008). No entanto, a degradação dessas moléculas produz subprodutos altamente tóxicos, tais quais compostos cancerígenos (PRIETO, 2005).



O processo de beneficiamento da fibra úmida, bastante difundido neste segmento, consome grande quantidade de água potável, com um consumo de água em torno de 120 a 280 litros para cada quilograma de tecido processado nas tinturarias e plantas de acabamento (AJMAL et al., 2014). Esse alto consumo de água e o uso de pigmentos em altas concentrações geram efluentes altamente coloridos que, quando lançados em ambientes naturais, figuram um problema para a vida aquática e causam mutações genéticas em humanos (GHALY et al., 2014).

Dentre as classes de corantes, os corantes reativos caracterizados pela presença do grupamento azo ( $-N=N-$ ) em suas estruturas, são os mais utilizados na indústria têxtil para a pigmentação de diversos materiais naturais e sintéticos (KATHERESAN et al., 2018). Esses corantes estão entre os contaminantes mais problemáticos em efluentes têxteis, com mais de 15 % dos corantes têxteis perdidos na corrente de descarte após o processo de tingimento (PRIETO, 2005).

Assim, o pré-tratamento é necessário para que esses efluentes possam ser descartados de acordo com as normas sem causar danos ao meio ambiente. Para isso, diversos processos físico-químicos e biológicos, isolados e combinados, têm sido aplicados (LEMLIKCHI, 2015). Um exemplo são os processos oxidativos avançados (POAs) que vêm se destacando devido ao alto potencial oxidante dos radicais hidroxila formados nesses processos.

Dentre os POAs, a reação de Fenton tem atraído atenção e sido amplamente estudada devido a sua alta eficiência em temperatura ambiente, operação simples, reagentes prontamente disponíveis, rápida velocidade de reação e curto tempo de processamento (PALÁCIO, 2012). No entanto, uma das principais desvantagens desta reação é a necessidade de acidificar o efluente para um pH em torno de 3,0 - 4,0.

Dessa forma, variações no processo têm sido investigadas de forma a reduzir suas limitações. Uma das possíveis alternativas envolve a aplicação do processo Fenton ou foto-Fenton com indução de complexos de ferro na degradação de contaminantes. O tratamento de efluentes empregando materiais à base de ferro têm sido amplamente aplicado visando à redução da quantidade de energia gasta e, conseqüentemente os custos operacionais (LI et al., 2016), além disso, tem sido considerada vantajoso devido à estabilidade do ferro em uma faixa mais ampla de pH em relação àquela na ausência de complexos, além de sua abundância natural na crosta terrestre (NOGUEIRA et al., 2007)

## 2 | OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo a obtenção de um complexo de Ferro (III) e sua aplicação como catalisador em uma reação do tipo Fenton visando a degradação de compostos orgânicos em meio aquoso.

### 3 | METODOLOGIA

A síntese do complexo (FeL) foi realizada sob agitação magnética por 2h, por adição de uma solução metanólica de cloreto de ferro (III) hexahidratado (1:2) ao ligante (L) obtido por condensação do salicilaldeído com etanolamina (1:1) (DIONÍZIO et al., 2021). Em seguida, o FeL foi precipitado e sua filtração se deu em papel de filtro qualitativo.

O complexo foi caracterizado a partir das técnicas de Espectroscopia no Infravermelho (IV), Espectroscopia Eletrônica no Ultravioleta-Visível (UV-vis), Difração de Raios-X (DRX) pelo método do pó, Ponto de Fusão (PF) e Condutividade Molar ( $\Lambda_m$ ).

Os ensaios de oxidação do corante reativo Vermelho de Drimaren X-6BN (VDX-6BN) foram realizados utilizando um aparelho de Jar Test, a 200 rpm e temperatura ambiente ( $\sim 20^\circ\text{C}$ ). Primeiramente, em bécheres contendo 300 mL de solução de corante 20 mg/L, foi adicionada a massa calculada de FeL para concentrações ( $C_{\text{FeL}}$ ) entre 0,07 e 0,28 g/L, com o sistema sendo agitado por 5 minutos. Em seguida, peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) era adicionado de modo a se obter concentrações iniciais ( $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{inicial}}$ ) entre 0,00389 e 0,01564 mol/L. Nos ensaios preliminares, o pH foi ajustado para 6,0 e, nos demais, o pH era ajustado e mantido fixo (em pH 3,0, 6,0 ou 9,0), com solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 10% ou de hidróxido de sódio (NaOH) 10%, de acordo com a necessidade. Em tempos predefinidos, uma alíquota era retirada, filtrada com um filtro seringa de 0,45  $\mu\text{m}$  para remover o catalisador em solução e tinha sua absorvância medida em 516 nm, com o auxílio de um Espectrofotômetro Shimadzu UV-1800.

Foi realizada a avaliação do efeito do pH (3,0-9,0), da variação da concentração inicial de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0,00389 e 0,01564 mol/L), e da concentração de corante (0,07 e 0,28 g/L). Todos os experimentos foram realizados, no mínimo, em duplicata.

Para o tratamento de dados cinéticos optou-se pela utilização do modelo Behnajady-Modirshahla-Ghanbery (BMG). Para esse modelo, têm-se a Equação 1.

$$t / [1 - (C/C_0)] = m + b t \quad \text{equação (1)}$$

Esta equação possui como parâmetros as constantes b (coeficiente angular) e m (coeficiente linear) e, ao fazer o inverso dessas, obtêm-se à taxa de reação inicial ( $1/m$ ) e a capacidade máxima de oxidação/descoloração ( $1/b$ ) (CHAN e CHU, 2003; BEHNAJADY et al., 2007). Finalizando, plota-se um gráfico de  $1 - (C/C_0)^{-1}$  em função do tempo e realiza-se a regressão linear.

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Caracterização do complexo

Primeiramente, a região escolhida para realizar a análise IV foi a que corresponde ao IV-médio, localizada entre 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , pois nesta região ocorrem absorções de

energia que provocam vibrações moleculares como estiramentos e deformações angulares características de grupos orgânicos relevantes, quando a luz eletromagnética incide sobre estes compostos (SILVERSTEIN et al., 2005; SKOOG et al., 2006).

A Tabela 1 expõe os resultados encontrados e compara-os com os encontrados na literatura.

| VIBRAÇÃO                                | L (cm <sup>-1</sup> ) (Dionizio et al., 2021) | FeL (cm <sup>-1</sup> ) | Referência (cm <sup>-1</sup> ) (SILVERSTEIN et al., 2005) |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|
| n (O-H) <sub>(álcool)</sub>             | 3374                                          | 3425                    | 3332                                                      |
| n (C-H) <sub>(aromático)</sub>          | 3060                                          | 3023                    | 3051                                                      |
| n <sub>ass</sub> (C-H) <sub>(CH2)</sub> | 2934                                          | 2925                    | 2926                                                      |
| n (C=N) <sub>(imina)</sub>              | 1634                                          | 1635                    | 1624                                                      |
| n (C=C) <sub>(aromático)</sub>          | 1613                                          | 1599                    | 1599                                                      |
| n (C-O) <sub>(fenol)</sub>              | 1216                                          | 1198                    | 1207                                                      |
| n (C-O) <sub>(álcool)</sub>             | 1066                                          | 1052                    | 1085                                                      |
| δ <sub>s</sub> (C-H) <sub>(CH2)</sub>   | 1462                                          | 1470                    | 1465                                                      |
| δ (C-H) <sub>(aromático)</sub>          | 758                                           | 758                     | 900-675                                                   |
| δ (O-H) <sub>(fenol)</sub>              | 659                                           | ---                     | 650                                                       |
| δ (C=C) <sub>(aromático)</sub>          | 640                                           | 645                     | 642                                                       |

Tabela 1: Principais bandas de L, FeL e suas respectivas atribuições na região do IV.

A técnica de UV-vis foi realizada em solução, utilizando metanol espectroscópico para a diluição, visando obter informações a respeito das transições eletrônicas que ocorrem no material.

A Tabela 2 apresenta as atribuições das bandas existentes para cada transição eletrônica no L e no FeL.

| TRANSIÇÃO ELETRÔNICA | L (SILVA,2020 e SANTOS, 2017) |                                           | FeL                   |                                           |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
|                      | λ <sub>máx</sub> (nm)         | ε (mol <sup>-1</sup> L cm <sup>-1</sup> ) | λ <sub>máx</sub> (nm) | ε (mol <sup>-1</sup> L cm <sup>-1</sup> ) |
| d-d                  | -                             | -                                         | 512,5                 | 241,51                                    |
|                      | 400                           | 1775,69                                   | -                     | -                                         |
| π-π*                 | 315                           | 4416,19                                   | 330                   | 3138,2                                    |
|                      | 277                           | 4278,55                                   | 256                   | 9830,9                                    |
| n-σ*                 | 215                           | 13370,61                                  | 213,5                 | 25015                                     |

Tabela 2: Atribuições de bandas a cada transição eletrônica existentes no L e no FeL.

A difração em raios-X (DRX) é uma análise utilizada a fim de se obter informações relevantes quanto à cristalinidade e confirmação de estruturas. O método utilizado neste trabalho foi o que utiliza o pó e a Figura 1 apresenta o padrão obtido pelo método de DRX a partir do pó utilizado.

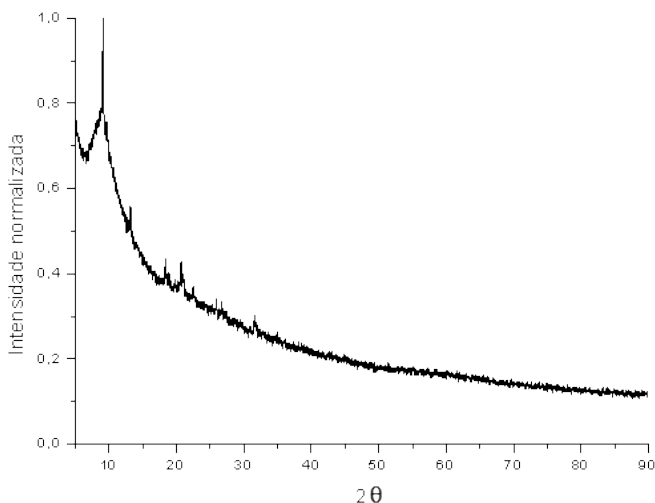


Figura 1: Padrão de difração de raio X do FeL.

Além das análises já mencionadas, foram realizados o ponto de fusão (PF) e a análise da condutividade ( $\Lambda_M$ ). A Tabela 3 apresenta os dados de PF e  $\Lambda_M$  do FeL.

| PROPRIEDADE                                             | VALOR     |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| PF (°C)                                                 | 182±4     |
| $\Lambda_M$ ( $\Omega^{-1}\text{cm}^2\text{mol}^{-1}$ ) | 4,38±0,09 |

Tabela 3: PF e  $\Lambda_M$  do FeL.

## 4.2 Ensaios preliminares

O complexo de ferro (III) obtido, FeL, foi utilizado na mineralização do corante na presença de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . A  $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{inicial}}$  e de FeL utilizada foram baseadas nos experimentos de Silva (2020) e o pH era o da solução, que manteve-se por volta de 6,5 ao longo do tempo reacional, indicativo de que o FeL atua bem como catalisador Fenton em valores de pH próximos da neutralidade. Os resultados podem ser observados nas Figuras 2, 3 e 4.

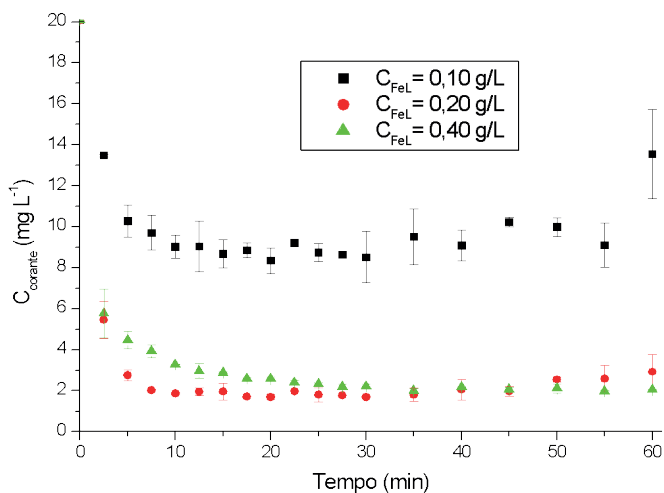


Figura 2: Concentração de corante ao longo do tempo para todas as  $C_{\text{FeL}}$  testadas. Condições: pH natural ( $\sim 6,5$ ),  $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{inicial}} = 0,0294 \text{ mol/L}$ .

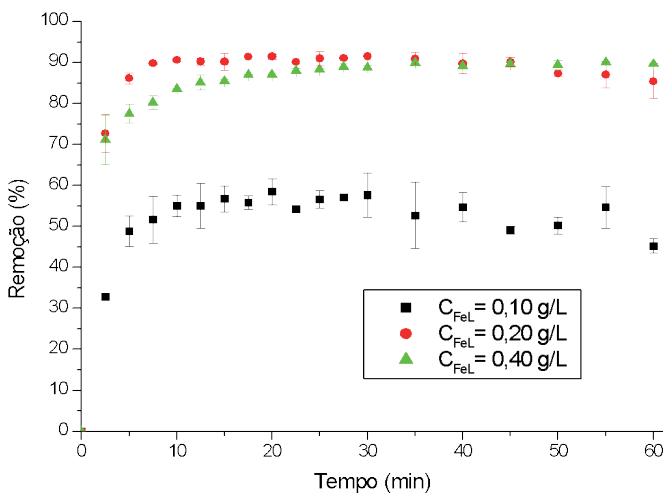


Figura 3: Remoção de corante (%) ao longo do tempo. Condições: pH natural ( $\sim 6,5$ ),  $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{inicial}} = 0,0294 \text{ mol/L}$ .

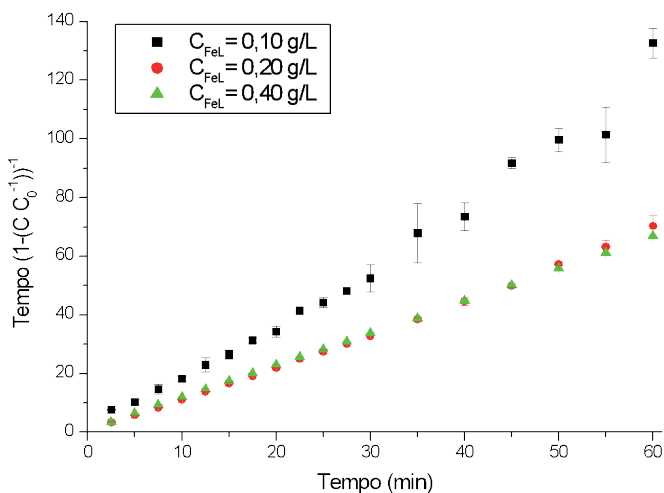


Figura 4: Cinética BMG para todas as  $C_{FeL}$  testadas, Condições: pH natural ( $\sim 6,5$ ),  $[H_2O_2]_{\text{inicial}} = 0,0294 \text{ mol/L}$ .

### 4.3 Influência da concentração de FeL

Com o objetivo de obter informações acerca da influência da variação da concentração do FeL na remoção de cor, foram realizados experimentos na faixa de 0,07 a 0,28 g/L. A Figura 5 mostra a remoção de cor (%) ao longo do tempo.

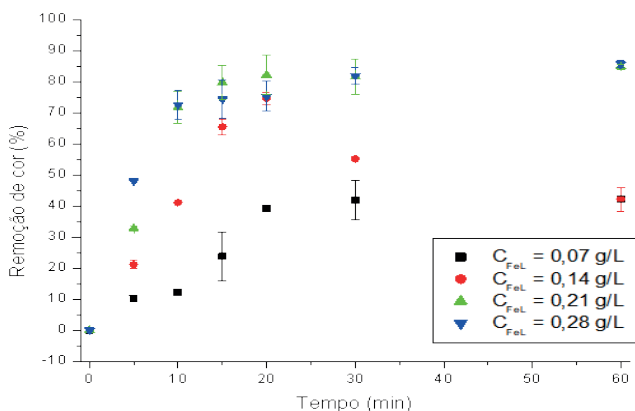


Figura 5: Remoção de cor ao longo do tempo nos ensaios com variação da concentração de FeL. Condições: pH = 6,0 e  $[H_2O_2]_{\text{inicial}} = 0,01170 \text{ mol/L}$ .

Os dados de concentração de corante ao longo do tempo foram tratados pelo modelo

BMG, conforme a literatura (SILVERSTEIN et al., 2005; SKOOG et al., 2006).

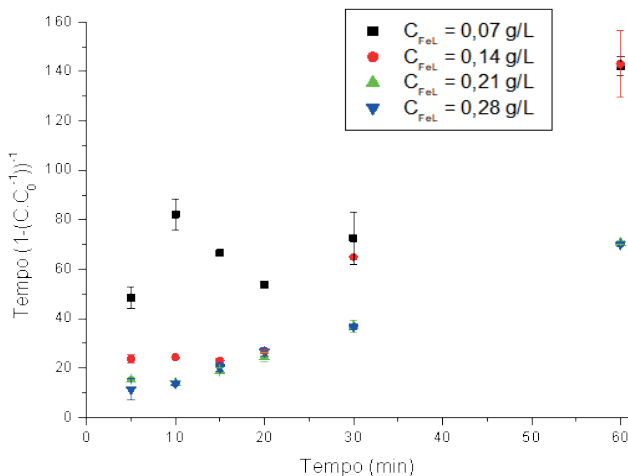


Figura 6: Ajuste dos dados dos ensaios com variação da concentração de FeL para modelo cinético BMG. Condições: pH = 6,0 e  $[H_2O_2]_{\text{inicial}} = 0,01170 \text{ mol/L}$ .

## 5 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Caracterização do complexo

Com relação aos resultados obtidos pela técnica de IV, foi observado um fino e intenso pico na região de  $1634 \text{ cm}^{-1}$ , o que evidencia a presença de imina, característica de ligantes deste tipo (bases de Schiff). Absorções características de estiramentos da ligação C=C do anel aromático referentes ao grupo fenol oriundo do ligante (L) foram identificadas entre  $1613$  e  $1599 \text{ cm}^{-1}$ . Além destas, bandas correspondentes a deformações angulares resultantes das ligações (C-H) ( $CH_2$ ) foram observadas entre  $1470$  e  $1462 \text{ cm}^{-1}$ . O estiramento do C-O<sub>fenol</sub> em  $1216 \text{ cm}^{-1}$  no L também foi deslocado para  $1198 \text{ cm}^{-1}$  no FeL. Não foram observadas no FeL a deformação angular O-H<sub>fenol</sub> existente no L em  $659 \text{ cm}^{-1}$ , sugerindo coordenação do O ao Fe, bem como não foram observados sinais que pudessem ser atribuídos à contra íons, sugerindo que o complexo obtido seja neutro.

Nos espectros eletrônicos foram identificadas transições intraligantes  $\pi-\pi^*$  e  $n-\sigma^*$  entre 215 e 400 nm para o L, com comprimentos deslocados para valores entre 213,5 e 512,5 nm no FeL. Para atribuição das bandas à transição eletrônica, é necessário o cálculo da absorvidade molar ( $\epsilon$ ). Esta pode ser obtida a partir do coeficiente angular da reta de um gráfico que relaciona as absorvâncias máximas ( $Abs_{\text{máx}}$ ) com as concentrações. Valores de  $\epsilon$  baixos são característicos para transições do tipo d-d. Como estas ocorrem em compostos metálicos, só poderiam ocorrer no FeL. A partir da  $\epsilon$ , nesse caso, a transição d-d ocorre em 512,5 nm, concordando com o que a literatura sugere (DE et al., 1999;



MESSLER et al., 2014). Transições intraligantes do tipo  $\pi-\pi^*$  ocorridas no anel aromático foram identificadas no FeL em 330 nm, que possui valor de  $\epsilon$  intermediário (DEY et al., 2002).

Com relação ao DRX, no presente trabalho, esta análise foi utilizada somente com o intuito de confirmar a cristalinidade do complexo. Como é possível observar na Figura 2, o material apresenta alguns picos bem definidos, porém a estrutura não é cristalina em sua totalidade.

Por fim, o FeL apresenta PF semelhante a um complexo de cobre obtido com o mesmo ligante publicado anteriormente (DIONÍZIO et al., 2021). O complexo respeita relação estequiométrica 2:1, sendo 2 mols de ligante com carga negativa (-1) e 1 mol do metal com carga positiva (+2) que, associado aos valores de baixa  $\Lambda_M$ , é um indicativo de que o FeL é neutro, não liberando íons em solução (BAYOUMI, 2013; KARIPCIN, 2014), corroborando com os resultados obtidos por IV e DRX.

## 5.2 Ensaios preliminares

As Figuras 3 e 4 demonstram que as remoções foram satisfatórias, pois durante o tempo de experimento há uma queda da concentração de corante e com relação à taxa de remoção é possível observar que, ao final de 60 min, a remoção foi maior nas duas maiores concentrações de FeL mostradas. Além disso, em cerca de 7,5 min já temos remoções superiores a 80% nessas mesmas condições, o que é melhor que os resultados obtidos em estudos anteriores para um composto análogo contendo cobre (SILVA, 2021). Tais resultados sugerem que FeL seja promissor como catalisador no POA para a degradação do poluente utilizado no presente estudo.

Os dados cinéticos foram ajustados por modelo BMG, que possui dois parâmetros, a velocidade inicial (1/m) e a capacidade oxidativa (1/b), obtidos a partir das inversas dos coeficientes angular (b) e linear (m). Quanto maior for 1/m (na condição em que o tempo se aproxima de 0), mais rápida será a razão de decréscimo do corante. Quando o tempo for alto e tender ao infinito, 1/b indica a fração máxima teórica de remoção, a qual equivale à capacidade máxima de oxidação do sistema ao final da reação (CHAN e CHU, 2003; BEHNAJADY et al., 2007). Os dados cinéticos ajustados por modelo BMG apresentados foram de 1/m entre 0,30 e 1,42  $\text{min}^{-1}$  e de 1/b de 0,49, 0,87 e 0,91, conforme ocorria o aumento das concentrações de FeL.

Visando uma redução no custo total do processo, optou-se por utilizar  $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{inicial}}$  próximas ou abaixo da metade das utilizadas nos ensaios preliminares, empregando pH fixos entre 3,0 e 9,0 e  $C_{\text{FeL}}$  em faixas semelhantes às utilizadas nos ensaios preliminares.

## 5.3 Influência da concentração de FeL

Conforme demonstrado na Figura 6, a melhor condição foi a que empregou uma concentração de FeL de 0,28 g/L (85,63 $\pm$ 1,21%), seguida pela 0,21 g/L (84,85 $\pm$ 0,80%),

0,14 g/L ( $42,22 \pm 3,94\%$ ) e 0,07 g/L ( $42,11 \pm 1,10\%$ ). Dessa forma, os resultados sugerem que o aumento da concentração de FeL é favorável para a remoção do poluente na faixa estudada.

Os dados cinéticos ajustados por BMG apresentados foram de 1/m entre 0,02 e 0,23  $\text{min}^{-1}$  e de 1/b de 0,66, 0,43, 0,93 e 0,91 conforme ocorria o aumento das concentrações de FeL. Dessa forma, é possível concluir que existe uma tendência de queda na velocidade inicial conforme ocorre o aumento da concentração de FeL, porém essa queda é acompanhada de aumentos na capacidade oxidativa.

## 6 | CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Um complexo de ferro (III) (FeL) foi obtido e aplicado como catalisador na reação de Fenton. As técnicas de caracterização utilizadas foram capazes de confirmar as principais características do catalisador obtido.

Com o FeL foi possível experimentar efetiva degradação de corante têxtil em valores de pH próximos a neutralidade. Sendo as melhores condições para a reação pH 6,0, concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  inicial de 0,01170 mol/L e concentração de FeL de 0,28 g/L e 0,21 g/L, com remoções de VDX-6BN de  $85,63 \pm 1,21\%$  e  $84,85 \pm 0,80\%$ , respectivamente.

Em síntese, nas condições estudadas, o FeL demonstrou ser um catalisador promissor em reação análoga a de Fenton para a degradação de compostos orgânicos, especialmente o corante reativo usado como molécula modelo. Além disso, evidenciase a possibilidade de se trabalhar em pHs próximos do neutro para esta aplicação e a não utilização de foto-degradação, uma vantagem em relação a outros complexos de Fe estudados em outros trabalhos.

## AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ- Proc. nº E-26/200.918/2021

## REFERÊNCIAS

AJMAL, Anila et al. **Principles and mechanisms of photocatalytic dye degradation on  $\text{TiO}_2$  based photocatalysts: a comparative overview.** *Rsc Advances*, v. 4, n. 70, p. 37003-37026, 2014.

BAYOUMI, Hoda A.; ALAGHAZ, A. M. A.; ALJAHDAI, Mutlak Sh. **Cu (II), Ni (II), Co (II) and Cr (III) complexes with  $\text{N}_2\text{O}_2$ -chelating schiff's base ligand incorporating azo and sulfonamide moieties: spectroscopic, electrochemical behavior and thermal decomposition studies.** *Int. J. Electrochem. Sci*, v. 8, n. 7, p. 9399-9413, 2013.

BEHNAJADY, M. A.; MODIRSHAHLA, N.; GHANBARY, F. **A kinetic model for the decolorization of CI Acid Yellow 23 by Fenton process.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 148, n. 1-2, p. 98-102, 2007.

CHAN, K. H.; CHU, Wei. **Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine.** *Chemosphere*, v. 51, n. 4, p. 305-311, 2003.

DE, Rajib Lal et al. **Synthesis and structural studies on bis-N-(2-hydroxyethyl)-X-salicylaldiminato complexes of cobalt (III) and copper (II).** 1999.

DEY, Mishtu et al. **Synthesis, structural diversity, inter-conversion and reactivity of Cu (II) complexes of hydroxy-rich molecules.** *Inorganic Chemistry Communications*, v. 5, n. 6, p. 380-383, 2002.

DIONÍZIO, Thaís Petizero et al. **Copper (II) Schiff Base Complex with Electrocatalytic Activity Towards the Oxygen Reduction Reaction and Its Catalase Activity.** *Electrocatalysis*, v. 12, p. 137-145, 2021.

DURÁN, A.; MONTEAGUDO, J. M.; AMORES, E. **Solar photo-Fenton degradation of Reactive Blue 4 in a CPC reactor.** *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 80, n. 1-2, p. 42-50, 2008.

GHALY, A. E. et al. **Production, characterization, and treatment of textile effluents: a critical review.** *J Chem Eng Process Technol*, v. 5, n. 1, p. 1-19, 2014.

KARIPCIN, Fatma et al. **Mono-, trinuclear nickel (II) and copper (II) dioxime complexes: Synthesis, characterization, catecholase and catalase-like activities, DNA cleavage studies.** *Journal of the Chilean Chemical Society*, v. 59, n. 3, p. 2539-2544, 2014.

KATHERESAN, Vanitha; KANSEDO, Jibrail; LAU, Sie Yon. **Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review.** *Journal of environmental chemical engineering*, v. 6, n. 4, p. 4676-4697, 2018.

LEMLIKCHI, W. et al. **Kinetic study of the adsorption of textile dyes on synthetic hydroxyapatite in aqueous solution.** *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 32, p. 233-237, 2015.

LI, Zhenlong et al. **Ligand-accelerated iron photocatalysis enabling decarboxylative alkylation of heteroarenes.** *Organic letters*, v. 21, n. 11, p. 4259-4265, 2019.

MIESSLER, G.L.; FISCHER, P.J.; DONALD, S.T. **Inorganic Chemistry. 5th. ed., USA:** Pearson, 2014.

NOGUEIRA, Raquel F. Pupo et al. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton.** *Química nova*, v. 30, p. 400-408, 2007.

PALÁCIO, Soraya Moreno et al. **Optimised photocatalytic degradation of a mixture of azo dyes using a TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV process.** *Water Science and Technology*, v.65, n. 8, p. 1392-1398, 2012.

PRIETO, O. et al. **Decolouration of textile dyes in wastewaters by photocatalysis with TiO<sub>2</sub>.** *Solar Energy*, v. 79, n. 4, p. 376-383, 2005.

SARATALE, R. G. et al. **Enhanced decolorization and biodegradation of textile azo dye Scarlet R by using developed microbial consortium-GR.** *Bioresource technology*, v. 100, n. 9, p. 2493-2500, 2009.

SILVA, F.P. **Síntese, caracterização e investigação da atividade mimética de catalase e na degradação de corante reativo por um complexo de cobre (II)**. Rio de Janeiro, 2020. Projeto Final de Curso (Química Industrial) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.

SILVA, F.P. **Reatividade de um complexo de cobre (II) na degradação de compostos orgânicos em processo oxidativo**. Rio de Janeiro, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2021.

SILVERSTEIN, Robert M.; BASSLER, G. Clayton. **Spectrometric identification of organic compounds**. *Journal of Chemical Education*, v. 39, n. 11, p. 546, 1962.

SKOOG, Douglas A.; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. **Principles of instrumental analysis**. *Cengage learning*, 2017.

# DEGRADAÇÃO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS UTILIZANDO MEMBRANAS POLIMÉRICAS FOTOCATALÍTICAS

*Data de submissão: 21/09/2023*

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Ana Clara Wanderlei do Espírito Santo**

Escola de Química, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/6979055071024700>

### **Larissa Loureiro Salgueiro Silva**

Escola de Química, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/4937714650618111>

### **Aline Marques Ferreira Linhares**

Programa de Engenharia Química,  
COPPE, Universidade Federal do Rio de  
Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
Link para o <http://lattes.cnpq.br/1811575893844772>

### **Cristiano Piacsek Borges**

Programa de Engenharia Química,  
COPPE, Universidade Federal do Rio de  
Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/2694587316946422>

### **Fabiana Valéria da Fonseca**

Escola de Química, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/8778107230566167>

**RESUMO:** Uma das preocupações da área de tratamento de águas e efluentes é a presença de contaminantes orgânicos recalcitrantes, cuja degradação não ocorre por tratamentos convencionais. Os Processos Oxidativos Avançados (POA) e o Processo de Separação com Membranas (PSM) destacam-se entre as tecnologias de tratamento por conseguirem os degradar. Para superar as problemáticas desses processos, POA e PSM podem ser combinados pela impregnação de nanopartículas em membranas gerando um processo híbrido. Assim, o atual estudo visa analisar e comparar a degradação de corante por processo híbrido PSM/ POA utilizando membrana polimérica funcionalizada com nanopartículas de  $\text{Fe}^0$  (nZVI) e  $\text{TiO}_2$ . O corante Vermelho de Drimaren (VDR) foi utilizado como um contaminante modelo para verificar as condições operacionais ideais deste processo. Foram retiradas alíquotas em tempos específicos do permeado para análise de concentração VDR e vazão. Para a membrana de nZVI, percebeu-se que a melhor condição ocorria com o controle de pH. Utilizando a mesma membrana, os resultados obtidos para o processo sem luz UV foi de 30% de remoção de VDR após

1 h de operação, enquanto com a adição, aumentou consideravelmente, atingindo 43%. Já nas membranas funcionalizadas com  $\text{TiO}_2$ , a remoção de VDR sem UV manteve-se em 21% após 1 h. Contudo a adição do UV elevou a remoção para 67%. Os processos com UV que foram conduzidos por 2 h atingiram 58% e 85% de remoção para a membrana com nZVI e  $\text{TiO}_2$ , respectivamente, indicando elevada efetividade do processo híbrido com nanopartícula de  $\text{TiO}_2$ . Comparando a vazão de permeado da membrana com nZVI, a condição sem UV apresentou uma estabilidade média de  $0,21 \pm 0,01$  L/min, enquanto para o teste com UV, ocorreu um aumento de 0,14 para 0,47 L/min após 2 h. No caso das membranas com  $\text{TiO}_2$ , notou-se que a vazão permaneceu estável ( $\sim 0,49 \pm 0,06$  L/min).

**PALAVRAS-CHAVE:** POA, fotocatalise, membranas, tratamento de águas

## DEGRADATION OF ORGANIC CONTAMINANTS USING PHOTOCATALYTIC POLYMERIC MEMBRANES

**ABSTRACT:** The recalcitrant organic contaminants are one of the water and effluent treatment preoccupations because their degradation does not happen with conventional treatment. The advanced oxidative process (AOP) and the membrane separation process (MSP) are two technologies in highlight that can degrade them. Combining these processes with nanoparticle impregnation in membranes, known as a hybrid process, can overcome the problems associated with AOP and MSP. Thus, this work aims to analyze and compare the dye degradation with the hybrid process MSP/AOP using a polymeric membrane functionalized with  $\text{Fe}^0$  (nZVI) and  $\text{TiO}_2$  nanoparticles. The Drimaren Red Dye (DRD) was used as a model contaminant to check the ideal operational conditions in this process. Permeated aliquots were removed from the system at specific times to evaluate removal of DRD and flow. The best condition for nZVI membrane was with pH control associated. In a process without UV light, the membrane previously mentioned achieved 30% DRD removal within 1 hour of operation. However, a process with UV light increased the DRD removal to 43%. On the other hand, in the membrane functionalized with  $\text{TiO}_2$ , the DRD removal without UV light was 21% within 1 hour, and with UV light, the DRD removal was enhanced to 67%. The processes with UV light conducted for 2 hours reached 58% and 85% of the removal to nZVI and  $\text{TiO}_2$  membrane, respectively, which indicate the hybrid process with  $\text{TiO}_2$  nanoparticles' high effectivity. In the nZVI membrane, the condition without UV light presented an average stability of  $0,21 \pm 0,01$  L/min in permeate flow, while with UV light, the flow increased from 0,14 to 0,47 L/min within 2 hours. Nevertheless, in the case of the  $\text{TiO}_2$  membrane, the flow remained steady at  $\sim 0,49 \pm 0,06$  L/min.

**KEYWORDS:** AOP, photocatalysts, membrane, water treatment

## 1 | INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios para a área de tratamento de efluentes é a remoção de poluentes recalcitrantes, como corantes e fármacos, de forma eficaz e segura. Muitos estudos encontram-se em desenvolvimento envolvendo temáticas, como emprego de nanopartículas para acelerar reações catalíticas, processos oxidativos avançados (POA) para mineralizar compostos, processos de separação por membranas (PSM) para separar

contaminantes seletivamente, entre outros.

Os (POA) são processos que durante a reação liberam o radical hidroxila ( $\text{OH}\cdot$ ), se destaca devido ao seu alto poder oxidativo e baixa seletividade, garantindo a oxidação de compostos de difícil remoção (Parsons, 2004). Essas características contribuem para a elevada eficiência do método na oxidação dos contaminantes, os removendo ou mineralizando. Algumas reações de POA podem ser destacadas: UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , Fotocatálise heterogênea ou Fenton (PARSONS, 2004).

Dentre esses, o processo UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  é a forma mais direta e simples de gerar radicais hidroxilas. A incidência da luz no comprimento de onda 254 nm no peróxido de hidrogênio é capaz de gerar 2 radicais (PARSONS, 2004).

A fotocatalise heterogênea ocorre pela utilização de semicondutores, como catalisadores na fase sólida, e a radiação UV (254 nm). Há diversos compostos que podem ser usados, como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ , porém o mais empregado é dióxido de titânio, devido a sua alta capacidade fotocatalítica. O dióxido de titânio quando em presença de luz UV, absorve energia gerando um potencial redutor capaz de reduzir o oxigênio e a água originando o  $\cdot\text{OH}$ . Além dessa capacidade, o  $\text{TiO}_2$  também é usado para aumentar a hidrofiliabilidade de diversos materiais, porém, como desvantagem, pode rapidamente agregar-se dificultando seu uso (LUO *et al.*, 2005).

Já o processo Fenton ocorre com a presença de um agente oxidante, normalmente peróxido de hidrogênio, e um catalisador, na maioria dos casos sais ou óxidos de ferro; enquanto o processo Foto-Fenton, além desses elementos, envolve a radiação UV. Esta segunda opção de processo consiste em gerar o radical hidroxila a partir de  $\text{Fe(II)}$ , porém, em quantidade excedente, pode ser prejudicial à reação. Por esse motivo, diferentes formas de fonte de ferro têm sido estudadas, como o ferro de valência zero em nanoescala (nZVI), que através da sua liberação lenta de  $\text{Fe(II)}$  consegue manter seus níveis ideais para ocorrência de reação (KANG *et al.*, 2018).

Outra metodologia que permite a remoção de contaminantes orgânicos é o Processo de Separação por Membranas, o qual separa o efluente em duas correntes, permeado e concentrado, ao ser aplicado um gradiente de pressão, concentração ou de temperatura (SILVA, 2020). As membranas podem apresentar diferentes tipos de materiais e configurações, porém a problemática que está presente em todas são as incrustações, que são acúmulos de partículas sobre a superfície da membrana afetando a eficiência do processo de separação (FONSECA *et al.*, 2022).

O processo híbrido de PSM com POA surge como a inovação para minimizar problemáticas de ambos os processos e consequentemente aumentar a eficiência de remoção de contaminantes orgânicos. Uma maneira de realizar tal junção é a impregnação de membranas poliméricas com nanopartículas fotocatalíticas a fim de se evitar incrustações na superfície da membrana além de evitar que as nanopartículas formem aglomerados diminuindo a sua área específica e, de certa forma, a sua eficiência (PARSON, 2004;



SILVA, 2020) Para aumentar a afinidade entre os dois compostos pode ser necessário um agente quelante que permita uma maior interação entre ambos além de evitar a aglomeração das nanopartículas (FONSECA *et al.*, 2022). O poli(ácido acrílico) (PAA) é um bom exemplo para tal fim, pois é um polímero sintético gerado a partir do ácido acrílico que, devido a sua capacidade de troca iônica, se torna um importante agente de impregnação de nanopartículas de ferro em membranas (SILVA *et al.*, 2021). Logo, uma sugestão de processo híbrido seria a impregnação de nanopartículas de ferro zero ou de dióxido de titânio em membranas poliméricas utilizando o PAA como agente quelante.

Nos últimos anos, diversos trabalhos sobre impregnação de nanopartículas em membranas poliméricas estão sendo desenvolvidos. Um dos principais problemas relatados é a forma de preparo da membrana polimérica. Zhang *et al.* (2023) relata a dificuldade de produzir uma membrana polimérica funcionalizada com nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  (ZHANG *et al.*, 2023). No caso do presente estudo, membranas de nylon surgem como um diferencial para este processo, pois são resistentes a ambientes oxidativos e possuem naturalmente elevada hidrofilicidade (ALSHAHRANI *et al.*, 2022).

## 2 | OBJETIVO

Este estudo visa comparar e estudar a eficiência de remoção de corante, Vermelho de Drimaren, utilizando membranas de nylon funcionalizadas com nZVI e  $\text{TiO}_2$  e a influência da radiação UV e controle de condições na degradação do contaminante

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema híbrido PSM/POA é composto por uma bomba peristáltica, um reservatório (5L), recirculação de concentrado e permeado, com possibilidade de coleta de permeado. O equipamento contém uma célula de membrana que permite passagem da radiação UV-254nm para a superfície da membrana através de uma placa de quartzo e lâmpada de UV (24 W, 2833  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) (SILVA, 2020; SILVA *et al.*, 2021).

Membranas comerciais de Nylon 0,45  $\mu\text{m}$ , pura e funcionalizada, foram avaliadas nesse sistema.

A funcionalização com PAA ocorreu por meio da técnica de imersão em solução contendo 20% v/v de ácido acrílico (AA), 0,98% mol/mol de Etileno glicol (EG)/ AA e 1% mol/mol de  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8/\text{AA}$  (SILVA, 2021).

A impregnação com nZVI ocorreu pela imersão da membrana de nylon/PAA em água desoxigenada por 10 minutos, seguida pela imersão em solução de  $\text{NaCl}$  10g/L (pH  $10 \pm 0,5$ ), originando membranas de  $\text{Na}^+/\text{PAA}/\text{nylon}$ , de forma a facilitar a troca iônica com íons de ferro. Após a membrana foi inserida em solução de  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (5g/L) e  $\text{MeOH}$  (10% v/v) por 10 minutos, formando membranas de  $\text{Fe}^{2+}\text{-Fe}^{3+}/\text{PAA}/\text{nylon}$ , seguida de solução  $\text{NaBH}_4$  (10 g/L) por 30 segundos, para geração de  $\text{Fe}^0$  (SILVA, 2021).

Para as membranas funcionalizadas com  $\text{TiO}_2$ , o método escolhido para a impregnação também foi a imersão. A imersão da membrana polimérica PAA/nylon ocorreu em solução de dióxido de titânio comercial (1% v/v).

O corante utilizado Vermelho de Drimaren (VDR) é conhecido por estar presente em resíduos de indústrias têxteis, ser recalcitrante e, portanto, considerado um contaminante modelo para verificar as condições operacionais ideais deste novo processo híbrido PSM/POA (SILVA *et al.*, 2021). A concentração de corante foi determinada através de espectrofotômetro (Shimadzu 1800) em comprimento de onda 517 nm.

Os testes de eficiência do processo híbrido PSM/POA com membranas fotocatalíticas foi conduzido com  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 10 \text{ mM}$ ,  $[\text{VDR}]_0 = 5 \text{ mg/L}$ , pressão = 1 bar e pH 4,5. Alíquotas do permeado foram recolhidas em determinados intervalos de tempo. Tais condições foram baseadas em estudos prévios da literatura e testes em soluções (PARSON, 2004; SILVA, 2020; SILVA *et al.*, 2021). Efeitos de adsorção do composto na membrana foram desconsiderados após realização de testes branco e antes de cada experimento.

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 VERIFICAÇÃO DO CONTROLE DE PH

O controle de pH da solução presente no reservatório durante o processo híbrido PSM/POA teve como objetivo a verificação da influência deste parâmetro na remoção de VDR. Os testes foram realizados com a membrana funcionalizada com nanopartículas nZVI com a adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e sem a radiação UV (Figura 1).

Os testes sem o controle do pH resultaram em apenas 10 % de remoção do contaminante, enquanto o ajuste e monitoramento do pH resultou em uma remoção de 30%, indicando a necessidade do controle deste parâmetro de processo.

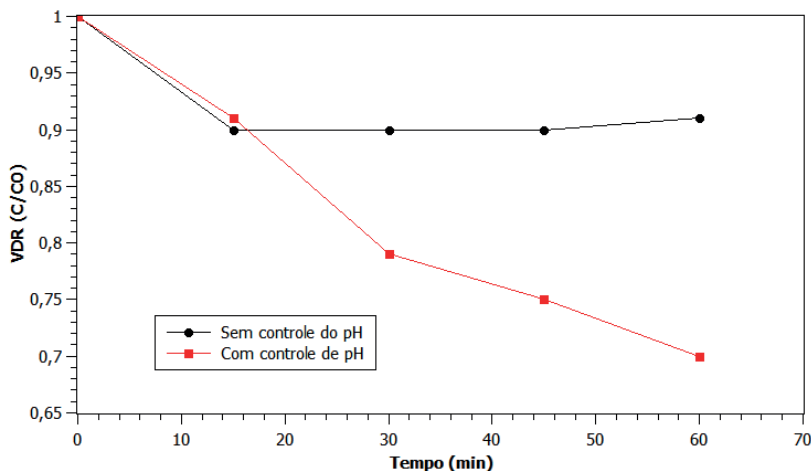


Figura 1: Remoção de corante VDR no processo PSM/POA com e sem ajuste de pH

## 4.2 INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS FOTO-CATALÍTICOS

Em relação a influência da radiação da luz UV, foram comparados os resultados para membranas funcionalizadas com nZVI e  $\text{TiO}_2$ .

O processo exposto à luz UV com nZVI removeu cerca de 13% a mais que o sem radiação, o qual conseguiu remover apenas 30% do corante inicial (Figura 2).

Já para o caso da membrana funcionalizada com  $\text{TiO}_2$ , observou-se a mesma tendência, onde notou-se que após 1 h, o processo com a luz UV apresentou resultados mais satisfatórios, restando apenas 33% da concentração inicial de VDR no permeado, enquanto o teste sem a irradiação apresentou remoção de no máximo 21%.

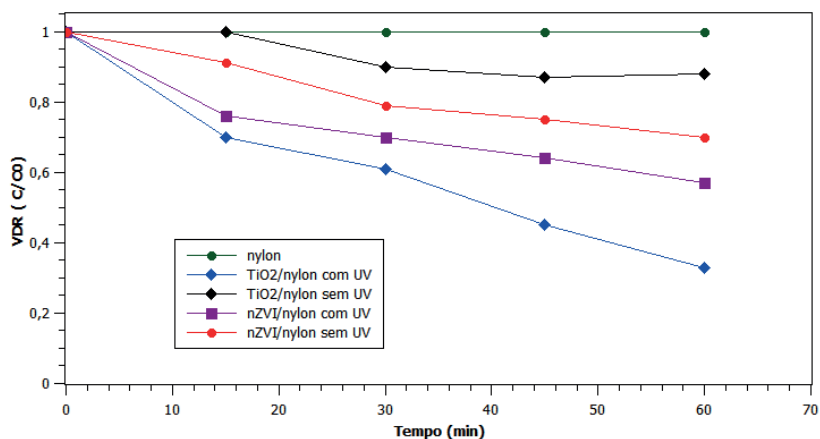


Figura 3: Resultados da influência do UV para cada membrana e Branco

A partir da investigação de tempos de processo maiores, de até 2 h, conseguiu-se atingir remoções de até 27% e 85% com membranas de  $\text{TiO}_2$ /nylon sem e com a presença a luz UV, respectivamente. Enquanto a membrana nZVI/nylon com UV atingiu 58% de remoção após o mesmo intervalo de tempo.

## 4.3 FLUXO DO PERMEADO:

Para todos os testes discutidos anteriormente, a vazão foi medida nos intervalos de tempo determinados. No caso de membrana nZVI com controle de pH e sem UV, a vazão apresentou uma certa estabilidade média de 0,21 L/min, enquanto a mesma membrana com a radiação apresentou variação durante o decorrer do experimento, a qual apresentou 0,14 L/min no tempo inicial e no final 0,47 L/min, sendo a vazão média de 0,30 L/min com desvio padrão de 0,08.

No caso das membranas com  $\text{TiO}_2$ , sem a radiação, o processo apresentou uma vazão média de 0,38L/min sendo o desvio padrão de 0,11. Já com a luz UV, 0,46 L/min de média e 0,05 de desvio padrão.

## 5 | DISCUSSÃO:

O primeiro resultado apresentado se refere ao controle do pH no reservatório para o processo utilizando a membrana impregnada com nZVI. Os dados demonstram que a manutenção dessa variável de processo alcançou melhores resultados de degradação do corante, 30% de remoção, frente ao sem ajuste de pH, apenas 10% de remoção. Uma das características para a ocorrência do processo Fenton é o pH mais baixo (PARSONS, 2004). O prosseguimento da reação de oxidação libera radicais hidroxilas e consequentemente o íon hidroxila, aumentando, assim, o pH. Essa consequência retira o processo da sua conjectura ideal, pH mais baixo, reduzindo a sua eficácia no tratamento. Tal perspectiva é observada nos resultados desse teste, ao mostrar que aquele que apresenta o menor pH obtém o melhor resultado. Como a intenção do estudo é comparativo entre as membranas com diferentes nanopartículas, para os testes com a membrana de  $\text{TiO}_2$  também escolheu-se controlar o pH visto que apresentou bons índices de degradação para a outra membrana.

O segundo teste apresentado mostrou a influência da luz UV no processo. Tanto para a membrana com nZVI quanto para a membrana impregnada com dióxido de titânio, obteve-se o melhor resultado com a presença da radiação (13% e 58% a mais de remoção, respectivamente). Porém, um aspecto que deve ser ressaltado é que além da melhora expressiva da degradação quando se utiliza a segunda membrana, a vazão com a membrana contendo ferro varia consideravelmente enquanto a com dióxido de titânio é mais estável. Esse fato demonstra que a membrana com nZVI não protege adequadamente a estrutura polimérica da membrana, diferentemente da com  $\text{TiO}_2$ . Cabe destacar ainda que, o processo com  $\text{TiO}_2$  possui uma vazão maior, provavelmente em função da sua característica hidrofílica. Estes fatos também foram comprovados por Silva et al, 2020 em reações em solução.

Ao analisar os resultados das membranas percebe-se que a melhor remoção do permeado usando a luz UV, encontra-se na membrana  $\text{TiO}_2$ / nylon ao remover consideravelmente o corante.

## 6 | CONCLUSÃO

O estudo visou investigar a operação de um novo sistema PSM/POA. Os resultados apontaram que o controle de pH é um ponto importante para o desempenho do processo, além de melhora significativa da degradação do corante com a utilização de radiação UV.

A membrana impregnada com  $\text{TiO}_2$  apresentou o melhor desempenho na remoção de corante com a luz UV, além de proteger a membrana polimérica da radiação, diferentemente da membrana de nZVI/nylon, a qual apresentou possíveis problemas na matriz polimérica refletindo a falta de estabilidade na vazão do permeado.

## AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ- Proc. nº E-26/200.918/2021 e PIBIC-UFRJ.

## REFERÊNCIAS

- A.A. Alshahrani, H. Al-Zoubi, S.E. Alotaibi, H.M.A. Hassan, I.H. Alsohaimi, K.M. Alotaibi, M.S. Alshammari, L. Nghiem, M.i.h. Panhuis, **Assessment of commercialized nylon membranes integrated with thin layer of MWCNTs for potential use in desalination process**, Journal of Materials Research and Technology 21 (2022) 872-883. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.084>
- FONSECA, FABIANA V. ; SILVA, L. L. S. ; LINHARES, A. M. F. ; BORGES, C. P. . **Current trends of nano-enhanced polymeric membranes for water and wastewater reclamation**. In: DIMITRIOS A. GIANNAKOUDAKIS; LUCAS MEILI; IOANNIS ANASTOPOULOS. (Org.). NOVEL MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION APPLICATIONS. 1ed.Amsterdam: Elsevier, 2022, v. 1, p. 1-606.
- Kang, Y.-G., Yoon, H., Lee, W., Kim, E., & Chang, Y.-S. (2018). **Comparative study of peroxide oxidants activated by nZVI: Removal of 1,4-Dioxane and arsenic(III) in contaminated waters**. Chemical Engineering Journal, 334, 2511–2519. doi:10.1016/j.cej.2017.11.076
- Luo, M.-L., Zhao, J.-Q., Tang, W., & Pu, C.-S. (2005). **Hydrophilic modification of poly(ether sulfone) ultrafiltration membrane surface by self-assembly of TiO<sub>2</sub> nanoparticles**. Applied Surface Science, 249(1-4), 76–84. doi:10.1016/j.apsusc.2004.11.054
- Parsons, S., **Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment**. 2004, London: IWA Publishing
- Silva, L. L. S., Abdelraheem, W., Nadagouda, M. N., Rocco, A. M., Dionysiou, D. D., Fonseca, F. V., & Borges, C. P. (2021). **Novel microwave-driven synthesis of hydrophilic polyvinylidene fluoride/polyacrylic acid (PVDF/PAA) membranes and decoration with nano zero-valent-iron (nZVI) for water treatment applications**. Journal of Membrane Science, 620, 118817. doi:10.1016/j.memsci.2020.118817
- SILVA, Larissa Loureiro Salgueiro. **Development of catalytic membranes decorated with nanoparticles for emergent pollutant removal from water**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- G. Zhang, Y. Yu, Y. Tu, Y. Liu, J. Huang, X. Yin, Y. Feng, **Preparation of reusable UHMWPE/TiO<sub>2</sub> photocatalytic microporous membrane reactors for eficiente degradation of organic pollutants in water**, Sep. Purif. Technol. 305 (2023), 122515. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122515>

# FOTOCATALISADORES À BASE DE $g-C_3N_4$ NA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS FARMACÊUTICOS

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **José André Ferreira Batista**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/1184115253311969>

### **Caroline Menezes Pinheiro**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas – RS  
<http://lattes.cnpq.br/5984557031030431>

### **Julia Mendes**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas – RS  
[lattes.cnpq.br/1280242396515862](http://lattes.cnpq.br/1280242396515862)

### **Maria Carolina Gomes Silva e Silva**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/4368079471397680>

### **Cícero Coelho Escobar**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/2824357187395679>

**RESUMO** Os contaminantes emergentes, dentre eles os compostos farmacêuticos, são uma grande preocupação na contaminação da água atualmente, devido à sua recalcitrância. Para remover, eficazmente esses contaminantes, é crucial promover sua mineralização, convertendo-os em produtos menos tóxicos. Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são métodos amplamente reconhecidos para essa finalidade. Eles se dividem em sistemas homogêneos, como a fotólise direta, e sistemas heterogêneos, destacando-se a fotocatalise. Apesar de promissora, a fotocatalise heterogênea ainda possui limitações, como a absorção limitada de luz UV pelos fotocatalisadores comuns. Para superar essa limitação, são necessários materiais com maior capacidade de absorver luz visível. Nesse sentido, fotocatalisadores à base de Carbono Nitreto Grafítico ( $g-C_3N_4$ ) têm sido promissores, pois possuem *band gap* mais estreito, permitindo a absorção de luz visível. Este trabalho revisou recentes estudos sobre fotocatalise heterogênea com  $g-C_3N_4$  para a degradação de fármacos. A síntese desse material normalmente é fácil e rápida. Todos os trabalhos realizaram testes de fotocatalise sob irradiação visível ou simulação da luz solar, algo condizente

com o fato do fotocatalisador absorver essa faixa do espectro. Fotocatalisadores magnéticos também têm sido explorados, visando facilitar a recuperação do material e possibilidade de reuso. No entanto, algumas lacunas ainda precisam ser mais estudadas, visando a aplicação desse fotocatalisador na área de contaminantes emergentes, sobretudo na aplicação da degradação de fármacos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fotocatálise heterogênea,  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , fármacos.

## $G\text{-C}_3\text{N}_4$ BASED PHOTOCATALYST FOR THE DEGRADATION OF PHARMACEUTICAL COMPOUNDS

**ABSTRACT** Emerging contaminants, including pharmaceutical compounds, are a major concern in water pollution today due to their recalcitrance. To effectively remove these contaminants, it is crucial to promote their mineralization, converting them into less toxic products. Advanced Oxidative Processes (AOPs) are widely recognized methods for this purpose. They are divided into homogeneous systems, such as direct photolysis, and heterogeneous systems, particularly photocatalysis. Although promising, heterogeneous photocatalysis still has limitations, such as the limited absorption of UV light by common photocatalysts. To overcome this limitation, materials with a greater capacity to absorb visible light are needed. In this sense, photocatalysts based on  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  have been promising, as they have a narrower band gap, allowing them to absorb visible light. This work reviewed recent studies on heterogeneous photocatalysis with  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  for the degradation of drugs. The synthesis of this material is usually quick and easy. All the studies carried out photocatalysis tests under visible irradiation or simulated sunlight, which is consistent with the fact that the photocatalyst absorbs this range of the spectrum. Magnetic photocatalysts have also been explored, with a view to facilitating material recovery and the possibility of reuse. However, some gaps still need to be further studied in order to apply this photocatalyst in the area of emerging contaminants, especially in the application of drug degradation.

**KEYWORDS:** Heterogeneous photocatalysis,  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , pharmaceutical compounds.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os contaminantes emergentes representam uma das maiores preocupações relacionadas à contaminação da água atualmente. Dentre os emergentes, os compostos farmacêuticos se destacam como uma das principais categorias (Kumar et al., 2022). Essas substâncias têm sido detectadas em diversas faixas de concentração, variando de ng/L a  $\mu\text{g/L}$ , em corpos d'água naturais (Arman et al., 2021; Kumar et al., 2022). Por exemplo, compostos como ibuprofeno, estona, estradiol, fluoxetina, naproxeno e cafeína foram detectados em ambientes aquáticos naturais, como o Lago Taihu na China e o Rio Mississippi nos Estados Unidos [Lin et al., 2016]. No Brasil também tem sido identificado a presença de fármacos em matrizes aquosas, incluindo a presença em esgoto bruto, esgoto tratado, água superficial e água de abastecimento público (Montagner et al., 2017). A nível mundial, estima-se que, até o momento, tenham sido identificados pelo menos 3000 compostos farmacêuticos diferentes em águas residuais (Biswas & Pal, 2023).



Águas contaminadas com poluentes emergentes tendem a apresentar uma demanda química de oxigênio (DQO) significativa e uma baixa demanda biológica de oxigênio (DBO). Embora os tratamentos convencionais, especialmente os processos terciários, sejam eficazes na transferência de fase do contaminante, isto é, da fase líquida para uma fase sólida (como adsorvente ou membrana), eles não asseguram a completa degradação desses poluentes (Nitoi et al., 2013). Para garantir a remoção eficaz de efluentes recalcitrantes, é necessário promover a sua mineralização, ou seja, converter as moléculas para o estado de oxidação mais elevado possível, como água, dióxido de carbono, ânions inorgânicos oxidados ou outras moléculas que se tornem suscetíveis à remoção por processos biológicos. Nesse contexto, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são amplamente reconhecidos como métodos de degradação de poluentes, devido à sua capacidade de eliminar uma ampla gama de contaminantes orgânicos (Pouran et al., 2014). Uma das definições mais utilizadas para os POAs foi proposta por Glaze e colaboradores (1987), que os descreveram como processos que envolvem a geração de radicais hidroxilas em quantidades suficientes para a purificação da água, geralmente realizados em condições próximas da temperatura e pressão ambiente.

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) se subdividem em duas categorias: sistemas homogêneos e sistemas heterogêneos. Nos sistemas homogêneos, nos quais não há presença de catalisadores sólidos, a degradação dos contaminantes ocorre por meio de dois mecanismos distintos: (i) fotólise direta utilizando radiação ultravioleta (UV); e (ii) geração de radicais hidroxila. Esta última ocorre devido à presença de agentes oxidantes poderosos, como o ozônio ( $O_3$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), podendo ser combinados ou não com irradiação. Os radicais hidroxilas também podem ser gerados por meio de processos como radiólise, oxidação eletroquímica, feixe de elétrons, ultrassom (US) e plasma (Teixeira & Jardim, 2004). Dentre os sistemas heterogêneos, o destaque recai sobre a fotocatalise. Esse processo é caracterizado pela presença de um catalisador semiconductor, ativado pela radiação. Nesse processo, os semicondutores atuam como aceleradores da reação de fotodegradação, sem sofrerem alterações químicas (Ibhadon & Fitzpatrick, 2013).

Apesar de promissora para a degradação de contaminantes emergentes, a fotocatalise heterogênea apresenta algumas desvantagens que limitam sua aplicação prática. Uma dessas limitações é a absorção da luz limitada no espectro UV (<385 nm) dos fotocatalisadores comerciais mais empregados (ZnO e  $TiO_2$ ) (Gomes et al., 2019). Esta última característica pode ser especialmente limitante para aplicações usando fontes de luz que simulam luz artificial ou até mesmo a luz solar, pois a luz UV representa cerca de apenas 5% da total radiação solar. Nesse sentido, faz-se necessário a busca de novos materiais com *band gap* mais estreito, ou seja, com potencial de absorver uma parcela maior do comprimento de onda visível, uma vez que esta faixa do espectro constitui 45% da energia solar. Sendo assim, a fotocatalise, aproveitando a luz visível, oferece uma

melhor oportunidade para obter o máximo de energia solar. Nesse contexto o uso de fotocatalisadores à base de  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  tornam-se promissores, pois apresentam energia de intervalos de banda (“*band gap*”) inferiores aos dos fotocatalisadores comerciais, e desse modo, possibilitando a absorção de luz visível (Wang et al., 2023).

A literatura relata variadas técnicas de síntese do  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , sendo que as mais comumente empregada é a policondensação térmica. Este método consiste no aquecimento contínuo de um precursor nitrogenado (por exemplo, ureia, melamina, cianamida, ureia ou dicinamida), de modo que ocorra uma reação de polimerização ao mesmo tempo em que ocorre a eliminação de água e o aumento da resistência mecânica do produto (Wang et al., 2023).

A Figura 1 mostra o mecanismo de policondensação proposto por DONG et al. (2014). Observa-se que a partir do precursor melamina ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ ), ocorre a formação de uma estrutura do tipo heptazina ( $\text{C}_6\text{N}_7\text{H}_3$ ) durante um processo de aquecimento. Durante a decomposição, a amônia ( $\text{NH}_3$ ) é liberada e unidades aromáticas se formam. Dependendo do precursor e das condições de aquecimento, a estrutura do  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  também pode ser formada por unidades de triazinas ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3$ ) (KUMAR et al., 2018) (Figura 2).

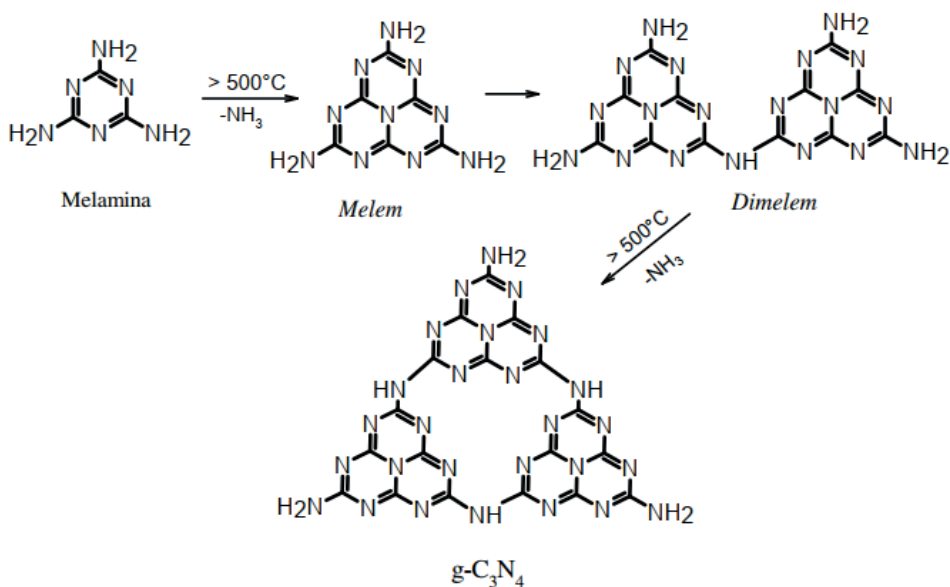


Figura 1: Mecanismo de policondensação de formação do  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ .

Fonte: Adaptado de DONG et al., 2014.

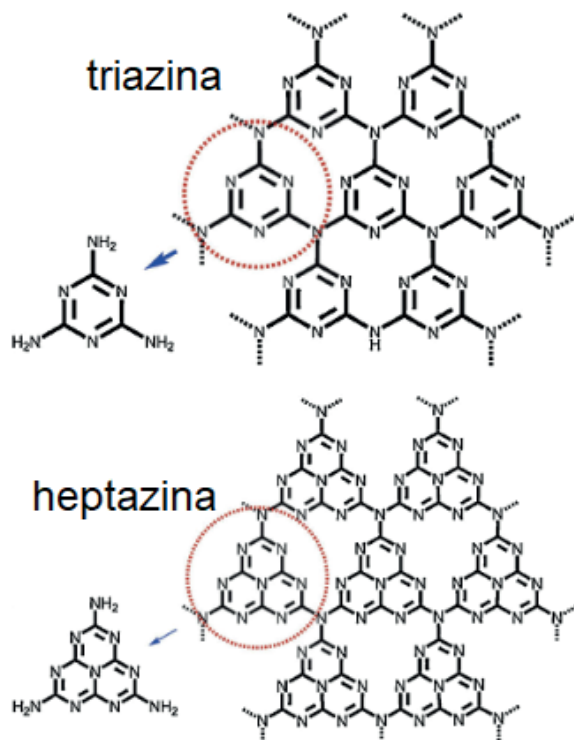


Figura 2: Unidade estrutural da triazina e heptazina.

Logo, o presente trabalho tem como objetivo revisar e discutir alguns dos recentes trabalhos publicados em fotocatalise heterogênea à base de  $g-C_3N_4$  visando a degradação de fármacos. Os locais de busca foram: *ScienceDirect* e *Scopus*. O levantamento de dados ocorreu entre os dias 10/06/2023 a 10/08/2023. As palavras chaves utilizadas para as buscas foram: *photocatalysis*,  $g-C_3N_4$ , *pharmaceutical compound*. Para inclusão do artigo nessa revisão, o trabalho deveria incluir necessariamente a degradação de fármacos e uso de  $g-C_3N_4$  (puro ou com modificações), e o ano de publicação não deveria ser anterior há cinco anos.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Tabela 1 apresenta 10 trabalhos publicados na literatura. Em todos eles foram selecionados o fotocatalisador, o precursor do  $g-C_3N_4$ , o fármaco estudado, as técnicas de caracterizações empregadas e observações sobre o processo fotocatalítico.

| Fotocatalisador                                               | Precursor do $g-C_3N_4$ | Fármaco                                                                | Técnicas de Caracterizações              | Processo fotocatalítico                                                                                                                                                        | Referência          |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| $g-C_3N_4$ dopado com Cl                                      | Ureia e Melamina        | Tetraciclina (antibiótico)                                             | XRD, FTIR, DRS, BET, TEM, HRTEM, XPS, PL | Simulação solar simulada a partir de uma lâmpada de xeônio.<br>$C_{catal.} = 500 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 10 \text{ mg/L}$                                            | Guo et al., 2019    |
| $Fe_3O_4/CdS/g-C_3N_4$                                        | Ureia                   | Ciprofloxacina (antibiótico)                                           | XRD, FTIR, DRS, BET, SEM, XPS            | Simulação solar simulada a partir de uma lâmpada de xeônio (250 W).<br>$C_{catal.} = 500 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 20 \text{ mg/L}$                                    | Zhang et al., 2020  |
| $Ti_3C_2$ de camadas de grafeno ancoradas em $TiO_2/g-C_3N_4$ | Melamina                | Tetraciclina (TC) (antibiótico),<br>Ciprofloxacina (CIP) (antibiótico) | TEM, XRD, XPS, BET, DRS, PL              | Simulação solar simulada a partir de uma lâmpada de xeônio (300 W).<br>$C_{catal.} = 600 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 15 \text{ mg/L}$ (TC) e $5 \text{ mg/L}$ (CIP)      | Wu et al., 2020     |
| $ZnFe_2O_4/BiVO_4/g-C_3N_4$                                   | Ureia                   | Lomefloxacina (antibiótico)                                            | XRD, DRS, PL, XPS, SEM, EDX, HR-TEM, BET | Luz solar simulada (lâmpada de xenônio de 300 W).<br>$C_{catal.} = 500 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 25 \text{ mg/L}$                                                      | Truong et al., 2022 |
| $C_3N_4/C_3N_4$ quantum dots dopado com O                     | Dicianodiamida          | Tetraciclina (antibiótico)                                             | XDR, SEM, BET, XPS, DRS, PL              | Luz solar simulada (lâmpada de xenônio de 300 W).<br>$C_{catal.} = 500 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 10 \text{ mg/L}$                                                      | Liu et al., 2022    |
| $Ag_2CO_3/Bi_4O_5I_2/g-C_3N_4$                                | Ureia                   | Tetraciclina (antibiótico)                                             | XRD, XPS, HRTEM, TEM, SEM, PL, BET, DRS  | Luz solar simulada (lâmpada de xenônio de 300 W).<br>$C_{catal.} = 600 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 20 \text{ mg/L}$                                                      | Chen et al., 2022   |
| Hidroxiquinolina funcionalizada com $g-C_3N_4$                | Ureia e Melamina        | Tetraciclina (antibiótico)                                             | XRD, FTIR, SEM, NMR, BET, PL             | Luz visível emitida por um conjunto de 10 lâmpadas LED de 85 W cada (de 474 a 513 W/m <sup>2</sup> ).<br>$C_{catal.} = 1000 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 30 \text{ mg/L}$ | Bhoyar et al., 2023 |
| $g-C_3N_4$                                                    | Melamina                | Diclofenaco de sódio (anti-inflamatório)                               | XRD, TGA, BET, FTIR, XPS, DRS, SEM       | Simulação solar simulada a partir de uma lâmpada de xeônio.<br>$C_{catal.} = 500 \text{ mg/L}$<br>$C_{substrato} = 10 \text{ mg/L}$                                            | Abega et al., 2023  |

|                                                                           |                              |                                    |                                 |                                                                                                                                                                    |                             |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Ferrita magnética<br>Ni-Zn ancorada<br>em g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | Ureia                        | Doxiciclina<br>(antibiótico)       | SEM, TEM, XRD,<br>DRS e XPS     | Simulação solar<br>simulada a partir<br>de uma lâmpada<br>de xeônio (500 W).<br>C <sub>catal.</sub> = 300 mg/L<br>C <sub>substrato</sub> = 20 mg/L                 | Dhiman et al.,<br>2023      |
| g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>                                           | Ureia, Melamina<br>e Tiourea | Diclofenaco<br>(anti-inflamatório) | SEM XRD, XPS,<br>FTIR, DRS, BET | Irradiação de<br>luz ultravioleta<br>(lâmpada UV-A,<br>Osram Dulux,<br>350–400 nm)<br>C <sub>catal.</sub> = 500 a 1000<br>mg/L<br>C <sub>substrato</sub> = 20 mg/L | Papamichail et<br>al., 2023 |

Nomenclatura das técnicas de caracterizações:: XRD - X-ray diffractometer; DRS - UV-visible diffuse reflectance spectra; PL - Photoluminescence; XPS - X-ray photoelectron spectroscopy; SEM - Scanning electron microscope; EDX - Energy dispersive X-ray; HRTEM - High-resolution transmission electron microscope; EIS - Electrochemical impedance spectroscopy; BET - Surface area Brunauer-EmmettTeller (BET) technique; FTIR - Fourier transforms infrared spectrometer; TEM - Transmission electron microscope; TGA - Thermogravimetric analysis; UV/Vis - UV-vis absorption spectra; ESR - Electron spin resonance; NMR - nuclear magnetic resonance.

Tabela 1: Principais informações dos trabalhos encontrados na revisão bibliográfica envolvendo uso de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> em degradação de fármacos.

Guo e colaboradores (2019) investigaram a fabricação de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> poroso dopado com cloro (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Cl) preparado por meio de uma rota de síntese que combina ureia, melamina e cloreto e amônio misturados em solução aquosa. Após um tempo de agitação e secagem, o material resultante foi levado ao aquecimento em forno mufla, nas condições de 550°C por 3 horas.

A atividade fotocatalítica ótima sob irradiação de luz visível com a proporção de massa precursora de cloreto de amônio para melamina foi de 1:1 (92% de degradação de tetraciclina em 120 minutos), sendo 2,4 vezes maior do que a do g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> puro (não modificado). Os autores atribuem o aprimoramento da atividade fotocatalítica do material com cloro principalmente às seguintes razões: (i) o fotocatalisador dopado com cloro pode auxiliar na regulação da estrutura eletrônica; (ii) as amostras de fotocatalisadores com cloro possuem área de superfície (114 m<sup>2</sup>/g) de até 2,7 vezes superior que o material sem adição de cloro e (iii) o material dopado com cloro pode ajudar a inibir a recombinação dos elétrons e lacunas fotoinduzidas. O *band gap* do fotocatalisador com presença de cloro ficou em torno de 2,70 eV, sendo um pouco menor que o fotocatalisador ausente de cloro (2,75 eV).

Zhang e colaboradores (2020) avaliaram o desempenho de fotocatalisadores magnéticos Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/CdS/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> visando a degradação de Ciprofloxacina. Fotocatalisadores compósitos com diferentes concentrações de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> foram preparados. Dentre as amostras sintetizadas, a eficiência de degradação do fotocatalisador FCN15 (15% em massa de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) foi a mais elevada (88% em 5 horas). Além disso, a atividade fotocatalítica não é reduzida significativamente após três ciclos de uso.

Com relação a caracterização dos materiais, os valores de área superficial ficaram na faixa de 47,7 a 54,7 m<sup>2</sup>/g, sendo o maior valor para a amostra FCN15. O *band-gap* da amostra g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> puro e do CdS puro foram de 2,83 e 2,23, respectivamente. Embora os autores não tenham mostrado os valores de *band-gap* dos fotocatalisadores Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/CdS/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, a faixa de absorção mostrada pelo resultado do DRS indicam que os valores de *band-gap* deles ficam entre os limites do g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> puro e do CdS puro.

Wu et al. (2020) avaliaram a degradação fotocatalítica de poluentes orgânicos refratários como tetraciclina (TC), ciprofloxacina (CIP), bisfenol A (BPA) e rodamina B (RhB) através de fotocatalisadores sintetizados à base de camadas de grafeno ancoradas, denominado de TiO<sub>2</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (GTOCN). Este, foi obtido a partir de uma estrutura de esquema Z que combina camadas de grafeno TiO<sub>2</sub> e g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Foi realizada a síntese das camadas de grafeno ancoradas em heterojunções TiO<sub>2</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> através de calcinação a partir de 4 g de melamina, com diferentes variações em massa de Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> entre 10 a 100 mg para obtenção de diferentes amostras de GTOCN. As amostras foram denominadas de GTOCN1, GTOCN2, GTOCN3, GTOCN4 e GTOCN5.

O GTOCN3 demonstrou um desempenho satisfatório em relação aos demais catalisadores, sendo que em três ciclos de execução, as eficiências de remoção dos poluentes foram de 77,8% (TC), 57,1% (CIP), 70,1% (BPA) e 96,7% (RhB), indicando que o GTOCN3 reciclado mantém sua capacidade de degradação. Além disso, o GTOCN3 apresentou fase cristalina estável e composição química adequada de manutenção. A área BET do GTOCN3 foi de 26,41 m<sup>2</sup>/g, indicando maior exposição dos sítios ativos para que aconteçam as reações fotocatalíticas.

Truong e colaboradores (2022) produziram fotocatalisadores magnéticos ativado por luz visível ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/BiVO<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> para decomposição do antibiótico lomefloxacina. Inicialmente, compósitos binários BiVO<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> foram produzidos misturando-se diferentes quantidades de BiVO<sub>4</sub> coletado de uma etapa hidrotérmica com 200 mg de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> em etanol. As misturas foram ultrassônicas por 30 minutos, seguidas de agitação contínua por 12 horas. Após aquecimento a 80°C por 6 h com agitação, as misturas secas foram calcinadas a 300°C por 1h. Por fim, fotocatalisadores com diferentes proporções de massa BiVO<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (20, 40, 60, 80 e 100%) foram fabricados e rotulados como BC-20, BC-40, BC-60, BC-80 e BC-100, respectivamente. Os compósitos ternários ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/BiVO<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> foram fabricados seguindo o mesmo processo para BC-80, exceto que diferentes quantidades de ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> foram adicionadas simultaneamente com 160 mg de BiVO<sub>4</sub> em etanol puro contendo 200 mg de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> poroso. Os compósitos ternários foram denotados como ZBC-2,5, ZBC-10, ZBC-25 e ZBC-45 de acordo com as razões de massa de ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> para g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (2,5, 10, 25 e 45%, respectivamente). Por exemplo, ZBC-10 foi preparado a partir de 20 mg de ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 160 mg de BiVO<sub>4</sub> e 200 mg de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

Verificou-se que o fotocatalisador com melhor desempenho foi o ZBC-10, possuindo uma proporção de massa ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:BiVO<sub>4</sub>:g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> de 1:8:10. A remoção de antibiótico foi

de 96,1% após 105 min de iluminação. Para este catalisador, foi observada uma pequena redução de 8,3% na remoção da lomefloxacin pelo ZBC-10 no 6º ciclo em relação ao primeiro teste. A degradação da lomefloxacin foi atribuída à separação e migração promovidas de portadores de carga fotoexcitados e à geração efetiva de múltiplas espécies ativas, incluindo  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{h}^+$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$  e  $^1\text{O}_2$ . A recuperação facilmente foi conseguida pela separação magnética. Os valores de *band gap* para  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ,  $\text{BiVO}_4$  e  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  foram aproximadamente 2,76, 2,42 e 1,85 eV, respectivamente. A área superficial estimada dos materiais variou de 77,6 (ZBC-45) a 109,7  $\text{m}^2/\text{g}$  ( $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ).

A toxicidade biológica do antibiótico e seus intermediários foi determinada usando um ensaio de inibição de lodo ativado. Foi mostrado que a fotocatalise baseada em ZBC-10 mitigou consideravelmente a toxicidade biológica do fármaco e até mesmo preveniu a contaminação secundária dos intermediários para o meio ambiente durante o processo de decomposição.

Liu e colaboradores (2022) realizaram a síntese de  $\text{C}_3\text{N}_4$  dopado com O decorado com pontos quânticos visando a degradação fotocatalítica de tetraciclina. A síntese começa com a fabricação de pontos quânticos de  $\text{C}_3\text{N}_4$  a partir da sonicação combinada com oxidação química. Em uma síntese típica, 2 g de dicianodiamida foram colocados em um cadinho e calcinados a 600°C por 4 h. Após resfriamento à temperatura ambiente, o material foi novamente calcinado a 600°C por mais 2 h. Depois de bem triturada, 0,2 g de amostra foram adicionados em um bquer contendo 20 mL de ácido sulfúrico e 60 mL de ácido nítrico e tratados com ultrassom por 8 h. A suspensão obtida foi lentamente adicionada a 400 mL de água deionizada e agitada por 0,5 h. A solução foi filtrada com uma membrana (0,1  $\mu\text{m}$ ). Os sólidos aprisionados foram dispersos em 32 mL de água deionizada e transferidos para uma autoclave de 50 mL revestida com Teflon e aquecidos a 200°C por 10 h. Em seguida, a suspensão obtida foi filtrada com membrana (0,01  $\mu\text{m}$ ), e o filtrado foi tratado por liofilização a -80°C para obter pontos quânticos de  $\text{C}_3\text{N}_4$  ( $\text{C}_3\text{N}_{4\text{qds}}$ ). Na sequência, os sólidos presos foram secos a 60°C.

O material preparado na etapa anterior segue para sequência de dopagem com O. Um cadinho contendo 15 g de ureia foi calcinado a 550°C por 4 h. A amostra obtida foi totalmente triturada e 0,2 g de amostra foram adicionados a 60 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e agitados por 0,5 h. Em seguida, a suspensão foi transferida para uma autoclave de 100 mL revestida com Teflon e aquecida a 160°C por 12 h. O precipitado foi coletado por centrifugação, lavado várias vezes com etanol e água deionizada e, em seguida, seco a 60°C por 8 h (este produto é o  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  dopado com O). Na sequência, 0,1 g de  $\text{C}_3\text{N}_4$  dopado com O e 0,02 g de pontos quânticos de  $\text{C}_3\text{N}_4$  foram colocados em 20 mL de metanol e agitados por 0,5 h. A suspensão foi então seca em banho-maria a 60°C para obtenção do compósito  $\text{C}_3\text{N}_4/\text{C}_3\text{N}_{4\text{qds}}$  dopado com O.

Os fotocatalisadores  $\text{C}_3\text{N}_4/\text{C}_3\text{N}_{4\text{qds}}$  dopados com O exibiram a maior degradação eficiência (98,2%), apresentando constante cinética de primeira ordem 2,43, 3,06 e 4,29



vezes maior que  $C_3N_4/C_3N_{4qds}$ ,  $C_3N_4/C_{3N_{4n\tilde{a}o-qds}}$  e  $C_3N_4$ , respectivamente.  $C_3N_4$  e  $C_3N_4/C_3N_{4qds}$  dopados com O apresentaram valores de área superficial de 67,5 e 105,5 m<sup>2</sup>/g, respectivamente. Os *band gaps* de  $C_3N_4$ ,  $C_3N_{4n\tilde{a}o-qds}$ ,  $C_3N_{4qds}$  e  $C_3N_4$  dopados com O foram estimados em 2,90, 2,92, 2,99 e 2,79 eV, respectivamente.

Zi-Jun Chen e colaboradores (2022) produziram um fotocatalisador de heteroestrutura  $Ag_2CO_3/Bi_4O_5I_2/g-C_3N_4$  para degradação fotocatalítica sob luz visível para tetraciclina. O material de heterojunção de esquema S duplo  $Ag_2CO_3/Bi_4O_5I_2/g-C_3N_4$  foi projetado por tratamento térmico e subsequente química úmida *in-situ*. O fotocatalisador de heterojunção de esquema S consiste principalmente em dois tipos de fotocatalisadores semicondutores do tipo n, sendo um deles o fotocatalisador de redução (RP) com sítio negativo e outro fotocatalisador de oxidação (OP) com sítio positivo. Essa heterojunção pode melhorar muito a taxa de utilização da carga fotogerada e gerar um grande número de substâncias ativas para degradação de contaminantes.

Comparado com os fotocatalisadores  $Bi_4O_5I_2$  e  $g-C_3N_4$ , o catalisador híbrido  $Ag_2CO_3/Bi_4O_5I_2/g-C_3N_4$  mostrou desempenho fotocatalítico aprimorado na degradação de tetraciclina, mostrando uma contate cinética até 13 vezes superior que os fotocatalisadores comparativos ( $Bi_4O_5I_2$  e  $g-C_3N_4$ ). Os autores atribuem que o aumento da atividade fotocatalítica não é apenas devido à formação do complexo ternário, que pode aumentar a resposta à luz visível do  $g-C_3N_4$ , mas também devido à heterojunção do esquema S. Quando a interface é iluminada por luz visível, o estabelecimento do campo elétrico e a curvatura resultante da borda da banda promovem a recombinação de portadores fotogerados com capacidade redox mais fraca no compósito, enquanto retêm elétrons e lacunas com capacidade redox mais forte. Portanto, os elétrons residuais e os buracos com altas propriedades redutoras e oxidantes conferem ao compósito uma capacidade redox extremamente alta. Quanto à caracterização, a morfologia e microestrutura dos fotocatalisadores CN, ACO, BOI e ACO/BOI/CN foram avaliadas por TEM, SEM e HRTEM e o material apresentou nanopartículas irregulares com um tamanho de partícula de cerca de 0,3–1,0  $\mu m$ . O *band gap* do fotocatalisador foi estimado em 2,14 eV, portanto sugerindo ser eficaz sob irradiação visível. O valor de área superficial foi relativamente pequeno, de 2,36 m<sup>2</sup>/g. Importante destacar que os fotocatalisadores comparativos mostraram valores de área pelo menos 5 vezes superior (como os  $Bi_4O_5I_2$  e  $g-C_3N_4$ ). Este resultado é interessante, pois, apesar do baixo valor de área, o fotocatalisador de interesse do estudo apresentou os melhores resultados em termos de degradação.

Bhoyar e colaboradores (2023) produziram hidroxiquinolina funcionalizada com  $g-C_3N_4$  através de um método químico úmido (mistura do  $g-C_3N_4$  com hidroxiquinolina em metanol e mantido sob agitação) de fácil preparo. Os autores relataram degradação de tetraciclina de até 94% (1 hora de reação) para amostra contendo 1 mmol/L de hidroxiquinolina, representando um aumento de 62% da amostra controle contendo apenas  $g-C_3N_4$ . O intervalo de *band gap* foi estimado em 2,7 eV, o que permite a absorção de luz

visível para desencadear reações de degradação oxidativa. O valor de área superficial encontrado foi de 84,15 m<sup>2</sup>/g, sendo 6,4 vezes superior ao da amostra comparativa (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> não modificado).

Os autores deste trabalho também investigaram a fitotoxicidade das amostras de fármaco. Este tipo de análise ainda é incomum em trabalhos de fotocatalise envolvendo fotocatalisadores à base de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> visando degradar fármacos. Porém, estes testes podem ser bastante úteis para avaliar a potencial toxicidade dos subprodutos de degradação, bem como a possibilidade de água de reuso. A solução de fármaco não tratada com fotocatalise mostrou uma inibição na germinação de sementes de grama comum, indicando o caráter tóxico do fármaco. Em contraste, a solução de fármaco após a degradação fotocatalítica usando o fotocatalisador não modificado (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) também suprimiu o crescimento de sementes de gramíneas, o que significa que a toxicidade da solução tóxica da solução devido à degradação incompleta da molécula. No entanto, a solução de tetraciclina degradada (após 90 min. De reação) pelo fotocatalisador modificado com hidroxiquinolina (1 mmol/L) apresentou uma taxa de crescimento semelhante à taxa de crescimento da amostra de controle (água).

O trabalho de Abega e colaboradores (2023) estudou a síntese de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> utilizando água ou etanol como solventes. Segundo os autores, todos os g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> sintetizados na presença de solventes apresentaram atividade fotocatalítica superior àquele obtido sem solvente, especialmente aquele obtido na presença de água destilada (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O). Para todos os fotocatalisadores fabricados, a temperatura do forno mufla foi mantida a 550°C durante 4 horas.

O g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O alcançou os melhores resultados de atividade fotocatalítica de degradação do diclofenaco de sódio (48%) sob luz solar simulada após 120 minutos de irradiação. Para comparação, o material g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> *bulk* (sem adição de solvente na preparação) apresentou apenas 10% de degradação do fármaco. O material com melhores resultados apresentou um valor de área superficial de 22,15 m<sup>2</sup>/g (sendo o maior de todos), enquanto que o g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> *bulk* apresentou valor de área de 17,94 m<sup>2</sup>/g. O valor de *band gap* dos materiais foram todos similares, variando de 2,81 a 2,83 eV.

Fotocatalisadores magnéticos também foram estudados pelos autores Dhiman e colaboradores (2023). Foi avaliada a eficiência da fabricação em três etapas do fotocatalisador g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> acoplado com Ni-Zn para a degradação do antibiótico doxíciclina, sendo que este já foi encontrado em estações de esgoto entre 0.11–0.42 µg L<sup>-1</sup>.

A solução proposta para impulsionar a fotodegradação foi a heterojunção do fotocatalisador polimérico baseado em metais semicondutores com *band gap* e potencial redox compatível para melhorar a reciclabilidade do catalisador e a suprimir a recombinação do par elétron-lacuna. Dentre os metais, o nanocomposto (NiZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) foi escolhido pela constante aparições na literatura por apresentar boa atividade fotocatalítica em luz visível.

A síntese do catalisador g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>@NZFO foi realizada em três etapas, que consistiu

no preparo do  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  derivado de 10g de ureia aquecida em forno mufla a 550°C. Para a síntese da heterojunção  $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  foi escolhido o método de combustão, no qual o foi usado nitrato de níquel, zinco e ferro como matéria prima. Para finalizar a combinação dos dois catalisadores realizou-se a moagem mecânica dos dois pós em proporções de 1:4, 2:3 e 4:1, assim levando para a mufla novamente por 550°C obtendo-se como produto final um pó marrom.

Os resultados revelaram que a heterojunção preparada possui eficiência máxima de degradação de 97,10% do poluente em experimento de 60 min. No processo de degradação, é desejável que o fotocatalisador seja reutilizável e reciclável sem qualquer perda de propriedades químico-físicas ao longo do número de ciclos de uso.

Considerando que o fotocatalisador preparado pelos autores possui propriedades magnéticas, foi demonstrado que quase 95% dele é recuperado com a ajuda do campo magnético. Além disso, não houve perda prejudicial na eficiência de degradação após a execução de cinco ciclos.

Para a caracterização da morfologia e dimensão das partículas do catalisador os métodos de MEV, MET e DRX, são os quais demonstraram homogeneização da nanopartícula de ferrita de Ni-Zn nas estruturas de folhas finas do  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ . Foi empregado para o cálculo de *band-gap* a equação de Tauc, revelando um valor de 2,35 eV.

Papamichail e colaboradores (2023) estudaram a síntese do  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  usando água como reagente crucial a fim de ajustar as propriedades físico-químicas e consequentemente aumentar a degradação fotocatalítica do diclofenaco. A estratégia para otimização dos materiais fotocatalíticos envolveu três precursores com diferentes tempos de policondensação térmica, sendo eles: a melamina, a ureia e a tioureia. A preparação de amostras de  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  se deu da seguinte forma: aproximadamente 10 g de cada precursor foi aquecido a 550°C por 120, 240 e 300 minutos, respectivamente, a uma taxa de aquecimento de 15 °C/min em mufla. As amostras de melamina foram chamadas de Mp2, Mp4 e Mp5, conforme o tempo em horas de duração do tratamento térmico. Já a ureia e a tioureia, passaram por uma rota alternativa, na qual utilizou-se água ultrapura na preparação do catalisador. A pasta formada foi seca a vácuo e os sólidos foram aquecidos a 550°C por 120, 240 e 300 minutos em atmosfera de nitrogênio. As amostras designadas de M (melamina), U (ureia) e Th (tioureia) foram lavadas, moídas e peneiradas antes de sua utilização.

Quanto a eficiência de degradação, as amostras derivadas de ureia apresentaram as maiores áreas de superfície específicas e os menores cristais, bem como os maiores valores de eficiência fotocatalítica, sendo a concentração de fotocatalisador de 1000 mg/L a melhor encontrada. Comparando com a amostra comercial de  $\text{TiO}_2$  (P25), os autores relataram que a constante cinética da degradação do fármaco foi maior apenas para as amostras sintetizadas com ureia.

A morfologia das amostras revelou estruturas distintas, nas amostras derivadas de ureia e tioureia, por exemplo, as nanofolhas apresentaram-se mais finas e com menor

tamanho de cristais. Outra característica analisada foi a área superficial específica, a qual apresentou valores maiores para as amostras de ureia e tioureia em comparação às amostras derivadas da melamina. Os valores de área BET encontrados para Mp2 (2,73 eV), Mp4 (2,76 eV) e Mp5 (2,76 eV) foram de 6, 7 e 18 m<sup>2</sup>/g, respectivamente. No que diz respeito à degradação do fármaco diclofenaco utilizando g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> sintetizado a partir da melamina, as amostras obtidas após 300 minutos apresentaram atividade fotocatalítica superior se comparado com as amostras de 120 e 240. Ainda, é válido ressaltar que os autores buscaram a otimização do pH inicial e dosagem do fotocatalisador a fim de ter a melhor eficiência de remoção de diclofenaco. Os resultados demonstraram que o pH mais promissor é o 5 e que 1 g/L de catalisador tem a capacidade de aproximadamente 60% de eficiência de remoção de diclofenaco.

### 3 | CONCLUSÕES

Apesar de não pretender esgotar o assunto, a presente revisão foi capaz de mostrar algumas tendências nessa área de pesquisa. Foi possível constatar que uso do fotocatalisador à base de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> é promissor para a degradação de fármacos. A síntese desse material normalmente é fácil e rápida. Todos os trabalhos realizaram testes de fotocatalise sob irradiação visível ou simulação da luz solar, algo condizente com o fato do fotocatalisador absorver essa faixa do espectro. Fotocatalisadores magnéticos também têm sido explorados, visando facilitar a recuperação do material e possibilidade de reuso. No entanto, algumas lacunas ainda precisam ser mais estudadas visando a aplicação desse fotocatalisador na área de contaminantes emergentes. A maioria dos fármacos estudados são focados no uso de antibiótico, sendo poucos estudos explorando outras classes de fármacos como anti-inflamatório e analgésicos. Além disso, ainda são escassos os trabalhos envolvendo testes com radiação de luz solar natural com uso do g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Também observa-se que são pouco comuns os estudos avaliando a degradação de efluentes hospitalares reais, algo também constato em estudos de revisão recentes (Biswas et al., 2023). Análises de toxicidade ou fitotoxicidade também não foram encontradas de maneira recorrente nos estudos avaliados.

### REFERÊNCIAS

ABEGA, A. V.; MARCHAL, C.; DZIURLA, M.-A.; DANTIO, N. C. B. et al. **Photocatalytic enhancement of bulk g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> by one-step polymerization of melamine in the presence of solvent: Synthesis and characterization.** Journal of Materials Research, 38, n. 15, p. 3690-3706, 2023/08/01 2023.

ARMAN, N. Z.; SALMIATI, S.; ARIS, A.; SALIM, M. R. et al. **A Review on Emerging Pollutants in the Water Environment: Existences, Health Effects and Treatment Processes.** Water, 13, n. 22, p. 3258, 2021.

BHOYAR, T.; VIDYASAGAR, D.; UMARE, S. S. **Mitigating phytotoxicity of tetracycline by metal-free 8-hydroxyquinoline functionalized carbon nitride photocatalyst**. Journal of Environmental Sciences, 125, p. 37-46, 2023/03/01/ 2023.

BISWAS, S.; PAL, A. **A Brief Review on the Latest Developments on Pharmaceutical Compound Degradation Using g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Based Composite Catalysts**. Catalysts, 13, n. 6, p. 925, 2023.

CHEN, Z.-J.; GUO, H.; LIU, H.-Y.; NIU, C.-G. et al. **Construction of dual S-scheme Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Bi<sub>4</sub>O<sub>5</sub>I<sub>2</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> heterostructure photocatalyst with enhanced visible-light photocatalytic degradation for tetracycline**. Chemical Engineering Journal, 438, p. 135471, 2022/06/15/ 2022.

DHIMAN, P.; RANA, G.; ALSHGARI, R. A.; KUMAR, A. et al. **"Magnetic Ni-Zn ferrite anchored on g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> as nano-photocatalyst for efficient photo-degradation of doxycycline from water"**. Environ Res, 216, n. Pt 3, p. 114665, Jan 1 2023.

DONG, G.; ZHANG, Y.; PAN, Q.; QIU, J. **A fantastic graphitic carbon nitride (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) material: Electronic structure, photocatalytic and photoelectronic properties**. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 20, p. 33-50, 2014/09/01/ 2014.

GLAZE, W. H.; KANG, J.-W.; CHAPIN, D. H. **The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation**. Ozone: Science & Engineering, 9, n. 4, p. 335-352, 1987/09/01 1987.

GOMES, J.; LINCHO, J.; DOMINGUES, E.; QUINTA-FERREIRA, R. M. et al. **N-TiO<sub>2</sub> Photocatalysts: A Review of Their Characteristics and Capacity for Emerging Contaminants Removal**. Water, 11, n. 2, p. 373, 2019.

GUO, F.; LI, M.; REN, H.; HUANG, X. et al. **Facile bottom-up preparation of Cl doped porous g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanosheets for enhanced photocatalytic degradation of tetracycline under visible light**. Separation and Purification Technology, 228, p. 115770, 2019/12/01/ 2019.

IBHADON, A. O.; FITZPATRICK, P. **Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications**. Catalysts, 3, n. 1, p. 189-218, 2013.

KUMAR, R.; QURESHI, M.; VISHWAKARMA, D. K.; AL-ANSARI, N. et al. **A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies**. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6, p. 100219, 2022/12/01/ 2022.

KUMAR, S.; KARTHIKEYAN, S.; LEE, A. F. **g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Based Nanomaterials for Visible Light-Driven Photocatalysis**. Catalysts, 8, n. 2, p. 74, 2018.

LIN, T.; YU, S.; CHEN, W. **Occurrence, removal and risk assessment of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP) around Taihu Lake in China**. Chemosphere, 152, p. 1-9, Jun 2016.

LIU, Y.; GONG, Y.; CUI, X.; YU, H. et al. **Synthesis of O doped C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> decorated with C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> quantum dots: Construction of a homo junction photocatalyst for the enhanced photocatalytic degradation of tetracycline**. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 138, p. 104457, 2022/09/01/ 2022.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. **CONTAMINANTES EMERGENTES EM MATRIZES AQUÁTICAS DO BRASIL: CENÁRIO ATUAL E ASPECTOS ANALÍTICOS, ECOTOXICOLÓGICOS E REGULATÓRIOS**. Química Nova, 40, 2017.

NITOI, I.; ONCESCU, T.; OANCEA, P. **Mechanism and kinetic study for the degradation of lindane by photo-Fenton process**. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19, n. 1, p. 305-309, 2013.

PAPAMICHAIL, P.; NANNOU, C.; GIANNAKOUDAKIS, D. A.; BIKIARIS, N. D. et al. **Maximization of the photocatalytic degradation of diclofenac using polymeric g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> by tuning the precursor and the synthetic protocol**. Catalysis Today, 418, p. 114075, 2023/06/01/ 2023.

RAHIM POURAN, S.; ABDUL AZIZ, A. R.; WAN DAUD, W. M. A. **Review on the main advances in photo-Fenton oxidation system for recalcitrant wastewaters**. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, n. 0. 2014.

TEIXEIRA, C. P. A. B. Jardim., W. F. **Processos Oxidativos Avançados. Conceitos teóricos**. Caderno temático. Instituto de Química UNICAMP, Campinas/SP. 3 2004.

TRUONG, H. B.; HUY, B. T.; RAY, S. K.; GYAWALI, G. et al. **Magnetic visible-light activated photocatalyst ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/BiVO<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> for decomposition of antibiotic lomefloxacin: Photocatalytic mechanism, degradation pathway, and toxicity assessment**. Chemosphere, 299, p. 134320, 2022/07/01/ 2022.

WANG, Q.; LI, Y.; HUANG, F.; SONG, S. et al. **Recent Advances in g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Based Materials and Their Application in Energy and Environmental Sustainability**. Molecules, 28, 2023.

WU, Z.; LIANG, Y.; YUAN, X.; ZOU, D. et al. **MXene Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub> derived Z-scheme photocatalyst of graphene layers anchored TiO<sub>2</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> for visible light photocatalytic degradation of refractory organic pollutants**. Chemical Engineering Journal, 394, p. 124921, 2020/08/15/ 2020.

ZHANG, N.; LI, X.; WANG, Y.; ZHU, B. et al. **Fabrication of magnetically recoverable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/CdS/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> photocatalysts for effective degradation of ciprofloxacin under visible light**. Ceramics International, 46, n. 13, p. 20974-20984, 2020/09/01/ 2020.

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA** - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba, em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única. Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e especialista em Química Analítica pela Faculdade Metropolitana (FAMES) em 2023. Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a abril de 2022) e cursa o segundo estágio (2022- atual) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atualmente é químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio e professor do SENAI-GO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2$ /UV C,  $TiO_2$ /UV-A e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 70 e-books e publicou 40 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente dentre outras áreas afins



**A**

*Aedes aegypti* 78

Afluentes 124, 176, 177, 186, 187, 188

Agência Nacional de Águas (ANA) 22, 23, 162, 173, 202

Água 3, 4, 12, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 72, 75, 76, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 129, 130, 131, 134, 137, 138, 140, 141, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 169, 170, 171, 173, 175, 176, 177, 181, 182, 185, 187, 188, 189, 191, 195, 196, 200, 201, 202, 212, 214, 215, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 226, 232, 233, 234, 235, 242, 243, 244, 245, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 261, 262, 263, 276, 277, 282, 283, 284, 285, 290, 292, 293

Água de chuva 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109

Água potável 33, 52, 95, 113, 159, 243, 263

Águas pluviais 34, 51, 53, 56, 59, 63, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 109, 125, 138, 179, 180, 181, 183, 184, 191, 207, 215, 221, 222

Aterro sanitário 243, 244, 245, 246, 247, 254, 255

Auxócromos 262

**B**

Bacia do Rio Camarajipe 1

Balanco hídrico 111, 112, 113, 114, 119, 122, 123

Biodegradabilidade 150, 245

Biodiversidade 1, 4

Bioindicadores 256, 257

*Biological Monitoring Working Party* (BMWP) 256, 258

**C**

Caixas de desarenação 205, 207, 208

Catalisador 261, 263, 264, 266, 270, 271, 276, 284, 290, 291, 292, 293, 294

Coliformes termotolerantes 153, 155, 156, 157, 158, 159, 240

Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) 112, 113, 204, 205

Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) 148, 152, 229, 230, 233, 234, 235, 242

Condutividade elétrica 94, 100, 101, 103, 105, 106, 107, 108

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 150, 151  
 Contaminantes 96, 107, 150, 263, 274, 276, 282, 283, 284, 291, 294, 296, 297  
 Corante 181, 184, 258, 261, 262, 264, 266, 267, 268, 270, 271, 273, 274, 277, 278, 279, 280  
 Corpos hídricos 133, 150, 166, 168, 170, 185, 187, 188, 189, 200, 202, 245, 261, 262  
 Córrego Cabaça 257  
 Córrego Pedreira/Olaria 125, 132  
 Córrego Pirajuçara 124, 176, 187, 188, 189, 195, 196  
 Covid-19 14, 15, 17, 20, 130, 133  
 Cromóforos 262

## D

Decantadores 243, 244  
 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) 156, 157, 163, 164  
 Demanda Química de Oxigênio (DQO) 156, 157, 164  
 Dengue 9, 77, 78, 79, 83, 84, 87, 89, 90, 91, 92  
 Diagnóstico socioambiental 127  
 Difração de Raios-X 264

## E

Ecossistemas aquáticos 149, 150  
 Educação socioambiental 126, 127, 129  
 Escassez hídrica 53, 111, 112, 150, 152  
 Esgotamento sanitário 5, 9, 10, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 41, 43, 47, 48, 49, 131, 132, 134, 136, 137, 139, 147, 152, 162, 175, 177, 178, 180, 183, 184, 185, 187, 188, 189, 191, 195, 196, 200, 202, 204, 206, 207, 208, 209, 212, 214, 215, 218, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 241, 242  
 Espectroscopia Eletrônica no Ultravioleta-Visível (UV-vis) 264  
 Espectroscopia no Infravermelho (IV) 264  
 Estação de Tratamento de Água (ETA) 219, 220, 244  
 Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 185, 187, 196  
 Extravasamento de esgoto 205, 212

## F

Fauna bentônica 258  
 Fossa séptica 166, 173, 174, 175

Fotocatálise heterogênea 276, 282, 283, 284, 286

## G

Gestão integrada 19, 115, 204, 205, 206, 212, 232

## I

Impactos ambientais 67, 73, 148, 149, 163, 168, 229, 231, 245, 255

Inadimplência 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 46, 49

Índice de Qualidade de Água (IQA) 256

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 21, 126

*International Water Association (IWA)* 111, 112, 113, 114

## L

Lei das Águas 21, 22, 24

## M

Macroinvertebrados bentônicos 257, 260

Meio ambiente 1, 12, 28, 34, 37, 51, 63, 65, 93, 110, 127, 129, 131, 134, 146, 150, 151, 159, 160, 163, 168, 171, 172, 173, 175, 204, 205, 206, 229, 230, 232, 233, 241, 245, 254, 255, 257, 259, 263, 290, 297

## N

Nanopartículas 274, 275, 276, 277, 278, 280, 291

## O

Organismos aquáticos 262

## P

Paradigma 31, 40, 47, 162

Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) 22, 30

Poluentes 93, 94, 95, 96, 97, 100, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 149, 231, 234, 258, 262, 275, 284, 289

Preservação hídrica 261

Processos Oxidativos Avançados (POAs) 282, 284

## Q

Qualidade das águas 2, 3, 5, 96, 105, 107, 109, 124, 126, 185, 187, 195, 202, 254, 257, 258, 259

## R

Reação de Fenton 261, 263, 271

Reator Anaeróbio Biodigestor Artesanal (RAB-A) 161, 166

Reator anaeróbio de fluxo ascendente 149, 152

Recursos hídricos 12, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 30, 49, 52, 126, 127, 129, 133, 135, 136, 148, 150, 151, 156, 159, 162, 233, 259, 260

Rede coletora de esgoto 136, 137, 139, 144, 147, 185, 202

Resíduo 82, 243, 244, 247, 248, 252, 253

Reuso 33, 149, 150, 151, 152, 153, 156, 158, 159, 171, 229, 283, 292, 294, 297

Rio Pinheiros 124, 125, 126, 131, 132, 133, 176, 177, 178, 185, 186, 187, 188, 189, 194, 195, 202, 203

## S

Saneamento básico 2, 4, 5, 9, 22, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 46, 48, 49, 113, 124, 125, 134, 136, 137, 161, 162, 163, 164, 167, 172, 174, 175, 176, 177, 185, 188, 203, 227, 235, 242

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) 150

Sistemas de abastecimento 33, 111, 123

Socioambientais 11, 62, 65, 66, 68, 71, 74, 75, 124, 125, 126, 130, 133, 134

Sólidos Suspensos Totais (SST) 156, 157

## T

Tecnologias Sociais (TS) 163

Tratamento de esgoto 34, 148, 149, 150, 155, 161, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 172, 173, 174, 175, 222, 231, 232, 234, 297

Triagem 258

Turbidez 94, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 226

## V

Veículo 55, 56, 58, 205, 206, 208

Vulnerabilidade socioambiental 77, 78, 79, 80, 86, 87, 89

# SOLUÇÕES INOVADORAS

EM ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# SOLUÇÕES INOVADORAS

EM ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)