

Francisco Odécio Sales  
Karine Moreira Gomes Sales  
(Organizadores)

# Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

Francisco Odécio Sales  
Karine Moreira Gomes Sales  
(Organizadores)

# Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**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 Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 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 Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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 Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Yaiddy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Francisco Odécio Sales  
Karine Moreira Gomes Sales

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C968                                                    | Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra / Organizadores Francisco Odécio Sales, Karine Moreira Gomes Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.<br><br>Formato: PDF<br>Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader<br>Modo de acesso: World Wide Web<br>Inclui bibliografia<br>ISBN 978-65-5983-756-4<br>DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.564212012">https://doi.org/10.22533/at.ed.564212012</a><br><br>1. Ciências exatas e da terra. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Sales, Karine Moreira Gomes (Organizadora). III. Título.<br><br>CDD 507 |
| 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)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

## 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.



## APRESENTAÇÃO

A coleção “Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra” é uma obra que objetiva uma profunda discussão técnico-científica fomentada por diversos trabalhos dispostos em meio aos seus 17 capítulos. Esse 1º volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que nos transitam vários caminhos das Ciências exatas e da Terra, bem como suas reverberações e impactos econômicos e sociais a luz da epistemologia.

Tal obra objetiva publicizar de forma objetiva e categorizada estudos e pesquisas realizadas em diversas instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais. Em todos os capítulos aqui expostos a linha condutora é o aspecto relacionado às Ciências Naturais, tecnologia da informação, ensino de ciências e áreas afins correlatos ao locus cultural.

Temas diversos e interessantes são deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam por inovação, tecnologia, ensino de ciências e demais temas. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes campos da engenharia, ciência e ensino de forma temporal com dados geográficos, físicos, econômicos e sociais de regiões específicas do país é de suma importância, bem como abordar temas atuais e de interesse direto da sociedade.

Deste modo a obra Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra apresenta uma profunda e sólida fundamentação teórica bem com resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que desenvolvem seu trabalho de forma séria e comprometida, apresentados aqui de maneira didática e articulada com as demandas atuais. Sabemos o quanto importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Francisco Odécio Sales  
Karine Moreira Gomes Sales



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A SHORT NOTE ON THE ELECTRON-POSITRON PAIR CREATION**

Eduardo De Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120121>

### **CAPÍTULO 2..... 9**

#### **BREVES COMENTÁRIOS ACERCA DA GEOQUÍMICA DAS TERRAS PRETAS DE ÍNDIO (TPI's) NA AMAZÔNIA**

Matheus Cavalcante Silva

Bianca Soares Costa

Fernanda Ravana da Conceição Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120122>

### **CAPÍTULO 3..... 15**

#### **APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO CONTEXTO AROMAS: UMA PROPOSTA DE MATERIAL PARADIDÁTICO PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS**

Fernando Vasconcelos de Oliveira

Vanessa Candito

Mara Elisa Fortes Braibante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120123>

### **CAPÍTULO 4..... 27**

#### **CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA EM ESCOLA DO CAMPO SITUADA NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAURU-MT, ATRAVÉS DE PROJETO SUSTENTÁVEL - CISTERNA**

Luiz Cláudio Almeida Martins

Rosiane Alexsandra dos Santos Costa

Solange Aparecida Arrolho da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120124>

### **CAPÍTULO 5..... 41**

#### **CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NO ENTORNO DE FAZENDA MARINHA NA ENSEADA DO BANANAL, ILHA GRANDE, ANGRA DOS REIS, RIO DE JANEIRO**

Vanessa de Magalhães Ferreira

Tatiana Ribeiro Briglia

Bruno Saliba Souza Almeida

Gabriel Soares Cruz

Camila de Leon Lousada Borges

Gleici Natali Montanini dos Santos

Marcos Bastos Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120125>

### **CAPÍTULO 6..... 69**

#### **LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS EM ÁREAS**

## CÁRSTICAS NO MUNICÍPIO DE OUROLÂNDIA NO PERÍODO DE 2007 A 2014

Antonieta Antenora Italia Candia

Arlene Lula Moreira De Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120126>

### **CAPÍTULO 7..... 81**

#### **EVAPOTRANSPIRAÇÃO E OS COEFICIENTES DE CULTURA DO CAUPI NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL**

Vivian Dielly da Silva Farias

Marcos José Alves de Lima

Hildo Giuseppe Garcia Caldas Nunes

Deborah Luciany Pires Costa

Denis de Pinho Sousa

Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza

Vandeilson Belfort Moura

Sandra Andréa Santos da Silva

José Farias Costa

Maysa Lorrane Medeiros de Araújo

Dayse Drielly Souza Santana Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120127>

### **CAPÍTULO 8..... 94**

#### **DIAGNÓSTICO ENÉRGICO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA FATEC FRANCO DA ROCHA**

Carlos Eduardo Oliveira Santos

José Eduardo Soares de Almeida

Leonardo Augusto dos Santos

Matheus Lira de Almeida

Silvia Maria Farani Costa

Augusto de Toledo Cruz Junior

Valquiria Pereira Alcantara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120128>

### **CAPÍTULO 9..... 110**

#### **FORMAÇÃO INICIAL DOCENTE EM GEOGRAFIA: A IMPORTÂNCIA DE SITUAR A ALFABETIZAÇÃO CARTOGRÁFICA NO CONTEXTO DA ALFABETIZAÇÃO ESPACIAL**

Ronaldo Goulart Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120129>

### **CAPÍTULO 10..... 121**

#### **MATERIAL DE APOIO PARA ABORDAGEM DAS TRÊS LEIS DE KEPLER NO ENSINO MÉDIO**

Gabriel Luiz Nalon Macedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201210>

### **CAPÍTULO 11..... 130**

#### **IMPACTO DO USO DA DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL NO PROCESSO**

## ENSINO-APRENDIZAGEM APLICADO À FENÔMENOS DE TRANSPORTE

Vitor Pancieri Pinheiro

Carlos Friedrich Loeffler Neto

Natan Sian das Neves

Roger da Silva Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201211>

### **CAPÍTULO 12..... 139**

#### **METODOLOGÍA SUPERFICIE DE RESPUESTA: TRES APLICACIONES A CONJUNTOS DE DATOS REALES**

René Castro Montoya

José Vidal Jiménez Ramírez

Mario Castro Flores

Ana Gabriela Osuna Páez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201212>

### **CAPÍTULO 13..... 154**

#### **PERCEPÇÃO DO TURISTA SOBRE HOSPITALIDADE: UM ESTUDO NA ROTA ECOLÓGICA ALAGOANA**

Gildo Rafael de Almeida Santanata

Marielle Cristina Silva Mendonça

Ademar da Silva Paulino

Uilliane Faustino de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201213>

### **CAPÍTULO 14..... 163**

#### **REAÇÕES DE CETONAS E POLIÁLCOOIS PARTE 1:AUTO-ALDOLIZAÇÃO E CETALIZAÇÃO PROMOVIDAS PELO CATALIZADOR HIDROFÍLICO E AMORFO $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$ , SOB IRRADIAÇÃO DE MICRO-ONDAS**

Sandro Luiz Barbosa dos Santos

Stanlei Ivair Klein

Myrlene de Oliveira Ottone

Milton de Souza Freitas

Maria Luiza Pereira e Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201214>

### **CAPÍTULO 15..... 172**

#### **SIMULAÇÃO DE COMPLEXOS $\text{Fe(III)}$ E $\text{Cr(III)}$ POR SIDERÓFOROS**

Leonardo Konopaski Andreani

Sérgio Ricardo de Lázaro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201215>

### **CAPÍTULO 16..... 181**

#### **PERCEPCIÓN DE LOS SINALOENSES EN LAS ELECCIONES DEL ESTADO DE SINALOA PARA GOBENADOR, DIPUTADOS FEDERALES Y PRESIDENTES MUNICIPALES EN 2015**

René Castro Montoya

José Vidal Jiménez Ramírez

Mario Castro Flores

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201216>

**CAPÍTULO 17..... 190**

TEAM BASED LEARNING: UMA ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO COLABORATIVA

Telma Vinhas Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201217>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 206**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 207**

## A SHORT NOTE ON THE ELECTRON-POSITRON PAIR CREATION

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 21/09/2021

**Eduardo De Paiva**

Instituto de Radioproteção e Dosimetria,  
Divisão de Física Médica  
Rio de Janeiro – RJ  
<https://orcid.org/0000-0002-2108-4616>

**ABSTRACT:** The electron-positron pair creation is one of the various mechanisms of interaction of photon radiation with matter and the pair can be produced when the photon interacts with an atomic nucleus or an electron. The photon energy thresholds  $k_{th}$  for these reactions are respectively  $\sim 2m_0c^2$  or  $4m_0c^2$  ( $m_0$  is the rest mass of one electron and  $c$  is the speed of light in vacuum). An interesting feature of the electron-positron pair creation occurs when a very low energy photon ( $k \ll m_0c^2$ ) collides with an ultra-relativistic electron ( $E \gg m_0c^2$ ). In this note the kinematics of collision between a photon and an electron is reviewed and the particular and interesting feature of the triplet pair production when ultra-relativistic electrons interact with soft photons is briefly described.

**KEYWORDS:** Pair production. Electron-positron pair. Triplet pair production.

**RESUMO:** A criação de pares elétron-pósitron é um dos vários mecanismos de interação do fóton com a matéria e o par pode ser produzido quando o fóton interage com um núcleo atômico ou com um

elétron. As energias limiares do fóton  $k_{th}$  para estas reações são respectivamente  $\sim 2m_0c^2$  ou  $4m_0c^2$  ( $m_0$  é a massa de repouso do elétron e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo). Um aspecto interessante da criação de par elétron-pósitron ocorre quando um fóton de energia muito baixa ( $k \ll m_0c^2$ ) colide com um elétron ultra-relativístico ( $E \gg m_0c^2$ ). Nesta nota a cinemática da colisão entre um elétron e um fóton é revista e o aspecto particular e interessante da produção de tripleto quando elétrons ultra-relativísticos colidem com fótons de baixíssimas energias é brevemente descrito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produção de pares. Par elétron-pósitron. Produção de tripleto.

### 1 | INTRODUCTION

The knowledge the of mechanisms of interaction between photon radiation and matter plays an important role in scientific and technological areas, such as radiation protection in industry and medicine, medical diagnosis and treatment of diseases, security surveillance in ports and airports, design of protective barriers against radiation in radiotherapy facilities, nuclear power plant shielding, and other applications. The interaction of photon radiation with matter is mainly governed by Rayleigh and Compton scattering, and the absorption processes of photoelectric effect, pair creation (in nuclear and electron field) and photodisintegration (KHAN; GIBBONS, 2014). The different manners of how photon interacts with matter depend basically on

its initial incident energy. At low photon incident energy  $k$  ( $< 10$  keV) and high atomic number  $Z$  of the absorbing medium the coherent or Rayleigh scattering, characterized by no energy transferring, i.e., the scattered and incident photons have the same energy, dominates the interaction process, and therefore in high-energy processes it can be neglected as for example in the medical practice of radiotherapy with the use of linear accelerators; the attenuation from the photoelectric effect is the principal mechanism of interaction at low incident photon energy due to the  $1/k^3$  energy dependence. Photoelectric effect is also proportional to the cube of the atomic number of absorber, and this dependence has a special importance in diagnostic radiology provided that the different  $Z$  of the various tissues can increase or decrease the x-ray absorption; as the photon energy increases, the contribution of photoelectric effect drops sharply until the energy of photon is greater than the electron bind energy and Compton interaction begins to predominate. The Compton scattering falls off with energy of incident energy and is fairly independent of atomic number. The contribution of pair creation to the total attenuation process has a threshold of  $2m_0c^2$  ( $m_0c^2 = 0.511$  MeV, where  $m_0$  is the rest mass of the electron and  $c$  is the speed of light in vacuum) and increases with  $Z^2$  and  $k$ . So, as the energy increases, the contribution due to the Compton scattering diminishes and the contribution of pair production gets larger. At higher energies of the incident photon radiation the pair production is the dominant process of interaction. Finally, at energies of the incident photon above 10 MeV nuclear reactions, mainly with the emission of neutrons, begin to occur.

Now let us focus on the electron-positron pair formation, which is the dominant process at high photon energy as mentioned above. In reason of the energy and momentum conservation laws the photon materialization in an electron-positron pair is not possible in free space and has an energy threshold of  $\sim 2m_0c^2$  or  $4m_0c^2$  if the collision occurs respectively in the field of the nucleus (or proton) or in the field of the electron (in this case referred to as *triplet formation*, because the tracks of the recoil electron and the electron-positron pair created can be visualized in a cloud chamber forming a trident) (EISBERG; RESNICK, 1979; HEITLER, 1984). Electron-positron pair production by photons plays an important role in various physical phenomena (HAUG, 2004; MASTICHIADIS, 1991; MASTICHIADIS; PROTHEROE; SZABO, 1994), and the experimental and theoretical studies of these processes began soon after the prevision of existence of the positron by Dirac as a consequence of the solutions of the relativistic wave equation for a free electron interacting with an electromagnetic field (DIRAC, 1928a, 1928b) and the further discovery of the positron by Anderson when he studied the cosmic rays using a cloud chamber in which symmetrical tracks curving in opposite directions could be observed, evidencing a creation of an electron-positron pair (ANDERSON, 1932, 1933).

Electron-positron pairs can also be created when a photon collides with an ultra-relativistic electron ( $E \gg m_0c^2$ )<sup>1</sup> and in this case the minimum photon energy can be much

<sup>1</sup> Sources of such ultra-high energy electrons can be found in astrophysical events and these electrons can also be produced in large

lower than  $m_0c^2$ . In what follows the kinematics of collision between a photon and an electron is reviewed and the interesting feature of the triplet pair production when ultra-relativistic electrons interact with soft photons will be briefly discussed.

## 2 | THE KINEMATICS OF INTERACTION

A schematic view of the collision between a photon and an electron is shown in Figure 1. Initially in the laboratory system of reference the incoming photon of energy  $k$  and momentum  $\mathbf{k}$  along the positive  $x$ -direction and the incoming primary electron of energy  $E$  and momentum  $\mathbf{P}_e$  collide at an angle  $\theta$ , and in final state in the center-of-momentum system (also known as center-of-mass system, a system in which the total momentum is zero) the photon disappears and the three electrons (one recoil electron plus the pair created, the so called triplet pair production) move with individual energy and momentum respectively given by  $E_1'^*$ ,  $E_2'^*$ ,  $E_3'^*$  and  $\mathbf{P}_1'^*$ ,  $\mathbf{P}_2'^*$ ,  $\mathbf{P}_3'^*$ .

The use of relativistic invariants (i.e., independent of a coordinate system in which they are calculated) to the initial and final state of a two-body collision process allow us to obtain information about the kinematics of the reaction without knowing further details of the interaction. The relation  $E^2 - P^2c^2$  is an invariant (CHEW; LOW, 1959), where  $E$  and  $P$  denote the total energy and momentum of the system of particles. Applying it to the initial state in the

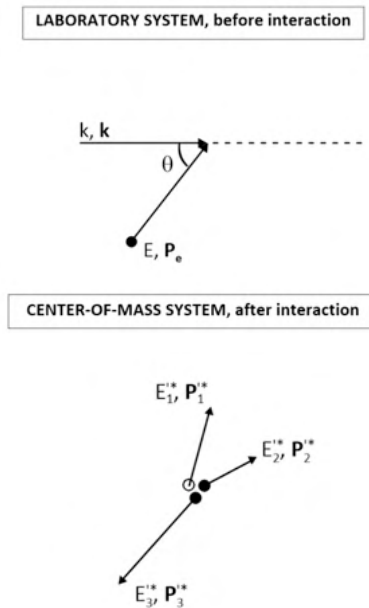


Figure 1. A simplified schematic view of the kinematics of collision between a photon and an electron.

laboratory system and to the final state in the center-of-mass system we can write

$$(k + E)^2 - (\mathbf{k} + \mathbf{P}_e)^2 c^2 = (E_1'^* + E_2'^* + E_3'^*)^2 - (\mathbf{P}_1'^* + \mathbf{P}_2'^* + \mathbf{P}_3'^*)^2 c^2 \quad (1)$$

or

$$(k + E)^2 - (\mathbf{k} + \mathbf{P}_e)^2 c^2 = (E_1'^* + E_2'^* + E_3'^*)^2 \quad (2)$$

since  $\mathbf{P}_1'^* + \mathbf{P}_2'^* + \mathbf{P}_3'^* = \mathbf{0}$  by definition. Considering the horizontal axis and reminding that  $|\mathbf{k}| = k/c$  the above equation can be rewritten as

$$2kE + E^2 - 2kP_e c \cos \theta - P_e^2 c^2 = (E_T'^*)^2, \quad (3)$$

where  $E_1'^* + E_2'^* + E_3'^* = E_T'^*$  is the total energy available in the center-of-mass system. Solving for  $k$  we obtain

$$k = \frac{E_T'^*{}^2 - E^2 + P_e^2 c^2}{2E - 2P_e c \cos \theta}, \quad (4)$$

or taking into account that  $\frac{P_e c}{E} = \frac{v}{c} = \beta_e$ , where  $v$  is the velocity of the primary electron,

$$k = \frac{E_T'^*{}^2 - E^2(1 - \beta_e^2)}{2E(1 - \beta_e \cos \theta)}. \quad (5)$$

The energy of the electron is  $E = m_0 c^2 / \sqrt{1 - \beta_e^2}$ , or in another way  $E^2(1 - \beta_e^2) = m_0^2 c^4$ , and we can write

$$k = \frac{E_T'^*{}^2 - m_0^2 c^4}{2E(1 - \beta_e \cos \theta)}. \quad (6)$$

Suppose now that the center-of-momentum system of reference moves horizontally with constant velocity  $\beta_c c$  relative to the laboratory reference frame and the factor  $\beta_c$  is defined by

$$\beta_c = Pc/E. \quad (7)$$

Again,  $P$  and  $E$  denote the total x-momentum and energy of the interacting particles. Thus, we can write



$$\beta_c = \frac{\left(\frac{k}{c} + P_e \cos \theta\right) c}{k + E} = \frac{k + E \beta_e \cos \theta}{k + E}. \quad (8)$$

### 3 | THE PHOTON ENERGY THRESHOLD

Now, let us see what is the minimum photon energy necessary to create an electron-positron pair in a collision with a moving electron. At this point let us do the hypothesis that the triplet pair is formed at rest in the center-of-momentum frame, which corresponds to the minimum total energy  $E_T^* = 3m_0c^2$  and from equation (6) we obtain

$$k = \frac{4m_0^2c^4}{E(1 - \beta_e \cos \theta)}. \quad (9)$$

Finally, for a given electron energy, it follows directly from the above expression that the minimum value of the photon energy occurs in a head-on collision, that is  $\theta = \pi$ ,

$$k_{th} = \frac{4m_0^2c^4}{E(1 + \beta_e)}. \quad (10)$$

And from (8) the corresponding factor  $\beta_c$  is

$$\beta_{cth} = \frac{k_{th} - E\beta_e}{k_{th} + E}. \quad (11)$$

The photon energy threshold (Eq. 10) can also be obtained in an alternative way, considering the initial and final state in the laboratory frame. The conservation of energy and momentum gives

$$k + E = E_1^* + E_2^* + E_3^* \quad (12)$$

$$\frac{k}{c} - P_e = -|P_1^* + P_2^* + P_3^*|, \quad (13)$$

where  $E_1^*, E_2^*, E_3^*$  and  $P_1^*, P_2^*, P_3^*$  are the final energy and momentum of each electron of the triplet pair. The assumption that the triplet pair is formed at rest in the center-of-momentum frame implies that in the laboratory frame the three particles move together to the left with constant velocity  $\beta_{cth}c$  and with equal energy and momentum ( $E_1^* = E_2^* = E_3^*$  and

$P_1^* = P_2^* = P_3^*$ ), so that

$$k + E = 3E_1^* \quad (14)$$

$$\frac{k}{c} - P_e = -3P_1^*. \quad (15)$$

Noting that  $E_1^{*2} = m_0^2 c^4 + P_1^{*2} c^2$  we have

$$k + E = 3\sqrt{m_0^2 c^4 + P_1^{*2} c^2} \quad (16)$$

or

$$k + E = 3\sqrt{m_0^2 c^4 + \frac{1}{9}\left(\frac{k}{c} - P_e\right)^2 c^2}. \quad (17)$$

Squaring this equation and solving for  $k$  again we obtain the photon energy threshold:

$$k_{th} = \frac{4m_0^2 c^4}{E(1 + \beta_e)}. \quad (18)$$

Equations (18) and (11) reduce to the *ordinary* case commonly cited in physics textbooks, when the electron is at rest in the initial state in the laboratory system, i.e.,  $\beta_e = 0$  and  $E = m_0 c^2$  which implies that  $k_{th} = 4m_0 c^2$  and  $\beta_{c_{th}} = 4/5$  (the center-of-momentum moves to the right with constant velocity  $\frac{4}{5}c$ ).

For an ultra-relativistic electron  $\beta_e \approx 1$  and for  $k_{th} < E$  it can be easily seen from the equation (11) that the center-of-mass frame moves to the left with respect to the laboratory frame. In Figure 2 is shown how the photon energy threshold given by equation (10) varies as a function of the primary ultra-relativistic electron ( $E \gg m_0 c^2$ ,  $\beta_e \approx 1$ ) in a head-on collision. As can be seen from the Figure 2, the photon energy threshold can be as low as  $\sim 5$  eV ( $\sim 10^{-5} m_0 c^2$ ) for an electron energy about  $\sim 100$  GeV ( $\sim 2 \times 10^5 m_0 c^2$ ).

At last, it should be pointed out that when a very soft photon collides with an ultra-relativistic electron not only the triplet pair production can take place but also the inverse Compton scattering, when the energy of the scattered photon can be as high as the energy of primary electron (DE PAIVA, 2014). These processes can play an important role on the electron energy-loss and the triplet pair production can be a source of electron-positron pairs in electromagnetic pair cascade in astrophysical environments (MASTICHIADIS, 1991; MASTICHIADIS; PROTHEROE; SZABO, 1994).

## 4 | FINAL REMARKS

When a photon traverses the matter, it can interact in several ways. In particular, the electron-positron pair production plays an important role on these processes mainly at high photon energy. An interesting feature of the pair formation occurs when an ultra-relativistic electron collides with a very low energy photon and in final state the photon disappears giving rise to one pair electron-positron and one recoil electron, the triplet pair production. The photon energy threshold for the pair formation in a collision with an ultra-relativistic

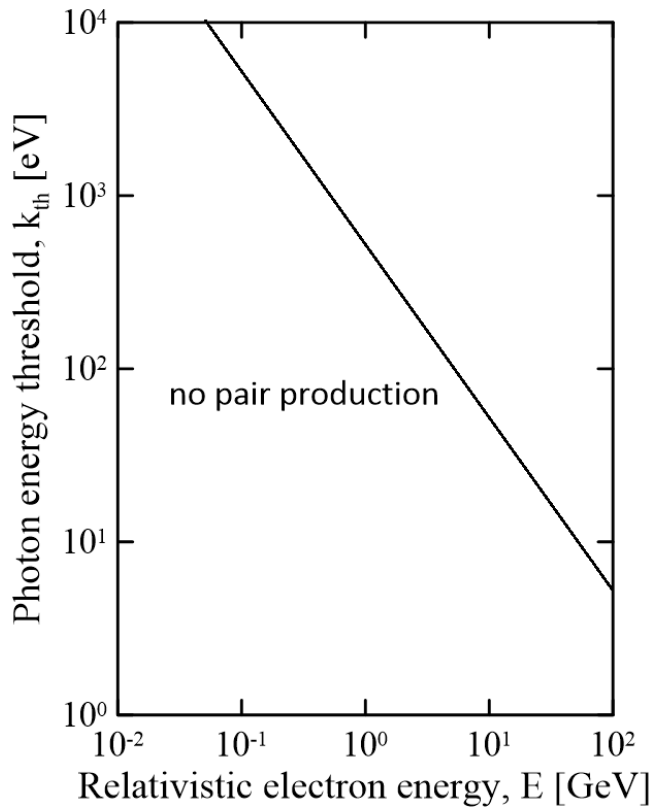


Figure 2. The photon energy threshold as a function of the energy of primary relativistic electron.

electron is briefly discussed and is shown that it can be as low as a few electrons-volt.

## 5 | REFERENCES

ANDERSON, C. D. **Energies of cosmic-ray particles**. Physical Review, v. 41, p. 405-421, 1932.

ANDERSON, C. D. **The positive electron**. Physical Review, v. 43, p.491-494, 1933.

CHEW, G. F.; LOW, F. E. **Unstable particles as targets in scattering experiments**. Physical Review, v. 113, p. 1640-1648, 1959.

DE PAIVA, E. **Sobre o espalhamento Compton inverso**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, p. 3303, 2014.

DIRAC, P. A. M. **The quantum theory of the electron**. Proceeding of the Royal Society. A, v. 117, p. 610-624, 1928a.

DIRAC, P. A. M. **The quantum theory of the electron. Part II**. Proceedings of the Royal Society. A, v. p. 118, 351-361, 1928b.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1979. Cap. 2, p. 69-74.

HAUG, E. **Pair production by photons in a hot Maxwellian plasma**. Astronomy and Astrophysics, v. 416, p. 437-440, 2004.

HEITLER, W. **The quantum theory of radiation**. New York, Dover Publications, 1984. Chap. 5, p. 256-268.

KHAN, F. M.; GIBBONS, J. P. **The Physics of Radiation Therapy**. Philadelphia, Williams & Wilkins, 2014. Chap.5, p. 62-70.

MASTICHIADIS, A. **Relativistic electrons in photon fields: effects of triplet pair production on inverse Compton gamma-ray spectra**. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 253, p. 235-244, 1991.

MASTICHIADIS, A; PROTHEROE, R. J.; SZABO, A. P. **The effect of triplet production on pair-Compton cascades in thermal radiation**. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 266, p. 910-916, 1994.

## BREVES COMENTÁRIOS ACERCA DA GEOQUÍMICA DAS TERRAS PRETAS DE ÍNDIO (TPI'S) NA AMAZÔNIA

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data de submissão: 08/11/2021*

### **Matheus Cavalcante Silva**

Instituto de Engenharia e Geociências –  
Universidade Federal do Oeste do Pará  
Santarém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9931584436765466>

### **Bianca Soares Costa**

Instituto de Engenharia e Geociências –  
Universidade Federal do Oeste do Pará  
Laranjal do Jari - Amapá  
<http://lattes.cnpq.br/4277352907780751>

### **Fernanda Ravana da Conceição Silva**

Instituto de Engenharia e Geociências –  
Universidade Federal do Oeste do Pará  
Santarém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/2653037503970608>

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma discussão sobre aspectos da geoquímica das Terras Pretas de Índio (TPI) no território Amazônico. O objetivo central desse estudo pauta-se na revisão bibliográfica dos fatores de formação e, essencialmente, da constituição geoquímica desses solos. Para a concretização dessa análise de cunho descritivo e de natureza qualitativa, foram utilizadas fontes secundárias para a construção da discussão das bibliografias sobre esta temática. Como resultado, obtiveram-se às seguintes constatações: A origem das Terras Pretas na Amazônia está relacionada à ocupação pré-histórica indígena; os aspectos físicos e morfológicos desses solos podem ser

verificados a partir de técnicas que subsidiam pesquisas Geoarqueológicas; os elevados teores de elementos que garantem a alta fertilidade desses solos devem-se aos depósitos de resíduos orgânicos indígenas, bem como áreas de forrageamento e cultivo. Por fim, aclara-se que a geoquímica possibilita a compreensão dos processos pedogenéticos das Terras Pretas de Índio (TPI) na Amazônia, o que fomenta reflexões e expede a continuação da verificação dos fatores envolvidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Terras Pretas, Geoquímica, Amazônia.

**ABSTRACT:** This work presents a discussion about the geochemical aspects of the Terras Pretas de Índio (TPI) in the Amazon territory. The main objective of this study is based on a bibliographical review of the formation factors and, essentially, of the geochemical constitution of these soils. To carry out this descriptive and qualitative analysis, secondary sources were used to build the discussion of bibliographies on this topic. As a result, the following findings were obtained: The origin of Terras Pretas in the Amazon is related to prehistoric indigenous occupation; The physical and morphological aspects of these soils can be verified using techniques that support Geoarchaeological research; The high levels of elements that guarantee high fertility in these soils are due to deposits of natural residues, as well as foraging and cultivation areas. Finally, it is clarified that geochemistry makes it possible to understand the pedogenetic processes of the Terras Pretas de Índio (TPI) in the Amazon, which encourages

reflection and speeds up a continuation of the verification of the factors involved.

**KEYWORDS:** Black Earths, Geochemistry, Amazon.

## 1 | INTRODUÇÃO

À princípio, deve-se conceber que a origem das terras mulatas está relacionada com a ocupação territorial e com o manejo dos solos, iniciado no Pleistoceno tardio ao Holoceno tardio (ROOSEVELT, 2002 *apud* MADARI *et al.*, 2009). Em segundo plano, enfatiza-se que muitas localidades foram manejadas como depósitos de resíduos que iniciaram a alteração na composição do solo (LEHMANN *et al.*, 2003).

Ao decorrer dos anos, originaram-se manchas de cor negra no solo, as quais foram denominadas por Terra Preta Antropológica (TPA), Terra Preta de Índio (TPI), ou mesmo Arqueo-Antrossolo, cujas características apontam para a presença notória de matéria orgânica, fragmentos de artefatos cerâmicos e material lítico (KERN & KÄMPF, 1989; KÄMPF *et al.*, 2003; KÄMPF & KERN, 2005).

De fato, ocorrem dessemelhantes concepções acerca da origem das Terras Pretas de Índio. Estudos mais recentes e mais aceitos atualmente pelo meio científico, amparados em pesquisas de Gourou (1950) a Kern & Kampf (1989), aclaram que os Arqueo-Antrossolos são antigos assentamentos indígenas, resultantes da ocupação pré-histórica na Amazônia.

As relações geoquímicas tornam-se indispensáveis para a classificação taxonômica das Terras Pretas (TPs). Os elementos Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mn e C orgânico (carvão), que, em relação aos solos convizinhos, tornam-se determinantes nessa etapa. De modo geral, ocorrem ainda a saturação de bases elevadas, diversidade microbiológica e dispõem-se de modo estruturado e sobrepostos a várias classes de solos, especialmente os Latossolos. Para tanto, os procedimentos geoarqueológicos possibilitam a interpretação dos processos originários dos solos abordados (MADARI *et al.*, 2009).

Os antrossolos despertam considerável interesse científico multidisciplinar, principalmente em decorrência das peculiaridades geoquímicas desses solos, responsáveis por assegurar a fertilidade. Portanto, esta revisão bibliográfica crítica faz-se necessária para a contribuição de estudos que visam o entendimento geoquímico dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento de solos férteis, a fim de assegurar a manutenção e a sustentabilidade dos solos antrópicos no bioma amazônico.

## 2 | METODOLOGIA

Para obter os resultados acerca da problematização apresentada no trabalho, será executada uma análise de propósito descritivo, cuja finalidade é descrita nos estudos de Gil (1999). A abordagem apresenta natureza qualitativa, de fonte secundária. O estudo foi realizado de acordo com as seguintes etapas:

Etapas 1 – Levantamento bibliográfico: nessa etapa foram efetuados levantamentos bibliográficos sobre: (1) Técnicas Analíticas em Sítios Arqueológicos; (2) Aspectos Físicos e Morfológicos das Terras Pretas; e (3) Pedogeoquímica das TPI. Para estruturar a pesquisa foi utilizado um Método de Apoio à Decisão (MAD), proposto por Treinta *et al.* (2012).

Etapas 2 – Análise dos dados e resultados: nesse procedimento foram efetuados os tratamentos de informações obtidas previamente e a sistematização do conteúdo. Para tanto, tais informações qualitativas foram dispostas textualmente.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Decerto, muitos procedimentos oriundos das Geociências podem ser aplicados em sítios arqueológicos, sendo subsídios para a subárea da Geoarqueologia. Nesse âmbito as informações geológicas tornam-se indispensáveis para o entendimento da formação das TPIs, para a verificação dos componentes inorgânicos do solo e para a determinação da área fonte de materiais geológicos usados na produção cerâmica. Nesse viés, mencionam-se as seguintes técnicas: microscópio óptico, difratometria de raio-x e a micro difratometria, análises térmicas, espectrometria de infravermelho, Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV), análises químicas e análises de fase e microfases (COSTA *et al.*, 2004).

As Terras Pretas de Índio (TPI), são encontradas em diversas classes do solo, mas o maior registro é sobre Latossolos (Oxisols) Argilossolos (Ultisols), que juntos recobrem aproximadamente 70% da Amazônia. Esses solos são profundos, bem drenados, cuja textura varia de média a muito argilosa e com baixa reserva de nutrientes essenciais às plantas (Silva *et al.*, 1970). Os horizontes A das TPIs, que correspondem à camada de ocupação humana apresentam coloração mais escura, podendo variar de preta, cinza muito escuro a bruno escuro (N2/; 2,5YR2/0; 5YR2,5/1; 7,5YR 2/0; 10YR 2/0 a 3/4), textura mais arenosa e melhor estruturada e presença de fragmentos de cerâmica e/ou artefatos líticos, em relação às áreas adjacentes.

Os solos antrópicos estão constantemente associados a elevados teores de Ca, Mg, P, Zn, Mn, Cu e C Orgânico em relação aos solos inalterados da Amazônia, além de pH menos ácido, sendo estes os parâmetros mais avaliados em estudos químicos. Além disso, a realização de análises multielementares destacam elementos que podem ser fundamentais para a reconstrução paleogeográfica e entendimento de possíveis padrões de ocupação, tais como  $P_2O_5$ , MgO, CaO, Ba, Cl,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ , As, Cd, Co, Cr, F, Ga, Pb e V (Costa *et al.*, 2010), além de Zn,  $K_2O$ , Cu, Mn, Sr, Li, Ni (Costa, 2011),  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $TiO_2$ .

(Costa *et al.*, 2015).

O teor de fósforo representa uma característica diagnóstica do Arqueo-Antrossolo na Amazônia, visto que 90% dos solos desse território apresentam deficiência nesse elemento, o que afeta o desenvolvimento da agricultura (RODRIGUES, 1996). A exemplo disso, pode-se citar o caso de uma TPI analisada no município de Itaituba-Pará (Noroeste Paraense), cujo teor de P atingiu cerca de  $7.455 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo no horizonte A (OLIVEIRA JR *et al.*, 2002).

Ressalta-se ainda a intensa representatividade dos teores de carbono orgânico, que demonstram a gênese advinda de depósitos estáveis de resíduos de origem orgânica. O C orgânico representa cerca de 30% de carbono preto, o possível responsável pelo armazenamento de nutrientes no solo (GLASER *et al.*, 2000).

Ainda em relação à constituição química desses solos, os elementos Mg, Cu e Zn destacam-se por apresentarem elevados teores em relação aos solos adjacentes cujo horizonte A não tenha sido modificado. Nessas mesmas imediações os horizontes B não dispõem diferenças significativas. Tal fato reforça a atuação do manejo desses solos para o aumento da fertilidade (COSTA *et al.*, 2004). De acordo com Kern (1999) os materiais utilizados na construção das habitações indígenas eram periodicamente renovados e, com isso, as coberturas vegetais tornaram-se fontes de Mg, Ca, Zn e K para o solo.

Locais com baixos teores de elementos que indicam as TPIs também foram apontados nesse estudo, podendo ser uma praça de circulação, acesso para a mata e para as principais fontes de água para abastecimento de grupos que ali habitavam, deixado limpo intencionalmente (KERN, 1996; MEIRELES, 2004; COSTA *et al.*, 2013).

Faz-se mister frisar que o manejo do solo provocou importantes alterações no solo, tanto no sentido vertical, quanto no âmbito horizontal (areal), além de ocasionar modificações na distribuição de determinados elementos em relação à profundidade do solo (COSTA *et al.*, 2004).

## 4 | CONCLUSÕES

Em síntese, o estudo das Terras Pretas Amazônicas está interligado à manutenção do solo exercida pelas populações paleoindígenas. Essa relação solo-homem, marcada por depósitos residuais, possibilitou o enriquecimento de cálcio, magnésio, zinco, manganês, fósforo e carbono no solo, contribuindo de forma direta para fertilização dessas terras. Essa alta fertilização e sustentabilidade do solo pelos caboclos fazem com que esses depósitos de terras pretas sejam estudados para a otimização da produção de alimentos no território amazônico.

Certamente, a geoquímica é fundamental para o levantamento dessas informações, pois visa o entendimento da pedogênese de antrossolos, da área-fonte dos materiais e da composição química. Dessa forma, esse entendimento é fundamental para a compreensão



da constituição, estruturação e sustentabilidade de solos férteis em uma região com solos majoritariamente empobrecidos em nutrientes.

## REFERÊNCIAS

Costa FS, Bayer C, Albuquerque JA, Fontoura SMV. 2004. **Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto**. Ciência Rural, 34, 1: 281-284 p.

Costa JA, Costa ML, Kern DC 2013. **Analysis of the spatial distribution of geochemical signatures for the identification of prehistoric settlement patterns in ADE and TMA sites in the lower Amazon Basin**. Journal of Archaeological Science, v. 40, n. 6, p. 2771-2782.

Costa, JA 2011. **Mineralogia e Geoquímica de Terra Preta Arqueológica para identificação de padrão ocupacional pré-histórico no vale do baixo rio Amazonas (Juruti-Pará)**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará, Belém.

Costa JÁ, Costa ML, Kern DC, Santo CME 2015. **Pedogênese de solos antrópicos: as Terras Pretas e Terra Mulata do Baixo Amazonas**. Revista Equador, v. 04, 440-447p., 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2060.1684>>. Acesso em 11 de maio de 2021.

Gil AC 1999. **Métodos e técnicas de pesquisa social**, 5, São Paulo, Atlas, 28 p.

Glaser B, Haumaier GG. 2000. **Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the brazilian amazon region**. Organic Geochemistry, 31, 669-678 p.

Glaser B, Haumaier GG. 2000. **Persistence of soil organic matter in archaeological soils (Terra Preta) of the Brazilian Amazon region**. In: REES, R; AL, E. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. Wallingford: CAB International, 190-194 p.

Gourou P. 1950. **Observações geográficas na Amazônia**. Revista Brasileira de Geologia, 5, 1 p. 2, 171 p.

Kämpf N, William I. Woods, Wim Sombroek, Dirse C. Kern, Tony J.F. Cunha. 2003. **Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils**. (Ed.). Origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 77-102 p.

Kämpf N, Kern DC 2005. **O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia**. In: Vidal-Torrado, P. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 277 p.

Kern DC, Kämpf N 1989. **O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-P**, 13, Revista Brasileira de Ciências do Solo, 219-25 p.

Kern, DC 1996. **Geoquímica e Pedoquímica de sítios arqueológicos com Terra Preta na floresta Caxiuaná**. Tese de Doutorado – UFPA. Belém – Pará, 124p.

Kern DC.1999. **A influência das palmeiras como fonte de elementos químicos em sítios arqueológicos com Terra Preta.** In: VI Simpósio da Geologia da Amazônia, Manaus, AM.

Lehmann J, JP da Silva,C Steiner, T Nehls, W Zech. 2003. **Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthroisol and a Ferralsol of the central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments,** 249, Plant and Soil, 343 p.

Madari BE, Cunha TJF, Novotny EH, Milori DMBP, Martin Neto L, Benites VM, Coelho MR, Santos GA 2009. **Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo.** In: As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas; Teixeira, W. G.; Kern, D. C.; Madari, B. E.; Lima, H. N.; Woods, W., eds.; Embrapa Amazônia Ocidental, 172-189p, 2009.

Meireles ARO 2004. Determinação de P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn em **Terra preta arqueológica no sítio Ilha de Terra em Caxiuanã.** (2004). Dissertação de Mestrado - Departamento de Química, Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

Oliveira JRCD, Corrêa JRV, Rodrigues TE. 2002. **Caracterização dos solos da Folha Itapacurá-Mirim, município de Trairão, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental.

Rodrigues TE 1996. Solos da Amazônia. In: Alvarez,V . H. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,** Cap.60,19 p.

Roosevelt AC. 2002.Arqueologia Amazônica. In: CUNHA, M. C. (Ed.). **História dos índios no Brasil.** São Paulo: Cia. das Letras, 2002, 53-86 p.

Silva BNRD, Araújo JV, Rodrigues TE, Falesi IC,Rêgo RS.1970. **Os solos da área Cacao-Pirêra - Manacapuru.** Belém: IPEAN, (Solos da Amazônia). 2:3

Treinta FT, Filho JRF, Sant'Anna AP, Rabelo LM 2012. **Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão.** Produção, 3: 3.

## APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO CONTEXTO AROMAS: UMA PROPOSTA DE MATERIAL PARADIDÁTICO PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 02/11/2021

**Fernando Vasconcelos de Oliveira**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria – RS  
<https://orcid.org/0000-0001-6367-8562>

**Vanessa Candito**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
(UFRGS)  
Santa Maria – RS  
<http://orcid.org/0000-0003-4663-9590>

**Mara Elisa Fortes Braibante**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria – RS  
<https://orcid.org/0000-0001-8060-0361>

**RESUMO:** A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é uma metodologia de ensino centrada no aluno, pois promove de forma ativa a autoaprendizagem, o trabalho em equipe, o pensamento crítico, por meio da resolução de problemas. O estudante de hoje, apesar de ter acesso facilitado aos meios de pesquisa e informação, não se sente estimulado a fazer uma investigação acerca dos conteúdos vistos em sala de aula. Assim, sugere-se que novas alternativas de ensino sejam adotadas pelos docentes, na tentativa de estimular o interesse pela disciplina. Nessa perspectiva, este estudo apresenta um guia paradidático, elaborado com o objetivo de contextualizar as aulas de Química Orgânica no Ensino Médio, por meio da temática

“Aromas”, utilizando a ABP como metodologia. A história usada como problema, neste material, foi aplicada com quatro turmas do 3<sup>a</sup> ano do Ensino Médio, em uma escola estadual, na cidade de São Sepé/RS. Os resultados demonstraram que é possível aprimorar os resultados e o interesse dos escolares, quando se utilizam metodologias investigativas e inovadoras. A temática Aromas e sua contextualização, desenvolvidas junto à ABP permitiram perceber que há caminhos alternativos ao Ensino Tradicional, promoveu a evolução do conhecimento químico dos estudantes, envolvimento e rendimento das turmas na atividade proposta, associada à temática Aromas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aprendizagem Baseada em Problemas; Aromas; Ensino de Química.

### PROBLEM-BASED LEARNING IN THE AROMAS CONTEXT: A PROPOSAL OF PARADIDATIC MATERIAL FOR TEACHING ORGANIC FUNCTIONS

**ABSTRACT:** Problem-Based Learning is a student-centered teaching methodology, as it actively promotes self-learning, teamwork, and critical thinking through problem solving. Today's student, despite having easy access to the means of research and information, does not feel encouraged to do an investigation about the contents seen in the classroom. Thus, it is suggested that new teaching strategies be adopted by teachers, in an attempt to stimulate interest in the discipline. In this perspective, this study presents an educational guide, elaborated with the objective of contextualizing the classes

of Organic Chemistry in High School, through the theme “Aromas”, using Problem Based Learning (PBL) as methodology. The story used as problems in this material was applied to four classes from the 3rd year of high school, in a state school, in the city of São Sepé/RS. The results showed that it is possible to improve the results and the interest of the students, when using innovative methodologies to traditional teaching. The Aromas theme and its contextualization developed with the PBL allowed us to realize that there are alternative paths to Traditional Education, promoted the evolution of the students’ chemical knowledge, involvement and performance of the classes in the proposed activity, associated with the aromas theme.

**KEYWORDS:** Problem-Based Learning; Aromas; Chemistry teaching.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo Braibante M. E. F. e Braibante H. T. S. (2019), temáticas para o Ensino de Química são temas que fazem parte do cotidiano dos estudantes e relacionam conteúdos científicos dessa ciência como mundo que o cerca visando uma interdisciplinaridade da Química com outras disciplinas do currículo escolar. Não se trata apenas em inserir exemplos durante uma aula expositiva. É preciso vincular os eventos do cotidiano ao conhecimento científico, encaminhando o aluno à reflexão e, dessa forma, criando um ambiente para o diálogo e discussão. Aproveitando-se da curiosidade humana, o “descobrir como as coisas funcionam”, é possível desencadear uma série de questionamentos junto aos estudantes e promover uma gama de esclarecimentos referentes à disciplina e à ciência de modo geral. Quem nunca se questionou sobre o crescimento da massa de um pão ou sobre por que o céu é azul? Essa inquietante vontade de querer conhecer mais sobre determinado assunto, torna-se ainda mais desafiadora quando buscamos na Química as respostas e explicações sobre nossos próprios sistemas sensoriais.

Segundo Retondo (2010), olfato e paladar são dois sentidos que se combinam para a captação daquilo que concebemos como aroma. De acordo com o autor durante a degustação, percebe-se que o “gosto” de um chocolate é muito diferente de um sorvete. Entretanto, esses dois alimentos possuem a mesma característica básica: o sabor doce identificado pelo paladar através das papilas gustativas situadas na língua. Portanto, o que os torna diferentes não é o sabor, e sim o aroma detectado durante a mastigação.

Para Oliveira (2014), o estudo dos sentidos não se restringe apenas a sentir, mas se expande às percepções que são individuais ao ser humano. Os sentidos estão atrelados a várias situações: a sensação de sabor, por exemplo, está relacionada com a cultura de um povo. Quando materiais entram em contato com as papilas gustativas, localizadas na língua, o primeiro sentido ativado é o paladar. Além disso, esse sentido está extremamente associado ao olfato. Tanto o olfato quanto o paladar podem ser classificados como sentidos químicos, porque ocorre uma interação direta entre as substâncias químicas e os receptores presentes no nariz e na língua, órgãos do corpo humano responsáveis por esses sentidos. Essa integração das sensações é realizada no encéfalo, que é parte do sistema nervoso

central. O tipo de célula presente em todo o sistema nervoso é o neurônio, que transmite a informação através de uma corrente elétrica que se propaga ao longo da membrana plasmática, fenômeno conhecido como sinapse.

Apesar de os seres humanos distinguirem uma enorme variedade de aromas, conseguem detectar apenas cinco sabores, que ficam restritos à percepção do paladar. A saliva, além de fazer parte do processo digestivo, tem um papel importante na percepção desses sabores, pois solubiliza o alimento, facilitando o contato de suas moléculas com os receptores gustativos da língua (NISHIDA, 2011).

## **2 | A RELAÇÃO DA TEMÁTICA “AROMAS” COM OS CONTEÚDOS DE QUÍMICA POR MEIO DA ABP**

A ABP surge como uma estratégia inovadora, em que os estudantes trabalham com o objetivo de solucionar um problema real ou simulado a partir de um contexto. Trata-se de um método de aprendizagem centrado no estudante, que deixa o papel de receptor passivo do conhecimento e assume o lugar de protagonista de seu próprio aprendizado por meio da pesquisa.

Na definição dada por Delisle (2000, p. 5), a ABP é “uma técnica de ensino que educa apresentando aos estudantes uma situação que leva a um problema que tem de ser resolvido”. Lambros (2004), em uma definição muito semelhante à de Barrows (1986), afirma que a ABP é um método de ensino que se baseia na utilização de problemas como ponto inicial para adquirir novos conhecimentos. Ribeiro (2010) afirma que:

ABP é uma metodologia de ensino-aprendizagem colaborativa, construtivista e contextualizada, na qual situações-problema são utilizadas para iniciar, direcionar e motivar a aprendizagem de conceitos, teorias e o desenvolvimento de habilidades e atitudes no contexto de sala de aula, isto é, sem a necessidade de conceber disciplinas especificamente para este fim. (RIBEIRO, 2010, p. 10).

Os aurores Araújo e Sastre (2009) relatam que adotando os princípios comuns à maioria das propostas de ABP, pode-se trabalhar em grupos ou equipes, identificando problemas na realidade científica e cotidiana; debatendo um problema particular; empregando seus próprios conhecimentos e experiências, com o auxílio de professores e outros meios, na busca de respostas para o problema abordado; levantando uma série de hipóteses que podem esclarecer e definir o problema; procurando investigar as hipóteses apontadas e apontar possíveis respostas e/ou soluções; preparando um relatório acadêmico contendo reflexões teóricas e análises sobre o problema estudado e socializando os resultados do projeto desenvolvido com o coletivo da classe.

A ABP, com o enfoque que hoje a conhecemos, foi implantada como estratégia de ensino no final da década de 1960, na Universidade de McMaster, Canadá, e, pouco depois, na Universidade de Maastricht, Holanda (QUEIROZ; SÁ; FRANCISCO, 2007). Segundo

Queiroz (2012), a disseminação da ABP ocorre progressivamente em diversas áreas. Desde então, várias universidades têm adotado essa metodologia de ensino, inicialmente nos cursos da área da saúde, sendo que cursos de outras áreas como engenharia, economia, psicologia, arquitetura, física, química e biologia, entre outros, também a estão utilizando. Na educação básica, a ABP vem sendo implantada em diversos países. Carvalho e Dourado (2013) afirmam que a metodologia chegou ao ensino básico e secundário em países da Europa e da América no início do milênio e citam diversos autores que relatam a sua implantação.

Para Yuen Lie Lim (2011), o fato de os estudantes serem colocados diante de situações-problema ajuda-os a se tornarem reflexivos e a desenvolverem o pensamento crítico. Considera-se que essa estratégia metodológica pode ajudar na promoção do conhecimento químico, proporcionando o desafio, a curiosidade, a criação, ou seja, a reflexão dos estudantes por meio de problemas abertos ou fechados.

Adotar uma metodologia que destaca a aprendizagem e o papel ativo dos estudantes no processo implica o reconhecimento de que aprender vai além da mera reprodução passiva de conteúdos transmitidos pelos professores. Implica também a admissão de que informações estão disponíveis em diferentes fontes e não apenas nas aulas expositivas ou nos livros didáticos. Com isso, a visão do professor como mero transmissor de informações deve ser superada. A responsabilidade pela aprendizagem dos conteúdos passa a ser compartilhada entre docentes e discentes. O professor age como mediador da situação-problema, fomentando o trabalho em equipe e suscitando a aprendizagem e o trabalho interdisciplinar, organizado a partir de problemas reais do cotidiano dos estudantes: “[...] o professor tem funções mais amplas e complexas do que nos métodos convencionais de ensino” (BARBOSA; MOURA, 2013, p. 60). Cabe aos docentes orientar a aprendizagem e estimular os estudantes a encontrarem as próprias respostas.

Conforme Finco-Maidame e Mesquita (2017) expõem, a aprendizagem parte do estudante e ele é o principal interessado em seu processo de ensino. O conhecimento acontece na ação mútua entre estudante e professor e nas participações que acontecem entre grupos. Assim, é destacado o caráter da ABP que associada ao Ensino por Temáticas, agrega valores potenciais no envolvimento dos estudantes na busca por soluções aos problemas e criam autonomia na busca de novos conhecimentos.

Nesta perspectiva, esse estudo e guia paradidático foram desenvolvidos junto a uma pesquisa de mestrado de Oliveira (2014), e também se encontra mais detalhado em Oliveira; Candito; Braibante (2021). Nesse seguimento, este estudo apresenta um guia paradidático, elaborado com o objetivo de contextualizar as aulas de Química Orgânica no Ensino Médio, por meio da temática “Aromas”, utilizando a ABP como metodologia.

### 3 | METODOLOGIA

Esta pesquisa possui uma abordagem qualitativa, valorizando a observação, pois ela é um fator muito relevante e a subjetividade dos sujeitos torna-se fundamental na avaliação desse processo. Os dados obtidos foram analisados, seguindo as orientações da “Análise Textual Discursiva” (MORAES; GALIAZZI, 2007), pois a ATD pode ser compreendida como um processo auto-organizado de construção de compreensão em que novos entendimentos emergem de uma sequência recursiva de três componentes: desconstrução do corpus, a unitarização e a categorização (MORAES, 2003).

A pesquisa foi realizada com quatro turmas de 3º ano do Ensino Médio, totalizando 117 estudantes, de uma escola pública estadual, da cidade de São Sepé/RS. Dentro do contexto de associação de conteúdos de Química, com situações cotidianas da vida dos estudantes, elaborou-se um roteiro adaptado à temática para desenvolver a metodologia da ABP.

O conteúdo de funções orgânicas para as turmas T1 e T2, composto de 30 estudantes cada turma, foi aplicado por meio do Ensino Tradicional (ET), e para as turmas T3 e T4, compostas de 28 e 29 estudantes, foi utilizando a ABP, a partir da temática, por meio de uma história criada pelos autores, para as turmas T3 e T4. Entre os instrumentos de avaliação, foram elaborados e distribuídos questionários, exercícios e feitas anotações pelo professor acerca das concepções iniciais dos estudantes sobre a temática, buscando identificar as noções prévias dos sujeitos sobre estruturas orgânicas, aplicações no cotidiano e as propriedades físico-químicas de substâncias relacionadas.

Para as turmas T1 e T2, os conteúdos de Química orgânica foram desenvolvidos de forma tradicional: esquemas no quadro branco, exercícios propostos e leituras de textos do livro didático. Já para as turmas T3 e T4, foi aplicada a proposta de trabalho com a ABP, na qual se incluiu a atividade de pesquisa norteadas pelo problema “O caso da troca de essências”, parte integrante de uma pesquisa de mestrado intitulada “Aromas: contextualizando o ensino de Química através do olfato e paladar” de Oliveira (2014).

Ao final das atividades, o texto dessa atividade recebeu ilustrações e ganhou uma versão física, intitulado “O Guia das Funções Orgânicas – Uma estória cheia de Função”. Esse material foi disponibilizado na biblioteca da escola, permitindo futuros trabalhos a outros alunos e também professores.

### 4 | GUIA “O CASO DA TROCA DE ESSÊNCIAS”: UMA HISTÓRIA CHEIA DE “FUNÇÃO”

A leitura é fonte de prazer e permite a aquisição de novos conhecimentos. Assim, a utilização de textos paradidáticos em sala de aula pode constituir um recurso pedagógico capaz de viabilizar, ao aluno, a compreensão relativa aos conceitos científicos, promovendo o interesse e a motivação em aprender, permitindo a articulação entre os conteúdos

científicos e os aspectos sociais, ambientais e tecnológicos, contribuindo também para a formação da cidadania (ASSIS; TEIXEIRA, 2009).

O Guia paradidático “O caso da troca de essências” foi elaborado com a finalidade de estimular os estudantes a resolver situações que necessitem de conhecimentos químicos adquiridos em sala de aula, pesquisas e colaboração de seus colegas.

O contexto simulado do problema versa sobre um jovem estagiário de uma indústria de alimentos da cidade que busca ajuda para ser efetivado no seu emprego. O texto construído ganhou ilustrações e foi transformado em um material paradidático sobre funções orgânicas, que foi posteriormente disponibilizado na biblioteca da escola pública onde foi trabalhado, com o título de “O caso da troca de essências: uma história cheia de função”.

A história do guia tem, como cenário, uma indústria de alimentos e a temática “Aromas” e agrega-se à metodologia da ABP para percorrer inúmeras situações que necessitam do estudo das funções orgânicas e suas propriedades físico-químicas para solucionar as etapas propostas.

O guia das funções orgânicas foi elaborado com os problemas da história aplicada aos estudantes, em uma versão ilustrada e encadernada que envolve conceitos de estruturas orgânicas, aplicações no cotidiano e propriedades físico-químicas. Na Figura 1, apresenta-se a capa do Guia.

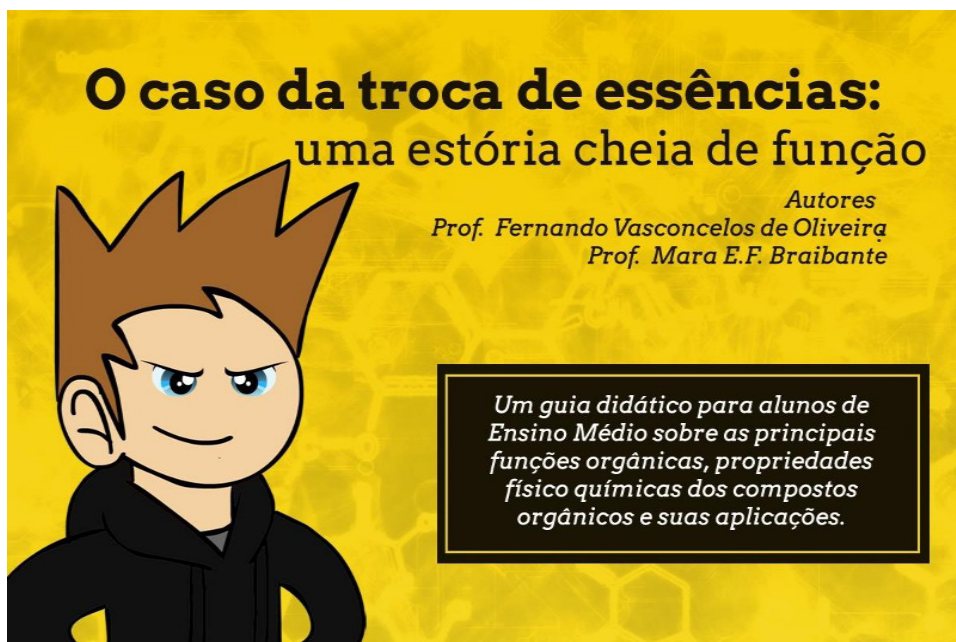


Figura 1 – Capa do Guia das Funções Orgânicas.

Fonte: Autores (2020).



A Figura 2 apresenta a página inicial do guia das funções orgânicas, cujo texto é contextualizado, problematizando os sentidos por meio da temática “Aromas”.

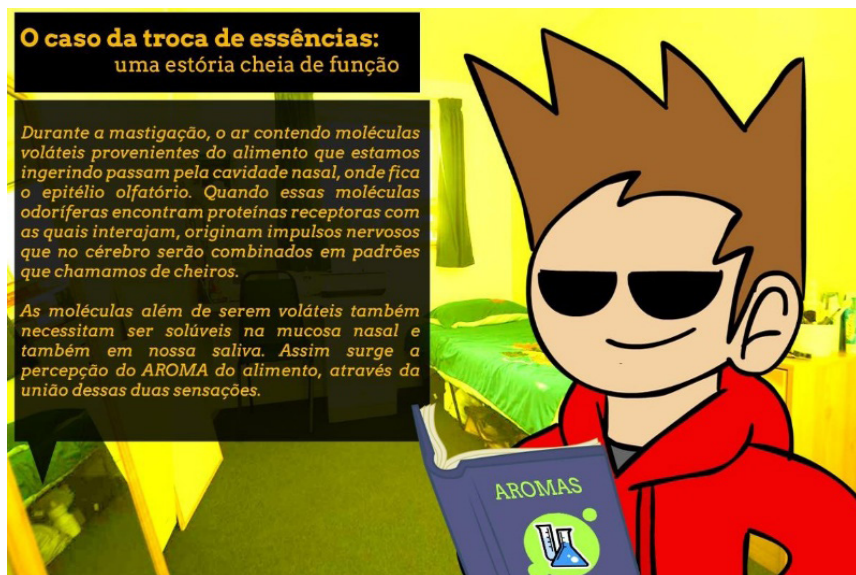


Figura 2 – Apresentação da temática e sua relação com a Química

Fonte: Autores (2020).

Para que uma determinada situação seja considerada um problema, deverá implicar um processo de reflexão, de tomada de decisões quanto ao caminho a ser utilizado para sua resolução, não permitindo que a resolução seja imediata. Assim o guia percorre o estudo das funções orgânicas, as propriedades e aplicações dos compostos orgânicos por meio da história de Nando, um jovem estagiário em uma indústria de doces de São Sepé. O jovem acadêmico de Química ganha a oportunidade de efetivar-se na vaga se conseguir sintetizar essências de frutas para serem empregadas na produção de balas de goma da empresa. Assim, os estudantes de Ensino Médio devem ajudar Nando a resolver uma série de problemas, estudando aspectos dos conteúdos, escrevendo equações e produzindo relatórios. O desfecho do problema acontece com um erro de produção, no qual uma remessa é devolvida à indústria por uma troca de essências.

Novamente o estudo é dirigido à construção de reações orgânicas de esterificação e elaboração de um relatório final.

A análise e discussão dos resultados, neste estudo, apoiaram-se nos dados obtidos na compreensão dos estudantes e basearam-se em habilidades relacionadas ao princípio das atividades em grupos da ABP.

Os resultados foram obtidos por meio do desenvolvimento das diferentes metodologias e questionários, na forma de exercícios, sobre funções orgânicas pré e pós

atividades, originou-se a categoria “Evolução do conhecimento químico”, que buscou avaliar o reconhecimento dos estudantes sobre as diferentes estruturas químicas e a classificação das funções orgânicas.

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A identificação e caracterização de compostos orgânicos relacionados ao tema Aromas, antes e depois das atividades, demonstraram uma melhor identificação por parte dos estudantes. Entretanto as turmas T3 e T4 apresentaram um melhor desempenho, conforme podemos observar nos Quadros 2 e 3. Os dados percentuais representam as respostas dadas aos problemas antes e depois das atividades.

Exercícios baseados na identificação de funções orgânicas com estruturas simples, apenas para diferenciar um álcool de um fenol ou enol, por exemplo, demonstraram que, ao longo das atividades, houve uma melhora em ambas as turmas. Entretanto, destacou-se o aprimoramento dessas caracterizações pelos estudantes das turmas 3 e 4, conforme o Quadro 1, se comparadas às avaliações feitas antes e depois das atividades metodológicas.

| <b>Turmas envolvidas</b> | <b>Metodologia</b> | <b>Melhora no reconhecimento das estruturas químicas</b> |
|--------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------|
| T1 e T                   | ET                 | 33,33%                                                   |
| T3 E T4                  | ET+ABP             | 52,5%                                                    |

Quadro 1 – Conhecimento Químico – Estruturas Orgânicas.

Fonte: Autores (2020).

Quando se ampliou o questionamento para exercícios que traziam estruturas orgânicas mais complexas, ou seja, formadas por mais de uma função orgânica, notou-se significativa melhora na identificação dessas substâncias, comparando-se novamente as respostas obtidas (Quadro 2). Ficou evidente que, por meio das metodologias empregadas no processo, os estudantes foram capazes de se apropriar do entendimento acerca dos grupos funcionais e assim obtiveram uma clareza maior na hora de indicar os grupos presentes em cada fórmula estrutural apresentada nos exercícios.

| <b>Turmas envolvidas</b> | <b>Metodologia</b> | <b>Melhora no reconhecimento das funções orgânicas</b> |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|
| T1 e T2                  | ET                 | 36,66%                                                 |
| T3 e T4                  | ET + ABP           | 48,33%                                                 |

Quadro 2 – Conhecimento Químico – Reconhecimento de diversas funções em uma mesma estrutura.

Fonte: Autores (2020).

Enquanto o método tradicional expõe primeiro o conteúdo ao aluno e, posteriormente, busca a sua aplicação na resolução de um problema, o método da ABP defende que, através de um problema, identifiquem-se as dificuldades na aprendizagem, e orienta a busca da informação para a resolução de um problema, o que poderá ser replicado em situações futuras semelhantes.

Evidenciou-se que o desempenho dos alunos das turmas T3 e T4 foi superior, comparando-se com o desempenho das turmas T1 e T2. Diante desses dados e baseados na observação das atividades propostas, atribui-se a melhor compreensão das estruturas orgânicas pelas turmas T3 e T4, pelo seu maior envolvimento com a temática, por meio da resolução de problemas no enigma proposto.

Segundo Picolli (2016), os problemas, assim como os casos, interligam os conteúdos de Química com assuntos do cotidiano e sua resolução também ocorre da mesma forma. Conforme relato dos estudantes: “Eu esperava aprender mais sobre Química orgânica, e sim aprendi! E, além disso, vi que a Química tem aplicações diretas ao nosso cotidiano e não é só decoreba para o vestibular”, ressalta o Estudante 1. O Estudante 12 ressalta “Tenho aversão à Química e Física, mas acho que esse tipo de atividade favorece a compreensão de fatos que estão em nossa volta, o que torna a disciplina menos maçante”.

A partir da observação da maneira como o ensino de Química se desenvolve nas escolas do Ensino Básico brasileiro, nota-se que existe uma falta de interesse de muitos estudantes pelos conteúdos explorados nessa disciplina, além disso eles adquirem uma imagem completamente distorcida sobre a mesma, chegando ao ponto de considerá-la não fazer parte de seu cotidiano (MOREIRA, 2016). Assim, evidencia-se que o uso da ABP, como metodologia ativa de ensino problematizador, que permite o exercício centrado no aluno e no processo formativo, pela busca do conhecimento.

Nesse sentido, contextualizar no Ensino de Química, utilizando um tema que tenha vínculo com o cotidiano, buscando favorecer uma melhor participação em sala de aula e dessa forma melhorar o aprendizado. Nesse contexto, Backes e Prochnow (2017), relatam que o Ensino de Química, quando bem aplicado, é fundamental para desenvolver capacidades intelectuais aos estudantes, assim, podendo promover a estruturação do pensamento e raciocínio, favorecendo, até mesmo, aspectos sociais e a criticidade do indivíduo.

A participação ativa do estudante é determinante na resolução de situações-problema, pois essa situação deverá apresentar um problema diferente do qual esteja acostumado a trabalhar, fazendo com que utilize e busque diversas estratégias para a sua resolução. A resolução de problemas, aliada à temática Aromas, utilizada nesta pesquisa, apresentou-se como um potencial motivador para o estudante, pois envolveram situações novas, diferentes atitudes e conhecimentos. Trouxe abordagens diversificadas ao utilizar metodologias cercadas de fundamentos que estimularam a reflexão e o questionamento dos estudantes, criando um ambiente voltado ao aprendizado. Leite e Esteves (2005) definem

a ABP como um caminho que conduz o aluno para a aprendizagem. Nesse caminho, o aluno busca resolver problemas inerentes à sua área de conhecimento, com o foco na aprendizagem, tendo em vista desempenhar um papel ativo no processo de investigação, na análise e síntese do conhecimento investigado.

Outro fator interessante a ser destacado é o envolvimento do grupo de estudantes com a resolução do problema proposto. Todos tentaram dar uma solução ao caso por meio de diferentes estratégias de resolução, embora muitos não tenham solucionado todos os entraves. Foi possível perceber a conscientização do grupo na correlação entre a Química e sua prática cotidiana, na fala dos estudantes. O Estudante 20 descreve que “Depois de termos feito uma revisão grande a respeito das funções orgânicas, encontrei sentido nesse caso e acho que pude ajudar o estagiário a desvendar o mistério, mas não foi fácil! Para conseguir realizar tudo eu tive que ir ligando os “pontos”. Para o Estudante 38 “É fundamental realizarmos esse tipo de atividade, pois a Química se torna mais clara quando podemos observar na prática aquilo que discutimos em sala de aula”. Quando se ensina através da metodologia da resolução de problemas, estamos auxiliando os estudantes a desenvolverem sua capacidade de aprender a aprender, estimulando que encontrem respostas por si próprios às questões que os desafiam, sejam elas voltadas aos conteúdos escolares ou à prática da vida cotidiana.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da ABP, através do Guia das Funções Orgânicas, acrescenta qualidade e significados nesse processo, tornando a aprendizagem mais desafiadora e desenvolve o pensamento, perfil pesquisador e resolutivo dos estudantes. Essa metodologia permite ao escolar: aprender, analisar, discutir, selecionar e saber usar os recursos adequados para solucionar problemas. Isso torna a ABP mais benéfica entre as metodologias de ensino convencionais, ou seja, além da construção de conhecimentos por parte dos estudantes, ela ainda impulsiona o desenvolvimento de habilidades e atitudes que lhes serão úteis em suas futuras vidas estudantis e carreiras (RIBEIRO, 2010).

Com este trabalho, foi possível perceber a evolução do conhecimento químico dos estudantes, o envolvimento e rendimento das turmas na atividade proposta, associada à temática Aromas quando comparadas as turmas controle. Portanto, a utilização da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), por meio da contextualização com os aromas, mostrou-se eficaz e o material produzido, “Guia das Funções Orgânicas”, futuramente poderá auxiliar outros professores em suas aulas de Química. A proposta poderá ainda auxiliar outros estudantes, pois o material paradidático foi disponibilizado na biblioteca da escola e permitirá a aplicação dessa metodologia a outras turmas.

Reconhecer a realidade do contexto escolar e estimular a prática, pesquisa e autonomia dos sujeitos só é possível quando o Ensino de Química é planejado de acordo

com as necessidades dos estudantes. A proposta do aprender pelo desafio na busca pela solução de problemas, cercada de uma riqueza de detalhes de um contexto, como o dos aromas, promove no processo de ensino-aprendizagem a construção do conhecimento de forma mais efetiva e menos traumática. Portanto, a estratégia do uso da ABP associada à temática rendeu bons resultados entre os estudantes, abrindo caminho exploratório desses recursos para outros conteúdos e disciplinas, pois há uma vasta possibilidade de trabalho quando a criatividade ganha vida na forma de um problema cotidiano, rodeado de conceitos a serem compreendidos.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, U. F.; SASTRE, G. (orgs.). **Aprendizagem Baseada em Problemas no ensino superior**. 1. ed. São Paulo: Summus, 2009.
- ASSIS, A.; TEIXEIRA, O. P. B. Argumentações discentes e docente envolvendo aspectos ambientais em sala de aula: uma análise. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n.1, p. 47-60, 2009.
- BACKES, N. F.; PROCHNOW, T. R. O Ensino de Química Orgânica por meio de temas geradores de discussões: o uso da metodologia ativa World Café. *In*: ENCONTRO DE DEBATES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA, 37., 2017, Rio Grande. **Anais [...]**. Rio Grande: FURG, 2017.
- BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem na Educação Profissional e Tecnológica. **Revista da Educação Profissional**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 2, p. 48-67, maio/ago. 2013.
- BARROWS, H. S. A Taxonomy of Problem-Based Learning methods. **Medical Education**, n. 20, p. 481-486, 1986.
- BRAIBANTE, M. E. F.; BRAIBANTE, H. T. S. **Temáticas para o Ensino de Química**: contribuições com atividades experimentais. Curitiba: CRV, 2019.
- CARVALHO, J. C.; DOURADO, L. G. **Proposta de uma tipologia de cenários usados na Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas**. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL GALEGO PORTUGUÊS DE PSICOPEDAGOGIA, 2013, Braga. **Anais [...]**. Braga: Universidade do Minho, 2013.
- DELISLE, R. **Como realizar a Aprendizagem Baseada em Problemas**. Porto: ASA, 2000.
- FINCO-MAIDAME, G.; MESQUITA, M. J. M. **Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino Fundamental II: reflexões sob uma perspectiva geocientífica**. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABRAPEC, 2017.
- LAMBROS, A. **Problem-Based Learning in Middle and High School Classrooms**: a Teacher's Guide to Implementation. United States of America: Corwin Press, 2004.
- LEITE, L.; ESTEVES, E. **Ensino orientado para a Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas na Licenciatura em Ensino da Física e Química**. *In*: CONGRESSO GALAICO-PORTUGUÊS DE PSICOPEDAGOGIA, 8., Braga. **Anais [...]**. Braga: CIED - Universidade do Minho, 2005. p. 1751-1768.
- MORAES, R. Uma Tempestade de Luz: a Compreensão Possibilitada pela Análise Textual Discursiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, out. 2003.
- MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise Textual Discursiva**. 1. ed. Ijuí: Unijuí, 2007.

MOREIRA, W. M. **O Conteúdo de Polímeros no Livro Didático do Ensino Médio, e seu Ensino, na perspectiva de uma Abordagem Contextualizada**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

NISHIDA, S.M. **Sentidos químicos: olfação e gustação**. 2011. Disponível em: [www.fag.edu.br/professores/jessica/Medicina/Apostila%20olfa%E7%E3o%20gusta%E7%E3o%20e%20paladar.pdf](http://www.fag.edu.br/professores/jessica/Medicina/Apostila%20olfa%E7%E3o%20gusta%E7%E3o%20e%20paladar.pdf). Acesso em: 16 maio 2019.

OLIVEIRA, F. V. **Aromas: contextualizando o ensino de Química através do olfato e paladar**. 2014. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

OLIVEIRA, FERNANDO.V; CANDITO, VANESSA; BRAIBANTE, MARA E.F. **Aprendizagem baseada em problemas no contexto aromas: uma proposta de material paradidático para o ensino de funções orgânicas**. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 43, e61, p. 1–22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X64635>

PICOLLI, F. **Aprendizagem Baseada em Problemas: uma estratégia para o ensino de Química no Ensino Médio**. 2016. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) - Universidade Federal de Porto Alegre, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/153224>. Acesso em: 02 maio 2020.

QUEIROZ, S. L.; SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A. Estudos de Caso em Química. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 731-739, 2007.

QUEIROZ, A. PBL, Problemas que trazem soluções. **Revista Psicologia, Diversidade e Saúde**, v. 1, n.1, p.1-13, 2012. Disponível em: <https://www5.bahiana.edu.br/index.php/psicologia/article/view/36>. Acesso em: 23 abr. 2020.

RETONDO, C. G.; FARIA, P. **Química das Sensações**. 3. ed. Campinas: Moderna, 2010.

RIBEIRO, L. R. C. **Aprendizagem Baseada em Problemas PBL: Uma experiência no ensino superior**. São Carlos: UFSCar, 2010.

YUEN LIE LIM, L. A comparison of student's reflective thinking across different years in a problembased learning environment. **Instructional Science**, n. 39, p. 171-188, mar. 2011.

## CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA EM ESCOLA DO CAMPO SITUADA NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAURU-MT, ATRAVÉS DE PROJETO SUSTENTÁVEL - CISTERNA

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data da submissão: 06/09/2021*

**Luiz Cláudio Almeida Martins**

UNEMAT-Universidade Estadual do Mato  
Grosso, Brasil  
Cuiabá – Mato Grosso  
<https://orcid.org/0000-0003-2967-2129>

**Rosiane Alexsandra dos Santos Costa**

UNEMAT-Universidade Estadual do Mato  
Grosso, Brasil  
Cuiabá- Mato Grosso  
<https://orcid.org/0000-0002-7203-3907>

**Solange Aparecida Arrolho da Silva**

UNEMAT-Universidade Estadual do Mato  
Grosso, Brasil  
Alta Floresta- Mato Grosso  
<https://orcid.org/0000-0002-8038-1303>

**RESUMO:** Este trabalho apresenta a importância da implantação de um reservatório cisterna para captação da água da chuva na escola do campo sendo utilizada como opção viável para minimizar o problema relacionado à escassez de água. A escola situa-se na região da bacia hidrográfica do Rio Jauru no Pantanal mato-grossense, as áreas degradadas com perdas de capacidade das nascentes, somados aos aspectos geológicos e geomorfológicos da região tem causado a escassez de água mesmo inserida na maior área úmida do planeta. O sistema apresentado é projeto desenvolvido na região de fronteira Brasil/Bolívia sendo uma alternativa para a captação da

água da chuva. A cisterna foi implantada em uma escola do campo no Município de Cáceres-MT através de Projeto de construção de barraginhas e cisternas envolvendo os assentamentos, poder público e pesquisadores. A metodologia utilizada para desenvolver esse trabalho através de revisão de literatura e aplicação de questionário semiestruturada online aos profissionais da educação sobre a percepção do uso da água captada da chuva e a importância da construção da cisterna na escola. Caracterizou-se como objetivo deste trabalho a importância da implantação da cisterna para captação a água da chuva na Escola Estadual 12 de Outubro na região hidrográfica do rio Jauru-MT. Propôs-se diante da problemática de escassez de água na escola a importância da captação da água da chuva tendo em vista que a região sofre com a falta de água principalmente no período de estiagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento, Sustentabilidade, Usoconsciente.

RAINWATER CAPTURE AND STORAGE  
AT A CAMPO SCHOOL SITUATED IN  
THE REGION OF THE RIVER JAURU-MT  
HYDROGRAPHIC BASIN, THROUGH A  
SUSTAINABLE PROJECT - CISTERNA

**ABSTRACT:** This work presents the importance of implementing a cistern reservoir for rainwater catchment at the Campo School, being used as a viable option to minimize the problem related to water scarcity. The school is located in the region of the Jauru River hydrographic basin in the Pantanal of Mato Grosso, the degraded areas with loss of capacity of the springs, added to the



geological and geomorphological aspects of the region have caused water scarcity even in the largest wetland of the planet. The system presented is a project developed in the Brazil/Bolivia border region, being an alternative for rainwater harvesting. The cistern was implemented in a rural school in the city of Cáceres-MT through a project for the construction of small dams and cisterns involving the settlements, public authorities and researchers. The methodology used to develop this work through literature review and application of a semi-structured online questionnaire to education professionals about the perception of the use of water collected from rain and the importance of building a cistern at school. The objective of this work was characterized as the importance of the implantation of the cistern to catch rainwater in the State School 12 de Outubro in the hydrographic region of the Jauru River-MT. Given the problem of water scarcity at school, the importance of capturing rainwater was proposed, considering that the region suffers from a lack of water, especially during the dry season.

**KEYWORDS:** Planning, Sustainability, Conscious use.

## 1 | INTRODUÇÃO

Apesar de a água cobrir dois terços da superfície do planeta, a sua escassez está sendo apontada como um dos problemas mais preocupantes. A partir da análise e reflexão sobre o multiuso da água, permite afirmar que de modo geral, a água é tratada como se fosse um recurso abundante e infinito, quando na verdade trata-se de um produto esgotável, frágil em alguns casos já se apresenta como escasso (MATTOS, 2009).

Contudo, o modo como são utilizados e gerenciados os recursos hídricos tem levado a um nível de degradação ambiental e a um risco de escassez de água que comprometem a qualidade de vida das gerações futuras (SALDANHA et al., 2016).

A água é a substância mais abundante no planeta, embora disponível em diferentes quantidades e lugares, possui papel fundamental no ambiente e na vida humana, e nada a substitui, pois sem ela a vida não pode existir (CASTRILLON et al. 2017).

A disponibilidade de água potável ao consumo do ser humano pode ser considerada o principal fator à sobrevivência e à melhoria da qualidade de vida das populações rurais, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas (MARCHELTO e ALVES, 2021).

Desafios relacionados à disponibilidade de água ocorrem especialmente em regiões onde são constatadas as ocorrências de secas e de processos de degradação dos solos, ocasionados pela redução da cobertura vegetal, poluição do solo e da água, diminuindo a fertilidade natural do solo (SILVA, 2020).

De acordo com Pimentel et al. (2021) em muitos casos, a qualidade da água da chuva pode superar a qualidade de águas superficiais e subterrâneas. Por não entrar em contato com o solo nem estar diretamente sujeita ao lançamento de poluentes de origem antropogênica, a água da chuva pode constituir uma fonte alternativa de água com qualidade razoável para diversos usos. Para que haja o reaproveitamento da água deve ser levada em conta toda técnica estará sempre condicionada à relação custo/benefício (SANTOS 2020).



O armazenamento da água de chuva ocorre em reservatórios inferiores chamadas cisternas ou reservatórios superiores denominadas caixas d'água. De acordo com Marchetto e Alves (2021) uma cisterna é um depósito ou reservatório que serve para captar, armazenar e conservar a água, podendo ser da água potável, água da chuva ou água de reuso.

No caso das cisternas, estas podem ser enterradas ou não. Segundo Peters (2006), enterrar o reservatório faz com que a água permaneça com temperatura constante, não aquecendo muito durante o verão nem esfriando em demasia durante o inverno.

Neste contexto, pode se afirmar que essas comunidades já sofrem com as consequências da escassez hídrica mesmo estando ao lado da maior área alagadiça do mundo, fator de preocupação que deve servir de reflexão sobre as atuais e futuras crises hídricas, uma vez que existem países e regiões que não irão ter recursos para a efetivação de tecnologias para a superação da falta de água como é o caso das comunidades vulneráveis (FERREIRA, 2019).

A partir disso, a decisão de instalar cisternas para a captação e uso da água da chuva torna-se uma ferramenta de conscientização dos educandos para a crise hídrica ao mesmo tempo que promove a formação de agentes de mudanças e multiplicadores de ações sustentáveis (TUGOZ; BERTOLINE; BRANDALISE, 2017).

Assim, Tomaz (2003) aponta a conscientização sobre a importância da economia de água como um dos principais fatores para mitigar o avanço desse grave problema. A partir dessa visão, o aproveitamento de água da chuva para consumo não potável é apontado como uma tecnologia de grande importância, utilizada em vários países com o intuito de conservar esse recurso natural.

Este trabalho trata da importância da captação da água da chuva armazenada em reservatório cisterna na Escola Estadual 12 de Outubro, localizada no município de Cáceres-MT, através da avaliação da viabilidade da implantação de um sistema com uso de técnica de captação de água de chuva, e da percepção dos profissionais da educação da escola em relação ao aproveitamento e consumo de água de cisterna na Escola. O trabalho se desenvolveu por meio de análise documental do projeto Plantando água ou barraginhas no Alto Pantanal de Cáceres-MT.

## **2 | METODOLOGIA**

### **2.1 Área de estudo**

Na região hidrográfica do rio Jauru no município de Cáceres-MT, região de fronteira Brasil/Bolívia existe sete assentamentos da Reforma Agrária, duas escolas do campo, sendo uma municipal e outra estadual com cerca de aproximadamente 300 alunos.

Os reservatórios existentes na escola, objeto de estudo, fazem parte apenas de uma

das seis ações que integram o programa de acesso à água da chuva e educação ambiental que foi desenvolvido pelo INCRA na região da fronteira com a Bolívia (FERREIRA, 2019).

A Escola Estadual 12 de Outubro, localizada na Agrovila Nova Esperança, pertencente ao município de Cáceres-MT, a qual se integra ao projeto de assentamento Nova Esperança, na fronteira Brasil/Bolívia.

Inserida na bacia hidrográfica do Rio Jauru no Pantanal Mato-grossense (Figura 1), a unidade é uma das primeiras do Estado a reutilizar a água da chuva para atividades de limpeza e horta. A escola dispõe atualmente de uma cisterna de 125 mil litros sendo utilizada no período da seca, disponibilizando a água coletada em uma nascente próxima, apenas para a dessententação humana.

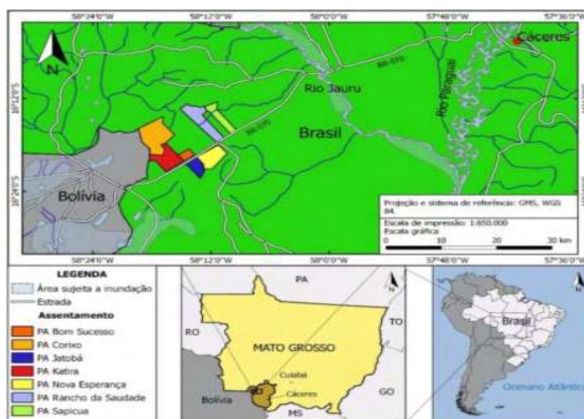


Figura 1: Localização da Escola 12 de Outubro na região hidrográfica do Rio Jauru-MT.

Fonte: Ferreira, 2019.

## 2.2 Procedimentos metodológicos

A realização da pesquisa contou com trabalhos de caráter bibliográfico embasando-se nas propostas metodológicas de Gil (2000) e Lakatos e Marconi (2007), que convergem no delineamento da pesquisa através de trabalhos publicados em livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses.

A pesquisa se constitui a partir do levantamento de revisão de literatura publicados sobre o tema, por meio da revisão bibliográfica de livros, artigos científicos, teses, dissertações com base nas análises de fonte secundárias que abordam o tema de diferentes maneiras. Sendo adotada uma abordagem quali-quantitativa (GUNTHER, 2006). Realizou-se um estudo buscando opiniões, considerando a dinâmica existente entre a realidade e o sujeito, dos profissionais da educação procurando ouvi-los, explorando sua percepção, na realização das entrevistas e questionários, sistematizando os resultados em gráficos e tabelas, e os números obtidos para analisá-los.

No desenvolver dessa pesquisa foi aplicado questionário semiestruturado online através da plataforma Google forms, aplicativo WhatsApp, composto por 09 questões objetivos de caráter quali-quantitativo, para os 14 profissionais da educação entre eles, professores, técnico administrativo educacional e técnico de apoio educacional.

Fez-se uma análise da percepção e do ponto de vista dos profissionais da educação a respeito da água captada da chuva armazenada em cisterna: sobre como eles fazem o uso; se a água captada da chuva em cisterna é de boa qualidade; e a quantidade é suficiente para suprir as necessidades básicas na escola.

O roteiro da entrevista teve como objetivo saber a percepção dos profissionais da educação escolar sobre a importância da cisterna, do uso racional da água e os benefícios na captação da água da chuva.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Precipitação na área da bacia hidrográfica do rio Jauru

O conhecimento da variação do volume mensal da precipitação pluviométrica média é de suma importância para qualificar e quantificar os efeitos ocasionados em áreas antrópicas, visando o adequado gerenciamento, planejamento e maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis (MARCUIZZO e MELATI, 2016).

De acordo com dados obtidos no portal HIDROWEB, na estação pluviométrica Alto Jauru, referentes à série histórica de 1998 a 2018, localizada a latitude 15° 26' 24.00"S e 58° 35' 16.08"W, a altitude de 235m, a precipitação média anual foi de 1473mm, sendo 2010 o ano mais seco, com 1126mm, e 2017, ao ano mais chuvoso, com 1948mm. Os anos de 2000 e 2013 não constam devido à ausência dos dados em alguns meses desses períodos, não sendo possível contabilizar a precipitação anual total.

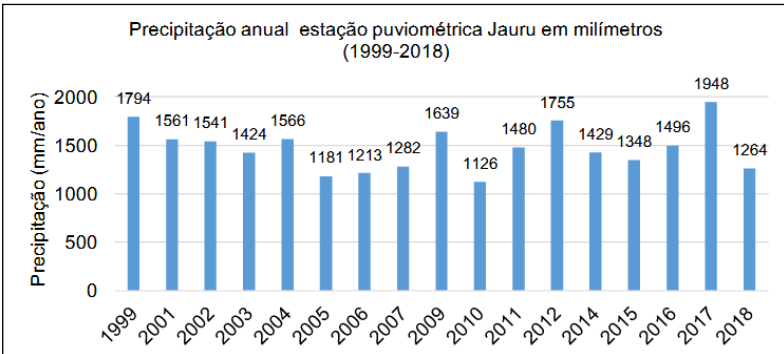


Figura 2: Histograma de precipitações anuais totais na estação pluviométrica do Alto Jauru -1999 a 2018.

Fonte: Vollmer, 2019.

O período não chuvoso no Pantanal é de seis meses e a precipitação anual média da região é de 1.200 mm, considerada acima da média nacional. Entretanto, na região de Cáceres, principalmente na região fronteira com a Bolívia (à Oeste), as fontes de água na região, como o rio Jauru e rio Paraguai são distantes, além da precipitação que é mais escassa ainda, devido à geologia do local, as águas subterrâneas nesta região são de difícil acesso, com captação desfavorecida (CURI,2011).

Segundo Curi (2011) as fontes de água, como o rio Jauru estão distante cerca de 25 km, as águas dos corixos são contaminadas e a água subterrânea nesta região é de difícil captação pela questão geológica que não favorece acarretando baixa qualidade e altos custos para famílias de baixa renda.

A alternância de anos extremamente chuvosos com anos de poucas chuvas até mesmo escassas sobre o pantanal norte de Mato Grosso, configura-se como um sério problema para as famílias que ocupam esse espaço, onde a irregularidade das chuvas interfere diretamente na vida e na dinâmica social e econômica do ecossistema pantaneiro (SILVA, 2020).

### 3.2 Captação da água da chuva em cisterna na escola do campo

A captação da água de chuva é uma alternativa viável que aliada à outras políticas públicas, contribui com o desenvolvimento sustentável da região, sendo a construção de cisternas uma destas alternativas com melhor relação custo-benefício(ALVES, 2016). Segundo Silva (2020), este é um sistema de aproveitamento da água da chuva de baixo custo que serve para armazenar água para usos no ambiente doméstico, sendo considerado uma das melhores e mais eficazes alternativas para economia de água e estão disponíveis em vários modelos, formatos e tamanhos, podendo ser instaladas em casas, escolas e indústrias (SILVA, 2020).

A água é captada por meio de calhas instaladas nos telhados das escolas e o armazenamento é feito em reservatórios lonados doados com geomembrana de PVC 0,8 mm PEAD e cobertos. A Escola Estadual 12 de Outubro recebeu uma cisterna de 125 mil litros (Figura 3).



Figura 13. Detalhe da colocação da geomembrana de PVC PEAD de 0,8 mm.



Figura 14. Cisterna de 125.000 litros com cobertura de telhas de Eternit.

Figura 3: Implantação de cisterna na escola estadual 12 de outubro.

Fonte: Curi, 2011.

A captação de água de chuva através de telhados e outras superfícies e seu armazenamento em cisternas, é uma técnica de baixo custo e fácil implantação e operação que pode ser utilizada, não apenas para solucionar problemas de escassez esporádica de água, como para propiciar o consumo racional da mesma, através da utilização direta de um recurso antes desperdiçado (GNOATTO, 2018).

Apesar de estar localizada em região pantaneira, a área estudada é carente em recursos hídricos, a indisponibilidade de água superficial, assim como a acessibilidade às águas subterrâneas é um dos principais desafios em se obter esse recurso natural precioso (SILVA, 2020). Podendo-se afirmar, de acordo com Ferreira (2019), que essas comunidades já sofrem com as consequências da escassez hídrica mesmo estando ao lado da maior área alagadiça do mundo, fator de preocupação que deve servir de reflexão sobre as atuais e futuras crises hídricas, uma vez que existem países e regiões que não irão ter recursos para a efetivação de tecnologias para a superação da falta de água como é o caso das comunidades vulneráveis (FERREIRA, 2019).

A disseminação da ideia de implantação do uso de cisternas nas unidades escolares, como mecanismo que favorece a utilização economicamente eficiente e socialmente adequada dos recursos hídricos, promovendo nos educandos uma consciência voltada à sustentabilidade (TUGOZ; BERTOLINE; BRANDALISE, 2017).

A cisterna presente na escola estadual representa uma oportunidade de disseminar as práticas sustentáveis de aproveitamento e uso da água, recurso esse imprescindível para a sobrevivência humana, aos membros da comunidade escolar e a sociedade como um todo.

### **3.3 Concepção da educação ambiental em escola**

Segundo Mattos (2009) a Educação Ambiental deve tornar-se não só uma prática educativa, ou uma disciplina, mas uma filosofia de educação, presente nas demais disciplinas, possibilitando uma concepção mais ampla do papel da escola no contexto ecológico local e planetário.

Pode-se entender que a educação ambiental é um processo pelo qual o educando começa a obter conhecimentos acerca das questões ambientais, onde ele passa a ter uma nova visão sobre o meio ambiente, sendo um agente transformador em relação à conservação ambiental (Medeiros, 2011). Consiste basicamente em aprender e utilizar novas tecnologias que possibilitem o aumento da produtividade, evitando desastres ambientais, aliviando os danos existentes, conhecendo e empregando novas oportunidades.

Através da Educação Ambiental compreende-se a importância da estratégia ao uso sustentável das águas de cisternas, por compreender um processo educativo que permite a sensibilização e mudanças de percepção e de atitudes, além de possibilitar o acesso as tecnologias disponíveis (SALDANHA et al., 2016).

Se faz necessário, ainda, um processo educativo que visa formar cidadãos éticos

nas suas relações com a sociedade e com a natureza. Neste contexto, a escola surge como um importante agente socializador, uma vez que é responsável não apenas pela difusão de conhecimentos, mas pela transmissão dos valores entre diferentes gerações (MIRANDA et AL., 2021).

A escola deve iniciar a tratar a educação ambiental a partir dos conhecimentos prévios dos alunos permitindo que os alunos analisem a natureza de acordo com as práticas sociais (BORTOLON e MENDES, 2014). A Educação ambiental presume uma postura pedagógica que aborda temas indispensáveis à formação humana. Assim, estariam contribuindo com alternativas para obter esse produto tão escasso e mal distribuído entre os grupos sociais que se encontram pela superfície terrestre (SILVA e ORITA, 2019).

A educação ambiental nas escolas contribui para a formação de cidadãos conscientes, aptos para decidirem e atuarem na realidade socioambiental de um modo comprometido com a vida, com o bem-estar de cada um e da sociedade (MEDEIROS et al., 2011). Em seu sentido didático, convidam os sujeitos à participação da construção de um mundo melhor (MIRANDA et al., 2021).

Ações desenvolvidas no espaço escolar devem ser estimuladoras de sustentabilidade local e regional interferindo diretamente nos aspectos sociais e culturais. A educação deve cumprir o papel de mediadora no processo de construção da cidadania responsável, na consciência coletiva.

### **3.4 Concepção dos profissionais da educação sobre a situação hídrica na escola e a utilização da água captada da chuva em reservatório cisterna.**

A crise hídrica que o país enfrenta é agravada diante de uma cultura de desperdício da água potável, o que conduz a um repensar da educação, na qual princípios e práticas do desenvolvimento sustentável precisam ser incorporados em todos os aspectos da aprendizagem (TUGOZ; BERTOLINE; BRANDALISE, 2017).

O principal desafio para a gestão da água na comunidade do assentamento é provê-la na quantidade necessária que atenda à demanda familiar, sem desperdícios, com qualidade compatível com seus usos, em locais e condições economicamente viáveis e de forma sustentável (SILVA, 2020).

Fez se diversos questionamentos aos profissionais da educação referente aos benefícios que a construção do reservatório cisterna pode gerar para a escola. A pergunta foi aberta e descritiva, as respostas foram variadas, principalmente com relação a utilização da água, mas a mais frequente foi que a água da chuva armazenada em cisterna é utilizada principalmente para manutenção estrutural da escola.

A cisterna além de contribuir com o meio ambiente, também tem a oportunidade de ser um espaço permanente de aprendizagem e transformação com base no diálogo e na cooperação. Tornou a escola com um desafio, educar para a sustentabilidade ao mesmo tempo em que se transforma em um espaço educador sustentável, esse desafio repercute

na sociedade ao mesmo tempo em que demonstra que é possível construir espaços que mantenham uma relação equilibrada com o meio ambiente, diminuindo o impacto causado pela ação do homem (GNOATTO, 2018).

Para reforçar essa interpretação, foi perguntado a eles, se a água captada pela chuva e armazenada em reservatório cisterna, dispõe de uma qualidade e quantidade adequada para a utilização na escola e para as necessidades humanas. De acordo com as respostas, reconhece-se que há existência de diversos problemas relacionadas no tocante à qualidade da água captada da chuva e armazenada em cisterna.

As seguintes justificativas foram apresentadas: “água é impróprio para o consumo”, “utilizada para as necessidades da limpeza, hortas, plantas na escola”, “água sem tratamento e apenas um profissional teve a resposta sim que a água captada da chuva e armazenada na cisterna dispõe de qualidade e quantidade adequada para a utilização na escola e para o consumo”.

Os profissionais também foram questionados sobre qual é o principal fator de escassez de água na escola, e em resposta afirmam ser “lugar difícil de acesso à água”, “na região da escola não há água no lençol freático”, “lugar muito seco”, “não tem mina de água”, “poços artesianos não atendem à demanda na região”, “o solo da região é um fator de restrição de água”. Apesar das diferenças das respostas, a maioria acredita que a escassez de água na região tem a ver com o solo da região que interfere diretamente no lençol freático, mesmo a região estar inserido na região do Pantanal.

Foi perguntado sobre a percepção de cada um em relação a reduzir a escassez de água na escola. Foram observadas várias respostas associadas ao uso consciente da água, importância da natureza, econômica da água, reúso da água, pesquisa e prática nos resultados.

Foi questionado quais atividades despertam interesses para as aulas práticas com a implantação da cisterna na escola. As opiniões relatadas apontam para procedimentos de uma boa conduta, e que estejam voltadas para uma educação ambiental que contemple a aquisição de hábitos, valores, mudanças de atitudes e comportamentos, voltados principalmente para o fim do desperdício e uso consciente da água, tanto no interior da escola.

Por conta da falta de água principalmente no período de estiagem a escola quase foi fechada devido à falta de água para ser utilizadas nas necessidades básicas. A cisterna garantiu o acesso à água, proporcionando a água em períodos de estiagem, mostrando ser muito eficiente como sistema de gestão da água para escola localizada no campo, promovendo a sustentabilidade do homem no campo.

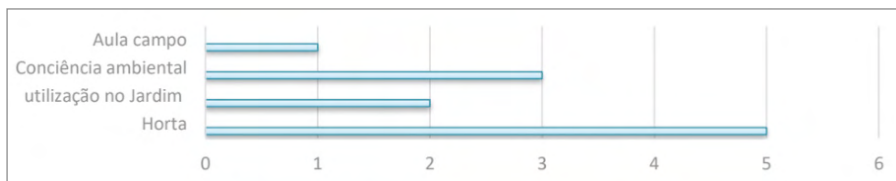


Figura 05: Itens apontados pelos professores sobre atividades que despertam interesse nas aulas práticas com a captação de água de chuva.

Fonte: Autoria própria, 2021.

A figura 05 demonstra que o item horta foi citado por maioria dos profissionais da educação da escola, em seguida as atividades que despertam interesses nas aulas práticas consciência ambiental, utilização da água para regar o jardim e aula campo.

Analizando ainda o gráfico da Figura 05, o projeto horta implantada na escola vai além da utilização nas refeições dos alunos como também um de interesse da aula prática na horta escolar. A abordagem prática desse elemento se dá por meio de atividades envolvendo cultivo de hortaliças, levando a produção e aproveitamento de legumes no âmbito escolar, como forma de melhoria da alimentação consumida na Escola. A horta é um laboratório vivo acessível a diversas práticas didáticas. A sua inserção propicia uma série de benefícios à comunidade escolar, como debater conteúdos pertinentes à educação ambiental e a saúde por meio dos vários elementos.

O que se produz na horta é um alimento limpo, saudável, derivado de um sistema de cultivo que analisa as leis da natureza e todo o manejo agrícola está baseado no respeito ao meio ambiente, na conservação dos recursos naturais e no acréscimo da biodiversidade (RIBEIRO, 2018).

Foi perguntado aos profissionais da educação se o professor fosse trabalhar com a educação ambiental e os benefícios da captação da água da chuva armazenada em cisterna dentro da sua disciplina, qual abordagem faria. A resposta está na figura a seguir.



Figura 6: Abordagem sobre educação ambiental e benefícios da captação da água da cisterna em sala de aula.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Pode-se observar que os profissionais da educação que responderam o questionário apontaram sobre a temática que os professores trabalhariam a partir da conscientização



do uso da água, consumo consciente da água, outro apontou que trabalharia o estudo do solo da região e vários tipos de estudo durante suas aulas, abordando a importância da implantação da cisterna na escola.

Nessa questão os profissionais da educação expuseram sua opinião sobre a oportunidade de trabalhar com a temática educação ambiental e os benefícios da utilização da água da chuva armazenada em cisterna em cada disciplina que cada um leciona.

Diante do questionamento sobre a satisfação da comunidade escolar com a atual situação da água utilizada na escola, os profissionais da educação da escola relataram que apesar da água ser captada da chuva e armazenada em cisterna a comunidade escolar está satisfeita com os resultados. Frente aos relatos, pode-se concluir o otimismo das comunidades, mesmo sabendo que a água armazenada em cisterna não é adequada para o consumo humano, e que portanto, não está totalmente apropriada para os usos dentro da escola e apenas para as atividades de limpeza dos prédios e para uso na rega da horta e do jardim.

E por último foi perguntado aos profissionais da educação da escola sobre a captação e armazenamento da água da chuva na cisterna é suficiente para suprir as necessidades diárias na escola (figura 07).



Figura 07: Concepção sobre a água captada da chuva ser suficiente para suprir as necessidades diárias da escola.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Diante das respostas dos profissionais da educação torna-se evidente que a utilização da água da chuva armazenada na cisterna implantada soluciona em parte a escassez de água na escola nos períodos mais críticos que região passa na época da estiagem. Os profissionais expuseram ainda a importância da conscientização de toda a comunidade escolar sobre o benefício da construção de um sistema de captação de água de chuva na escola, pois com a sua implantação permitiu a inclusão da dimensão ambiental no currículo escolar.

#### 4 | CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados obtidos com esta pesquisa junto aos profissionais da educação da Escola Estadual 12 de Outubro situada no assentamento Nova Esperança no município de Cáceres-MT, verifica a importância da implantação da cisterna e o valor da

água tem para essa escola desenvolver o seu trabalho.

Diante desses resultados percebe-se que, de modo geral, grande parte dos profissionais da educação que respondeu o questionário aponta uma grande satisfação com a água utilizada na Escola e mostraram ter a consciência da relevância da construção de cisterna no armazenamento da água para ser utilizada no período de estiagem. Com a percepção de que essa água captada da chuva e armazenada na cisterna aumenta a oferta de água assegurando-a o consumo da escola, contribui assim, para a melhoria da qualidade de vida.

O referido trabalho traz a reflexão sobre a importância de se discutir esse tema com os profissionais da educação, comunidade escolar, os assentados, para entendermos as ideias e sugestões sobre o consumo da água de maneira sustentável e como dever ser aproveitado de forma racional evitando o desperdício. No contexto pedagógico as iniciativas da escola em desenvolver projetos que abrange todos os envolvidos de modo geral leva a conscientizar os alunos da importância da captação da água da chuva, a importância da implantação da cisterna de modo que possa evitar os problemas no período da estiagem. A iniciativa deve ser considerada uma sugestão para que seja difundida a partir de políticas públicas. Na sala de aula ou fora dela, os alunos devem participar e aprender iniciativas de maneira que percebam a importância de cuidar e conservar tudo que faz parte do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. F. **Avaliação de Sistema de Cisternas Para Captação de Água de Chuva Instalados em Comunidades Rurais de Mato Grosso –Brasil**. E&S -Engineering and Science ISSN: 2358-5390DOI: 10.18607/ES20165049 Volume 1, Edição 5. 2016. 9 p.

BORTOLON, B; MENDES, M .S. **A Importância da Educação Ambiental para o Alcance da Sustentabilidade**. Revista Eletrônica de Iniciação Científica. Itajaí, Centro de Ciências Sociais e Jurídicas da UNIVALI. v. 5, n.1, p. 118-136, 1º Trimestre de 2014. Disponível em: [www.univali.br/ricc](http://www.univali.br/ricc) - ISSN 2236-5044

CASTRILLON, S. I; PUHL, J.I; MORAIS, F.F; LOPES, ALESSANDRA, E.T.M. **Escassez Hídrica e Restauração Ecológica no Pantanal: Recuperação das nascentes e fragmentos de mata ciliar do córrego no Assentamento Laranjeira I e mobilização para conservação dos recursos hídricos no Pantanal Mato-grossense**. Carlini & Caniato. Editorial, Cuiabá, 2017. 115 p.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA 357, Ministério do Meio Ambiente. Disponível no endereço eletrônico: <http://www2.mma.gov.br> acessado em 11/05/2021.

CURI, S.; MARCHETTO, M.; OKADA, A. S. **Projeto plantando água ou barraginhas no Alto Pantanal de Cáceres**. Cuiabá-MT. 2011.

FERREIRA, N. **Água, mulheres do campo e saúde no contexto da escassez hídrica: Estudo de caso em assentamentos rurais no município de Cáceres-MT**. Trabalho de conclusão de mestrado. Universidade do Estado de Mato Grosso. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. Cáceres-MT, 2019. 104 p.

GNOATTO, A. A. **Projeto cisterna: Um processo educativo de construção e uso racional da água.** Congresso técnico científico de engenharia e da agronomia. 21 a 24/agosto. Macéio-AL-Brasil, 2018. 15 p.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa.** Rio Grande do Sul: UFRGS, 2009.

GÜNTHER, H. **Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?** In: Revista Psicologia: teoria e pesquisa. Brasília: Editora da UnB, v.22, n.2, p.201-210, mai./ago., 2006.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 2. ed. São Paulo: Atlas. 2000. LAKATOS, E. M.;

MARCONI, M. A. **Técnicas de pesquisa.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MARCHETTO, M; ALVES, M.A. **Tecnologias sociais em comunidades isoladas. Referencial de escolha de soluções para saneamento rural.** Gráfica e Editora. Cuiabá, 2021. 144 p.

MARCUZZO, F.F. N; MELATI, M.D. **Caracterização de precipitação pluviométrico mensal nas sub-bacias pertencentes a bacias do rio Uruguai.** XXIII Simpósio de recursos hídricos do Nordeste. Aracaju-Sergipe. 2016. 15 p.

MATOS, F. **Retratos de governanças das águas do Brasil: perfis dos representantes de comitês de bacias hidrográficas do Estado de Sergipe.** – Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2019. 37p.

MATTOS, F. H. T. 2009. **A educação ambiental e o uso racional da água na 5° série do ensino fundamental no colégio Pedro II em Santo Ângelo-RS.** Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Educação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Educação Ambiental.

Medeiros, A. B.,2011. **A Importância da educação ambiental na escola nas séries iniciais.** Revista Faculdade Montes Belos, v. 4, n. 1

Miranda, D. L., Mendonça, A. T., Melo, M. C., Melo, E. D., 2021. **Educação Ambiental a partir da agenda 2030: Experiências da conscientização e do uso racional da água em uma escola municipal de Vargina (MG).** Revbea, São Paulo, V. 16, No 2: 174-190, 2021. Revista brasileira de educação ambiental.

PETERS, M.R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial.** 2006. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

RIBEIRO, L.L.G. **Direito à educação na diversidade: A prática do bullying no ambiente da escola pública e a responsabilidade do Estado.** Revista de Direito Administrativo Contemporâneo. v, 21. Novembro/dezembro, 2015. 25 p.

RIBEIRO, P. **Horta escolar como recurso didático para a reeducação alimentar e nutricional.** Trabalho de conclusão de curso (graduação). Universidade Federal de Santa Catarina Campus curitibano graduação agronomia. 2018. 60 p.

SILVA, M.C.A. **Impactos das barraginhas: Uma tecnologia social no cotidiano de família do assentamento rancho da saudade no município de Cáceres-MT.** Trabalho de conclusão de mestrado. Universidade do Estado de Mato Grosso. Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Cuiabá, 2020. 97 p.

SILVA, J. L. P; ORITA, E.V.G. **Captação e utilização da água da chuva:** contribuição para a sustentabilidade ambiental do nosso planeta. XI EPCC. Encontro Internacional de Produção Científica. 29 e 30 de outubro, 2019.

SANTOS, C.F. **Aproveitamento de água de chuva para fins potáveis numa escola pública no interior do município de Campo Formoso (BA).** Revista Monografia Ambiental Santa Maria, v.19, e. 9, 2020. p.25.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva.** 2. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2003.

SALDANHA, C.S; RODRIGUES, T.T; CARDIAS, M. E. M; LANA, N. K. D. 2016. **Sustentabilidade: Uso da cisterna como ferramenta para o armazenamento e reuso da água no uso doméstico.** 5º FÓRUM INTERNACIONAL ECOINOVAR 1ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO.Santa Maria/RS – 9 a 12 de Agosto de 2016

TUGOZ, J.E; BERTOLINE, G.R.F; BRANDALINE, L.T. **Captação e aproveitamento de água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável.** Journal of Environmental Management and Sustainability – JEMS Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS. Vol. 6, N. 1. Janeiro. / Abril. 2017

VOLMMER, F.F; GONÇALVES, K.E.C; MARTINS, L.C.A; BATISTA, C.A; GONÇALVES, T.F.A. **Caracterização hidrológica da bacia hidrográfica do rio Jauru-MT. Brasil.** I seminário internacional de Ciências Ambientais da Unemat. Cáceres-MT. Nov./2019. 7p.

# CAPÍTULO 5

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NO ENTORNO DE FAZENDA MARINHA NA ENSEADA DO BANANAL, ILHA GRANDE, ANGRA DOS REIS, RIO DE JANEIRO

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 22/11/2021

**Marcos Bastos Pereira**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Oceanografia

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/2468251357671465>

**Vanessa de Magalhães Ferreira**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Oceanografia

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/9744837623049518>

**Tatiana Ribeiro Briglia**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Oceanografia

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/1864980835461474>

**Bruno Saliba Souza Almeida**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Oceanografia

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/1209027233807912>

**Gabriel Soares Cruz**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Oceanografia

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/5020176530223864>

**Camila de Leon Lousada Borges**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Oceanografia

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/2610853672310367>

**Gleici Natali Montanini dos Santos**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Oceanografia

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/4685706865950186>

**RESUMO:** Na maricultura sul fluminense cultivam-se os bivalvos *Nodipecten nodosus* e *Perna perna*, o peixe bijupirá (*Rachycentron canadum*) e a macroalga *Kappaphycus alvarezii*. Para que convertam mais eficientemente o alimento que recebem, necessita-se que as características abióticas da água do mar neste ambiente estejam dentro dos limites considerados ótimos ao desenvolvimento destes organismos. A temperatura da água do mar regula o metabolismo (crescimento e ciclos reprodutivos); salinidade regula o equilíbrio osmótico; turbidez afere indiretamente a presença de material particulado na água (alimento para bivalvos), também é um indicador da disponibilidade de luz solar, fundamental à fotossíntese da *Kappaphycus*. O bijupirá é peixe carnívoro, cujos restos alimentares e pelotas fecais podem contribuir ao enriquecimento orgânico da área de cultivo, que pode levar à redução nos teores de oxigênio dissolvido. Assim objetivou-se mensurar a variação de: temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e turbidez na água do mar no entorno da fazenda marinha localizada na enseada do Bananal (Angra dos Reis/RJ) e verificar se os parâmetros mantiveram-se dentro da faixa ótima para os organismos cultivados na região. Utilizou-se sonda multiparâmetros AT-1100, em perfis ao longo da coluna d'água, a cada

3 horas, durante 24h. Usou-se o programa PYTHON versão 3.10.0 para analisar os dados. Temperatura: variou entre 23,45°C (mínima, junto ao fundo, no inverno) e 28,29°C (máxima, na superfície, no verão). Salinidade: a menor (33,67) foi encontrada junto à superfície, sob intensas chuvas de verão. Os parâmetros temperatura e salinidade foram coerentes com a Água Tropical do Atlântico Sul que banha a região, ao largo. Não observou-se redução nos teores de oxigênio dissolvido. O pH permaneceu levemente alcalino. A turbidez foi baixa, garantindo luz para as macroalgas. Os parâmetros mensurados permaneceram dentro do ótimo para as espécies cultivadas, confirmando a aptidão da região para o desenvolvimento da maricultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Malacocultura, Piscicultura marinha, Oceanografia, Sustentabilidade, Década do Oceano.

## CHARACTERIZATION OF SEAWATER IN THE SURROUNDINGS OF A MARINE FARM IN BANANAL INLET, ILHA GRANDE BAY, ANGRA DOS REIS, RIO DE JANEIRO.

**ABSTRACT:** In southern Rio de Janeiro mariculture are cultivated the bivalves *Nodipecten nodosus* and *Perna perna*, the cobia (*Rachycentron canadum*) and a macroalgae *Kappaphycus alvarezii*. In order to more efficiently convert the food it supplies, it is necessary that the abiotic characteristics of the seawater in this environment are within the limits considered for the development of these organisms. Seawater temperature regulates metabolism (growth and reproductive cycles); salinity regulates osmotic balance; Turbidity indirectly measures the presence of particulate matter in the water (food for bivalves), it is also an indicator of the availability of sunlight, to support the photosynthesis of *Kappaphycus*. Cobia is a carnivorous fish, food wastes and fecal pellets can contribute to the organic enrichment of the cultivated area, which can lead to a reduction in dissolved oxygen levels. Thus, the objective was to measure the variation of: temperature, salinity, pH, dissolved oxygen and turbidity in the seawater around the marine farm located in Bananal inlet (Angra dos Reis / RJ) and to verify if the parameters remained within the optimum range for organisms grown in the region. A multiparameter sonda AT-1100 was used, in profiles along the water column, every 3 hours for 24 hours. Use the PYTHON version 3.10.0 program to analyze the data. Temperature: ranged between 23.45°C (minimum, close to the bottom, in winter) and 28.29°C (maximum, on the surface, in summer). Salinity: the lowest (33.67) was found near the surface, under intense summer rains. The temperature and salinity parameters were coherent with the Tropical Water of the South Atlantic that bathes the region offshore. No reduction in dissolved oxygen content was observed. The pH remained slightly alkaline. Turbidity was low, ensuring light for macroalgae. The measured parameters remained within the optimum for the cultivated species, confirming the region's suitability for the development of mariculture.

**KEYWORDS:** Malacoculture, Marine Fish farm, Oceanography, Sustainability, Decade of the Ocean .

## 1 | INTRODUÇÃO

### Alimento que vem das águas

Os oceanos sempre representaram importante fonte de alimento para a humanidade, através de atividades extrativas como a pesca no ambiente pelágico e a coleta de moluscos e crustáceos na região costeira. A mais antiga evidência de uso de recursos marinhos na alimentação humana data de 164 mil anos atrás. Há vestígios arqueológicos em todos os continentes, sobretudo na África e Europa; inicialmente com a utilização de moluscos retirados de regiões entre marés. Evidências do uso de peixes marinhos remontam há apenas 1500 anos atrás (SCWERDTNER et al., 2014). Transpondo-se o contexto do mar como fonte de alimento para a atualidade, temos a oferta de pescado como um dos principais serviços ecossistêmicos de suporte desempenhados pelos oceanos para a Humanidade (BUONOCORE et al., 2021). Entenda-se por pescado todo organismo aquático (invertebrado, vertebrado ou alga) destinado ao consumo humano, quer seja capturado ou cultivado (FAO, 2020) e que tenha sido aprovado para o consumo por autoridades sanitárias após inspeção de sua sanidade e qualidade (MAPA, 2020).

Denomina-se aquicultura o cultivo de organismos aquáticos (ou que vivam a maior parte do seu ciclo de vida na água) destinados principalmente à produção de alimento para seres humanos (uma fração menor da produção é destinada à produção de farinha e óleo de peixe, usados na confecção de ração para animais). As atividades aquícolas realizadas no ambiente marinho também podem ser denominadas maricultura. Se considerarmos o grupo de organismos cultivados, ainda podemos encontrar as denominações: piscicultura (cultivo de peixes), malacocultura (cultivo de moluscos, especialmente os bivalvos), algicultura (cultivo de algas), carcinocultura (cultivo de crustáceos) entre outras largamente utilizadas (FAO, 2020; FIPERJ, 2018). Se considerarmos a espécie cultivada, as atividades aquícolas ainda podem ser chamadas mais especificamente de: tilapicultura (cultivo de tilápias), mitilicultura (cultivo de mexilhões), ostreicultura (cultivo de ostras), pectinicultura (cultivo de vieiras) (MAPA, 2020; IBGE, 2020a). Porém, em todas as modalidades de cultivo citadas acima o aquicultor que as desenvolve deve agir no sentido de otimizar o desenvolvimento e a engorda dos organismos, protegendo-os contra seus predadores, promovendo a saúde destes e do ambiente aquático de cultivo. Coletivamente os organismos aquáticos destinados ao consumo humano são chamados de pescado e devem ser produzidos com vistas à segurança alimentar dos consumidores, ou seja, devem ser inócuos à saúde humana não veiculando patógenos nem contaminantes químicos.

### Panorama mundial da produção de pescado: Aquicultura e Pesca

A produção total de pescado engloba as atividades tanto extrativas (pesca de captura) quanto a produção aquícola; e em 2018 essa produção total atingiu o patamar

de 178,5 milhões de toneladas (gerando U\$ 401 bilhões). Deste total, 82,1 milhões de toneladas foram produzidas pela aquacultura (gerando U\$ 250 bilhões). Se considerarmos apenas o pescado destinado à alimentação humana (excluindo portanto os 22 milhões de toneladas destinados para uso não humano), a aquacultura já ultrapassou a pesca por captura na produção de pescado, sendo responsável por fornecer 52% dos 156 milhões de toneladas de organismos aquáticos destinados exclusivamente ao consumo humano (FAO, 2020). O pescado oriundo de estoques pesqueiros naturais explorados comercialmente pela pesca de captura encontra-se estagnado desde a década de 80 num patamar de cerca de 90 milhões de toneladas. O mesmo sofre flutuações negativas em função de mudanças climáticas globais, deterioração de ecossistemas costeiros onde os animais se reproduzem e dos efeitos da pesca predatória. Dessa maneira, a aquacultura se firma como principal fonte para manter a oferta de pescado, capaz de sustentar a crescente demanda per capita de pescado para consumo humano (atualmente em 20,5 kg de pescado por pessoa.ano<sup>-1</sup>).

Considerando-se o volume de produção, total e mundial, a atividade aquícola produz principalmente: 1º) peixes (54,3 milhões de toneladas na piscicultura continental, majoritariamente na produção de carpas e tilápias; 7,3 milhões de toneladas na piscicultura marinha, principalmente na produção de salmonídeos), 2º) moluscos (17,7 milhões de toneladas, especialmente produzindo bivalvos), 3º) crustáceos (9,4 milhões de toneladas principalmente cultivando camarões), 4º) invertebrados marinhos (435,4 mil toneladas, produzindo uma miscelânea composta principalmente por equinodermos), 5º) répteis (370 mil toneladas, principalmente na produção de tartarugas) e 6º) anfíbios (131 mil toneladas, principalmente com a produção de rãs). A produção total de macroalgas em 2018 foi de 32,3 milhões de toneladas (FAO, 2020).

## **Cenário nacional da aquicultura**

Dentre os países que possuem atividade aquícola o Brasil ocupa a 13ª posição no ranking mundial, produzindo um total de 605 mil toneladas de pescado. Deste volume total nacional, considerando-se o pescado destinado à alimentação humana, 55% corresponde à produção nacional de tilápias (equivalente à 343 595 466 kg), 16% à produção de tambaqui (equivalente à 100 569 734 kg) na aquicultura continental. Na maricultura 10% do volume total aquícola produzido no Brasil corresponde a camarões (equivalente à 63 169 853 kg) e 2% da é atribuída aos moluscos bivalvos cultivados (equivalentes à 14 297 623 kg) (FAO, 2020; IBGE, 2020b), conforme visto na Figura 01 à esquerda. No detalhe, à direita da Figura 01 observam-se as demais espécies cultivadas no Brasil, aquelas que apresentam menor percentual em relação ao volume total produzido: Tambacu e Tambatinga (7%); Carpa (3%); Pintado, cachara, cachapira e pintachara, surubim (2%); Jatuarana, piabanha e piracanjuba (1%); Curimatã, curimatá (1%). Apresentam representatividade menor que 1% da produção total nacional: Dourado; Lambari; Matrinxã; Pacu e patinga; Piau, piapara,



piaçu, piava; Pirapitinga; Pirarucu; Traíra e trairão; Truta; Tucunaré. As formas jovens, que não são consumidas como alimento por humanos e constituem o principal insumo para a aquicultura, apresentaram os seguintes volumes de produção em 2020: Alevinos (1369446 Milheiros); Larvas e pós-larvas de camarão (1254172 Milheiros) e Sementes de moluscos (26486 Milheiros). No cenário nacional, a tilapicultura é capitaneada pelo Paraná, a carcinocultura pelo Rio Grande do Norte, a malacocultura por Santa Catarina (produzindo principalmente mexilhões), segundo dados da Pesquisa Pecuária Municipal (IBGE, 2020c).

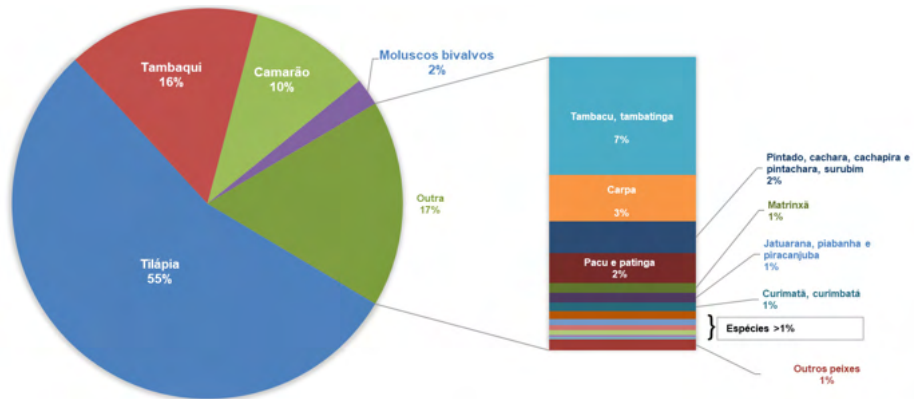


Figura 01. Produção aquícola brasileira em 2020 organizada em percentuais e distribuída pelos principais organismos/grupos cultivados destinados à alimentação humana. À esquerda visualizamos as principais espécies cultivadas no Brasil: Tilápia (55% do volume total produzido), Tambaqui (16% do volume total produzido), Camarões (10% do volume total produzido) e Moluscos bivalvos (2% do volume total produzido). No detalhe, à direita, vemos discriminadas as espécies que são produzidas em menor escala. A produção de formas jovens (alevinos, pós larvas e sementes) não está representada nesse gráfico.

Fonte de dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020b), figura elaborada pelos autores.

Dentro do cenário da malacocultura nacional, a produção do estado do Rio de Janeiro ocupa a terceira colocação graças à produção gerada principalmente nos municípios sul fluminenses (IBGE, 2020d). A Produção de moluscos no município sul fluminense de Angra dos Reis (50 000kg) alavanca a posição do Rio de Janeiro no *ranking* nacional da malacocultura, também havendo contribuição de Arraial do Cabo (9 940kg), Niterói (6 530kg) e Paraty (850kg) (IBGE, 2020e). A Figura 02 situa ao longo da costa do Estado do Rio de Janeiro a localização das fazendas e o tipo de cultivo desenvolvido na maricultura fluminense. Para o ano de 2020 a maricultura sul fluminense também apresentou a produção de 924 kg de mexilhões, 3 462 dúzias de ostras, 26 696 kg de bijupirá e 162 kg de garoupa (FIPERJ, 2021).

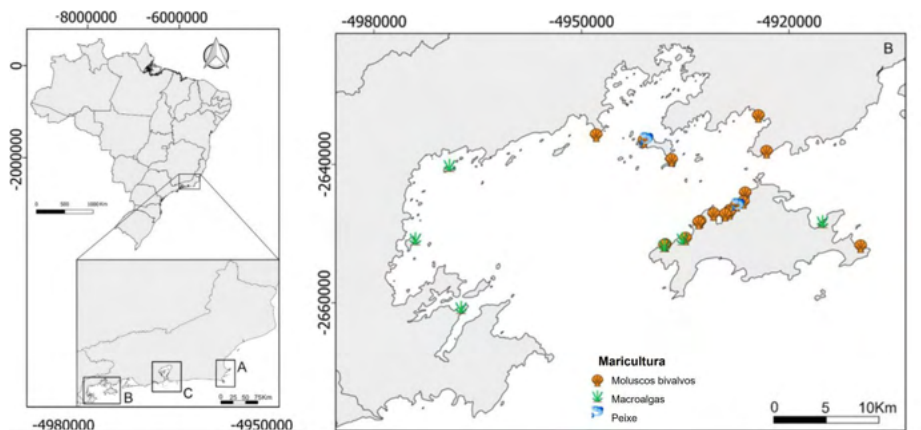


Figura 02. Maricultura desenvolvida no litoral do Estado do Rio de Janeiro, Brasil: A) Em Arraial do Cabo, B) No litoral sul fluminense (em destaque à direita) e C) Em Niterói. Modificada de FIPERJ (2021) e disponível em <http://www.fiperj.rj.gov.br/index.php/publicacao/index/4>

Na apresentação da produção da malacocultura nacional realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) faz-se necessário salientar uma questão: os dados apresentados englobam a produção total de moluscos (mexilhões, ostras e vieiras) e são organizados em quilogramas. Anteriormente à 2013 (quando o IBGE assumiu a estatística pesqueira no Brasil) os dados de produção da malacocultura eram apresentados por espécie produzida (como ainda é feito para as demais espécies cultivadas no Brasil e no mundo). Embora estes moluscos bivalves desempenhem ecologicamente o mesmo papel (todos são suspensívoros e formas adultas têm vida bentônica), suas cadeias produtivas possuem particularidades principalmente em relação ao principal insumo (a origem das sementes) e possuem custos de produção diferenciados. Na pectinicultura a reprodução é feita em laboratório, sob condições rigorosamente controladas, e as sementes são vendidas aos maricultores; na mitilicultura as sementes são obtidas através da extração controlada em bancos naturais (IBAMA, 2006) ou através do uso de coletores de sementes ou do desdobre na própria fazenda. Computar a produção total e apresentá-la de maneira conjunta dificulta a visualização da produtividade por espécie e isso interfere na compreensão da dinâmica da evolução de cada cadeia produtiva na malacocultura. Isso pode dificultar a identificação de entraves à produção e o desenvolvimento de políticas públicas de fomento para cada uma destas cadeias produtivas.

A maricultura é uma atividade socioeconomicamente importante para o litoral sul do estado do Rio de Janeiro desde a década de 90, quando iniciou-se o cultivo comercial de moluscos bivalves na região com o mexilhão *Perna perna* (Linnaeus 1758). Pescadores oriundos de comunidades tradicionais, afetados pelo declínio dos estoques pesqueiros e pela pressão da especulação imobiliária sobre a região litorânea em Angra dos Reis, foram os primeiros contemplados, sobretudo no entorno da Ilha Grande (MOSCHEN,

2007). A malacocultura é atividade econômica com grande potencial para ser desenvolvida sustentavelmente, pois não demanda gastos com ração (moluscos são filtradores) (GALLARDI, 2014), emprega estruturas mais simples e viáveis economicamente, requer manejo menos especializado, apresenta menor grau de severidade em relação a potenciais impactos ambientais (INGLIS et al., 2000).

Em paralelo ao desenvolvimento da mitilicultura nas águas da baía da Ilha Grande (Angra dos Reis, RJ) teve início também o desenvolvimento de projetos pilotos para viabilizar o cultivo da vieira *Nodipecten nodosus*, espécie nativa das águas fluminenses. Foi desenvolvido o pacote tecnológico para que a vieira pudesse ser cultivada: reprodução em laboratório para a produção de sementes, tecnologia de cultivo, estruturas e manejo. No início dos anos 2000 a pectinicultura em escala comercial se firmou como carro chefe da maricultura fluminense (ROMBENSO et al., 2014; CARVALHO FILHO, 2006) e assim permanece até a atualidade. Instalou-se em Angra dos Reis o primeiro laboratório de larvicultura de vieiras a atuar comercialmente no Brasil, com capacidade de produzir anualmente 3 milhões de sementes. E nas últimas duas décadas a maricultura sul fluminense tem diversificado sua atividade, incluindo o cultivo de macroalgas carragenófitas e mais recentemente investindo na piscicultura marinha tendo o bijupirá como principal espécie alvo (IGARASHI, 2018; SEPÚLVEDA, 2016; ROMBENSO et al., 2016; REIS et al., 2007).

## **Revolução azul - Produção de alimento nos ambientes aquáticos sob a égide da sustentabilidade**

Nos últimos 60 anos o aumento aparente na demanda por pescado (destinado à alimentação humana) vem superando o aumento do crescimento demográfico (incremento ao ano de 3,1% na demanda por pescado e de 1,6% para o crescimento demográfico). A Humanidade tem incrementado o consumo *per capita* de 5,2 kg (em 1961) para 20,5 kg de pescado em 2020. Atualmente  $\frac{1}{3}$  da proteína de origem animal ingerida na alimentação humana é pescado (média mundial); se considerarmos pequenos países insulares e países em desenvolvimento (como Indonésia, Camboja, Gana entre outros ) metade da proteína de origem animal ingerida pela população é constituída por pescado. Evidente que esses valores médios mascaram diferenças entre países, ou mesmo dentro de diferentes regiões de um país, mas indubitavelmente evidenciam o aumento na demanda por pescado para alimentar uma população humana em expansão. No Brasil estima-se que o consumo médio per capita de pescado esteja na faixa entre 5-10 kg de pescado por pessoa ao ano. Nesse contexto de oferta de pescado para a alimentação humana, desde 2016 a aquacultura se tornou a principal fonte desse pescado devido tanto ao seu incremento quanto à estagnação da produção pesqueira. Mundialmente a demanda por pescado cresce mais que os outros segmentos de produtos de origem animal (leite, carnes bovinas, suínas e avícolas) juntos (FAO, 2020).

A esse movimento de expansão na oferta de pescado através do desenvolvimento da aquicultura foi denominada de “Revolução azul” (COSTA-PIERCE, 2002), do qual também foi considerado a relevância da atividade na geração de emprego, renda, no seu potencial para combater a fome e a pobreza em comunidades tradicionais costeiras (SIQUEIRA, 2017). A aquicultura também pode ser desenvolvida em escala industrial (focada em espécies de alto valor comercial, por exemplo salmónídeos, camarões, tilápia), visando a geração de *commodities* e atuando, nesse caso, de maneira distinta da descrita anteriormente (MORENO, 2018).

Estamos vivendo a Década do Oceano (2021-2030), estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU), com o objetivo de contextualizar para a Sociedade o papel vital que os Oceanos desempenham em nossas vidas sob o lema “A Ciência que precisamos para o Oceano que queremos”. Dentro desse contexto foram elaborados conjuntos de metas, na forma de uma agenda internacional, onde os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis** (ODS) surgiram para auxiliar a construção de políticas públicas de forma que estas guiem sustentavelmente a Humanidade até 2030 (IOC, 2020).

Serviços ecossistêmicos prestados pelos Oceanos são importantes para a disponibilização do oxigênio (50% vem dos oceanos), regulação do clima, na manutenção da biodiversidade e sobretudo na oferta de alimento para a Humanidade, foco deste trabalho. E a aquicultura urge ser fomentada sob o enfoque da sustentabilidade: maximizando benefícios ambientais, econômicos e sociais (FAO, 2018).

A atividade aquícola, por tratar do cultivo de organismos aquáticos (marinhos ou dulcícolas), remete imediatamente ao **ODS 14 - Vida na água**, ou seja, à ações que protejam e estimulem o uso adequado dos serviços ecossistêmicos providos pelos oceanos. No entanto, a aquicultura também pode ser fomentada sob a perspectiva de diversos outros Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, principalmente:

**ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável:** o fomento de atividades aquícolas focadas em espécies de baixo custo comercial, com pacotes tecnológicos mais simples, voltados ao abastecimento do mercado interno (oferta de pescado para populações humanas vulneráveis economicamente); como por exemplo o cultivo de moluscos bivalvos e de macroalgas, e o cultivo de carpas e tilápias;

**ODS 3 - Saúde e bem estar:** enxergando pela perspectiva da aquicultura, relaciona-se a ações voltadas à promoção e manutenção da qualidade do pescado (alimento rico em proteínas e aminoácidos essenciais de alto valor biológico, em ácidos graxos poliinsaturados, vitaminas e sais minerais fundamentais para uma dieta saudável e balanceada, FAO (2018)) para que este seja um alimento acessível e inócuo aos consumidores (FAO, 2020);

**ODS 4 - Educação de qualidade:** ações que promovam a inserção da temática dos oceanos, da aquicultura nos conteúdos do ensino nos níveis básico e médio. Contribuindo assim para formar cidadãos mais críticos em relação ao mundo em que vivem e mais

conscientes em relação ao que consomem e produzem. Promover uma formação de mão de obra para atuar na cadeia produtiva aquícola mais especializada.

**ODS 6 - Água potável e saneamento:** a saúde de organismos aquáticos é reflexo da saúde ambiental do ecossistema onde estes organismos são cultivados e/ou vivem (YOU *et al.*, 2021). A Resolução CONAMA 357 discorre sobre os padrões de qualidade de água que assegurem a qualidade do corpo hídrico onde a aquicultura será realizada. O empreendimento aquícola também tem deveres relacionados aos seus próprios efluentes e deve atender os padrões estipulados na Resolução CONAMA 413 com vistas à manutenção da qualidade da água no corpo hídrico onde é realizada. Nesse sentido, promover ações de saneamento básico significa impedir a contaminação de ecossistemas aquáticos por poluentes e patógenos, assegurando a qualidade do pescado produzido nessas águas. A promoção deste ODS é vital para o desenvolvimento da aquicultura.

**ODS 8 - Trabalho decente e crescimento econômico:** aquicultura engaja cerca de 20,5 milhões de pessoas em seu setor produtivo, dos quais 19% são mulheres. Na Ásia encontra-se a maioria dos trabalhadores envolvidos nessa atividade (85%), seguidos pela África (9%), Américas (4%), Europa e Oceania (1%) (FAO, 2020). Nesse sentido fomentar o desenvolvimento de atividades aquícolas é investir na criação de empregos e na geração de renda, principalmente em comunidades tradicionais (ribeirinhos, caçaras, pescadores artesanais);

**ODS 12 - Consumo e produção responsáveis:** a produção de moluscos bivalvos têm sido incrementada em diversas regiões do mundo, impulsionada por práticas que respeitem a capacidade de suporte ambiental conforme previstas no Código de Conduta para Pesca e Aquicultura responsáveis (FAO 2020; FAO, 1995). Tal fato tem valorizado moluscos bivalvos junto aos consumidores, que respondem aumentando a demanda por este tipo de alimento. Outras maneiras de enxergar a aquicultura sob a perspectiva do ODS 12 é estimular a adoção de práticas sustentáveis na aquicultura, por exemplo: investimento no cultivo de espécies arraçoadas, redução ou substituição de farinha de peixe nas rações animais, investimento na adoção em sistemas de recirculação de água (na aquicultura continental), minimizar o impacto do enriquecimento orgânico em áreas aquícolas através da adoção do Sistema de Cultivo Multitrófico Integrado, investir na aquicultura orgânica (com menor uso de fármacos), investimento no uso de energias limpas e renováveis (como a solar, eólica, gerada por ondas).

## 2 | PRINCIPAIS ESPÉCIES CULTIVADAS NO LITORAL SUL FLUMINENSE

A maricultura sul fluminense é alicerçada na malacocultura com o cultivo de vieiras (*N. nodosus*) e, em menor proporção, com a mitilicultura. Com a diversificação das espécies alvo houve a introdução do cultivo de macroalgas (com a rodófitas *K. alvarezii*) e, mais recentemente, iniciando a piscicultura marinha principalmente com o bupirá (*R. canadum*).

## 2.1 Moluscos Bivalvos

São animais aquáticos pertencentes ao Filo Mollusca, Classe Bivalvia (também denominada Pelecypoda ou Lamellibranchiata). Caracterizam-se pela presença de duas estruturas rígidas, constituídas de carbonato de cálcio denominadas valvas, que protegem a massa corporal mole, sem segmentação, comprimida lateralmente (NARCHI; GALVÃO BUENO, 1995).

Todos os moluscos bivalves adultos habitam o domínio bentônico, principalmente em substratos consolidados. Fixam-se ao fundo através de um filamento protéico chamado bisso (Mytiloida) ou através da cimentação da valva esquerda (Ostreoida). Pteroida possui gêneros que podem ocorrer sobre substratos consolidados ou inconsolidados e que apresentam capacidade de natação (embora possam produzir pequena quantidade de bisso). Indivíduos de várias ordens de bivalvos podem viver enterrados em sedimento inconsolidado, como infauna.

Os bivalvos não apresentam cabeça como os demais moluscos, perderam a rádula, os tentáculos e os olhos, provavelmente em função do estilo de vida sésil ou sedentário (LEAL, 2006). Toda sua massa corpórea fica compreendida e protegida no interior das valvas, exceto expansões táteis do manto em pectinídeos.

A respiração é realizada por um par de brânquias de estrutura laminar (cada par de demibrânquias faz uma lamela branquial), que possuem células ciliadas. Localizam-se dentro das valvas logo após o manto e entre elas encontra-se a massa visceral. O batimento dos cílios gera uma corrente de água dentro do animal enquanto revestem de muco partículas de alimento (microalgas e matéria orgânica particulada). Na porção anterior das brânquias localizam-se dois pares de palpos labiais. Assim que o alimento filtrado nas brânquias chega até a boca do animal, os palpos labiais selecionam por tamanho o que será ingerido. O que for grande demais, será eliminado como pseudofeces (BENINGER; ST-JAMES, 1997). Possuem trato digestivo completo com boca, esôfago curto, glândula digestiva, estilete cristalino, intestino e ânus. Todos os bivalves alimentam-se de organismos plancônicos disponíveis em suspensão na coluna d'água: microalgas (OGILVIE *et al.*, 2000), bactérias, mesozooplâncton (ZELDIS *et al.*, 2004); mas também de matéria orgânica particulada (MOP). Podem filtrar muitos litros de água do mar por hora dependendo de fatores bióticos (espécie de molusco, tamanho, estado fisiológico, quantidade de alimento disponível, presença de toxinas) e abióticos (principalmente temperatura e salinidade) (RESGALLA-JR. *et al.*, 2007).

Moluscos bivalves são animais que vivem no domínio bentônico, estendendo sua ocorrência desde a região entre marés até o infralitoral, dependendo da espécie. Podem ser sésseis, ou seja, viver fixados ao fundo (como mexilhões e ostras) ou vágéis, como as vieiras que podem se deslocar (HELM; BOURN, 2006). Habitam águas costeiras, desde ambientes estuarinos, como a ostra *Crassostrea rhizophorae*, até tipicamente

oceânicos como o mexilhão *Perna perna*. Em relação à distribuição biogeográfica, o gênero *Mytilus* encontra-se em zonas temperadas em todo o globo e o *Perna* em ambientes tropicais, principalmente no hemisfério sul (WOOD *et al.*, 2007). Vieiras também podem ser encontradas desde regiões polares a ambientes tropicais, da zona intermarés a profundidades de 7000 metros (MINCHIN, 2003).

Moluscos bivalves relacionam-se ecologicamente com organismos bentônicos, planctônicos e nectônicos. Predam principalmente organismos fitoplanctônicos (herbivoria) e competem por esse recurso com os demais animais filtradores: cracas, ascídeas, outros bivalvos, briozoários, esponjas, entre outros. Porém, ALFARO (2006) relata a evidência de canibalismo para *Perna viridis*, onde animais adultos, em ambiente natural, continham em seu conteúdo estomacal estágios larvais de sua própria espécie (relação ecológica negativa intraespecífica).

A fecundação é externa, com indivíduos apresentando sexos separados em Mytiloida: machos apresentam coloração branca ou creme das gônadas e as fêmeas vermelho-alaranjado. Os principais pectínídeos de interesse comercial, como *Nodipecten nodosus*, são hermafroditas verdadeiros apresentando em um mesmo indivíduo gônada feminina (de cor alaranjada) e masculina (de coloração branca).

A desova geralmente é induzida por temperatura ou estresse ambiental. A gametogênese em bivalvos depende de vários fatores: tamanho do animal, temperatura da água e do alimento (HELM; BOURN, 2006). Várias espécies de pectínídeos podem acumular reservas no músculo e na glândula digestiva e posteriormente utilizá-la na maturação dos gametas (LODEIROS *et al.*, 2001). Durante a maturação dos gametas, algumas espécies apresentam maior necessidade de uma dieta alimentar rica em lipídios polinsaturados, fundamentais para uma boa produção de gametas e de larvas de qualidade (DUINKER *et al.*, 2008), pois o tecido gonádico é essencialmente lipídico.

Durante a fase de desenvolvimento larvar, bivalvos habitam o domínio planctônico como organismos meroplanctônicos. Esse estágio geralmente dura cerca de um mês, podendo ser abreviado ou estendido em função da temperatura do meio ambiente. Após a fertilização, em poucas horas o zigoto torna-se uma larva trocófora, livre natante; em seguida desenvolve-se o vélu (estrutura responsável pela respiração e alimentação da larva) e a concha rudimentar (sem umbo) - a larva véliger. Posteriormente desenvolvem-se as brânquias, o pé – larva pedivéliger. O último passo relaciona-se à metamorfose para que o animal possa habitar o domínio bentônico e relaciona-se à procura pelo substrato mais adequado para a fixação (HELM; BOURN, 2006).

## O mexilhão *Perna perna*

*Perna perna* é o mitilídeo que atinge o maior tamanho no litoral brasileiro. O maior espécime relatado foi encontrado no litoral de Santa Catarina e media 18,2cm de

comprimento, as demais espécies do gênero medem de 10-15cm. Mitilídeos podem viver até 9 anos em ambientes naturais, mas após o sexto ano a taxa de crescimento reduz-se drasticamente e aumenta o percentual de mortalidade (SUKHOTIN; PÖRTNER, 2001).

No bentos, bancos naturais de mexilhões fornecem substrato para fixação de inúmeros invertebrados e macroalgas (espaço secundário). No entanto, cracas e macroalgas são os principais competidores por espaço (ERLANDSSON *et al.*, 2005). Bivalvos frequentemente são predados por equinodermos (NORBERG; TEDENGREN, 1995), peixes, polvos e platelmintos (O'CONNOR; NEWMANN, 2003).

Encontram-se amplamente distribuídos no Oceano Atlântico sul, nas costas da África Ocidental (penetrando um pouco ao sul do Mar Mediterrâneo) e no leste da América do Sul. Fixam-se exclusivamente em substratos duros, naturais ou não, horizontais ou levemente inclinados em área sujeita à moderada ação hidrodinâmica. Ocorrem desde a região do médio litoral até a isóbata de 10 metros. Por serem bem adaptados para sobreviver às oscilações da maré (suas valvas fechadas retêm água com oxigênio suficiente até a subida da maré), formam populações muito densas nessa região, com até 20000 animais.m<sup>-2</sup> (FERREIRA; MAGALHÃES, 2004).

Devido, via de regra, ser abundante *P. perna* é considerada uma espécie importante na riqueza de comunidades bentônicas, pois atua modificando a natureza e a complexidade do substrato. Sua abundância apresentou correlação positiva com a riqueza de macrofauna bentônica, conforme relatado por BORTHAGARAY e CARRANZA (2007).

Considera-se *P. perna* como organismo euribionte: tolera salinidade com amplitudes de 19 a 49 e temperaturas de 5-30° C. Porém, o ótimo para seu desenvolvimento encontra-se entre 34-36 de salinidade e 21-28° C de temperatura.

Em experimentos laboratoriais (inteiramente controlados) RESGALLA-JR. *et al.* (2007) testaram a influência de variáveis bióticas e abióticas na fiseoecologia de para *P. perna*. Concluíram que o principal fator a afetar diretamente a capacidade respiratória foi a temperatura e para a eficiência na absorção de alimento foi a concentração de seston (total de material orgânico particulado vivo e não vivo). Dessa forma, as menores taxas de crescimento foram encontradas no verão, onde ocorria grande desgaste metabólico devido às temperaturas mais altas.

## A vieira *Nodipecten nodosus*

Dentre as espécies de bivalvos cultivadas, as vieiras são as que atingem maiores preços no mercado, as espécies mais cultivadas são: *Argopecten irradians*, *A. purpuratus*, *Patinopecten yessoensis* e *Pecten maximus*. No Brasil cultiva-se a espécie nativa *Nodipecten nodosus*, que é endêmica do Oceano Atlântico e ocorre do mar do Caribe até o litoral de Santa Catarina (MINCHIN, 2003).

RUPP e PARSONS (2004) relatam que a espécie é moderadamente euritêmica



(suporta entre 16-28°C) e estenoalina, não suportando salinidades inferiores à 30. O indivíduo adulto é menos tolerante às variações de temperatura e salinidade que as larvas e juvenis.

Pode ser encontrada de 10-100 metros de profundidade habitando substratos consolidados. Atinge comprimento máximo de 15cm, sendo o tamanho comercial de 5-6cm.

Essa espécie não suporta uma atividade extrativa intensa, pois naturalmente não forma populações numerosas. Em função dessa característica biológica, houve a necessidade de realizar a reprodução da espécie em laboratório (larvicultura), com desenvolvimento de tecnologia para produção em massa de sementes, e assim suprir a demanda por estes animais em cultivo (VELASCO *et al.*, 2007).

*N. nodosus* reproduz-se naturalmente uma vez ao ano (geralmente entre outubro e março), atingindo a maturidade sexual aos 6 meses. Mas, para a produção de sementes em escala industrial há a necessidade de induzir a desova: por temperatura, estresse físico ou com uso de hormônios (VELASCO; BARROS, 2007). Em laboratório as matrizes (animais adultos maturos sexualmente, mas com gônadas vazias) são submetidas à gradual elevação na temperatura e recebem alimentação rica em ácidos graxos (composição de variadas microalgas ou microalgas mais emulsão). Sob essas condições o animal pode tornar-se maturo em 77 dias. No entanto, em ambiente natural o desenvolvimento gonadal acontece mais rapidamente, embora as condições nutricionais sejam adversas (VELASCO; BARROS, *op cit.*). Tal fato é aparentemente contraditório, uma vez que a formação de gametas requer gasto energético. Porém, *N. nodosus* apresenta a capacidade de utilizar estoques energéticos localizados em sua glândula digestiva e em seu músculo adutor, redirecionando as substâncias de reserva (carboidratos) para a gametogênese (LODEIROS *et al.*, 2001).

No litoral do Rio de Janeiro, a espécie teve sua população extremamente reduzida, devido à captura indiscriminada. Atualmente o Projeto POMAR, do Instituto de Ecodesenvolvimento da Baía de Ilha Grande, além de produzir sementes para a maricultura, abastecendo vários estados brasileiros, também atua no repovoamento de *N. nodosus* no litoral sul-fluminense.

## 2.2 A macroalga carragenófito *Kappaphycus alvarezii*

A macroalga rodofíceo bentônica *Kappaphycus alvarezii* foi originalmente descrita como *Eucheuma alvarezii* por Doty (1985). Devido ao tipo de carragenana (*Kappa carragenana*) produzida, a espécie foi realocada no gênero *Kappaphycus* criado em 1988 (Doty 1988), pois as macroalgas do gênero *Eucheuma* produzem *lota carragenana*. Comercialmente, a macroalga é conhecida como *cottoni* e é a principal fonte de *kappa carragenana* para alimentar a demanda comercial internacional por este produto (HAYASHI *et al.*, 2011).

O aspecto macroscópico da macroalga apresenta talo ereto que pode chegar a 2

metros de comprimento, formato cilíndrico, muito ramificado (de maneira irregular) e com aspecto espinhoso. Fazendo-se uma seção transversal no talo observa-se a parte medular com células ricas em carragenana, com parede celular pobre em celulose (TRONO JR, 1992).

A macroalga pode exibir coloração castanha, avermelhada ou verde, em função da proporção em que estejam presentes os pigmentos utilizados na fotossíntese. Uma alga rodofíceia contém clorofila a como pigmento principal mais os pigmentos acessórios: ficoeritrina, xantofilas e carotenóides. A diferença na coloração reflete a composição de pigmentos fotossintéticos da macroalga e o pigmento que predomina em cada linhagem: predomínio de clorofila na linhagem verde, ficoeritrina na vermelha e carotenóides (zeaxantina e betacaroteno) na linhagem castanha (INDRIATMOKO *et al.*, 2015).

Em ambiente de cultivo, onde as condições são mais próximas ao ideal para a espécie, *K. alvarezii* cresce de maneira mais regular exibindo talo homogêneo. Em ambiente natural, em função da grande variação nas variáveis abióticas, pressão de herbivoria e competição com outros organismos (principalmente por luz), há grande variação na textura, formato e padrão de ramificação resultando numa plasticidade morfológica muito grande (deformações) para o talo da macroalga (TAN *et al.*, 2013).

*K. alvarezii* é nativa das Filipinas e desde a década de 1970 já foi introduzida em mais de 20 países (BINDU; LEVINE, 2011). Devido sua alta taxa de crescimento, seu crescimento vegetativo à partir de fragmentos e seu potencial para dispersão (esporos), a espécie é considerada com alto potencial invasivo, constituindo um perigo principalmente para ecossistemas de recifes de coral (KAMALAKANNAN *et al.*, 2014; CASTELAR *et al.*, 2009a).

No Brasil, a espécie foi introduzida intencionalmente em 1995 com finalidade de aquacultura e de maneira controlada, experimentalmente por pesquisadores da USP. Em 2008 o IBAMA autorizou o cultivo comercial na costa sudeste do Brasil, onde comprovadamente não ocorre a reprodução sexuada de *K. alvarezii* (CASTELAR *et al.*, 2009b; REIS *et al.*, 2007). Outro fator importante é o controle da população pela ação de herbívoros (principalmente tartarugas marinhas) e as condições ambientais subótimas (baixa temperatura e alta turbidez), que ajudam a conter o potencial invasivo. Dessa forma, para a região, a macroalga não oferece perigo de bioinvasão (SILVA *et al.*, 2010).

A espécie pode se reproduzir tanto sexuada quanto assexuadamente. A maneira assexuada dá-se pelo brotamento a partir de fragmentos do talo que se prendem a superfícies no fundo (crescimento vegetativo). A propagação vegetativa, em ambientes favoráveis (águas claras, ricas em nutrientes e quentes), favorece a dispersão, mas não a diversidade genética da espécie. A ação do hidrodinamismo quebrando fragmentos da alga pode se tornar um problema e levar à colonização de ambientes recifais vizinhos (KAMALAKANNAN *et al.*, 2014). O crescimento vegetativo é a forma utilizada em ambiente de cultivo (FADILAH *et al.*, 2016). A reprodução sexuada por formação de esporos possui

grande potencial de dispersão através das correntes marinhas (SELLERS *et al.*, 2015). A macroalga pode dobrar sua biomassa no período de 15-30 dias.

A macroalga *K. alvarezii* é um organismo fotoautotrófico, ou seja, sintetiza seu alimento a partir de nutrientes inorgânicos, usa o CO<sub>2</sub> dissolvido na água do mar como fonte de carbono e a luz como fonte de energia. A espécie apresenta a necessidade de altos níveis de luz e águas ricas em nutrientes (MUÑOZ *et al.*, 2004).

### 2.3 Bijupirá (*Rachycentron canadum*)

Foi descrito inicialmente por Linnaeus, em 1766, como *Gasterosteus canadus*. Pertence à classe dos peixes ósseos, cujas características principais são: possuir escamas dermais, nadadeiras suportadas por espinhos ósseos, opérculo cobrindo a câmara branquial em cada lado, esqueleto ósseo, boca terminal, nadadeira caudal homocerca. É a única espécie da família Rachycentridae. Foi definida como do gênero *Rachycentron* (Kaup, em 1826), palavra derivada do Grego: rhachis, -ios = espinho +kentron = picada. Possui diversas sinonímias: *Scomber niger* (Bloch, 1793), *Centronotus spinosus* (Mitchill, 1815), *Rachycentron typus* (Kaup, 1826), *Naucrates niger* e *Elacate motta* (Cuvier, 1829), entre outras. No Brasil é conhecido como Bijupirá, do Tupi-Guarani “o peixe de pele amarela” (BUENO, 1983 apud CAVALI; HAMILTON, 2009) também denominado beijupirá, ceixupirá, pirambijú e cação-de-escama (SHAFFER; NAKAMURA, 1989; HAMILTON *et al.*, 2013).

O animal apresenta primeira nadadeira dorsal composta por sete a nove espinhos curtos, geralmente oito, isolados e não conectados por membrana. A segunda nadadeira dorsal possui de 28 a 33 raios, sendo a anal similar à segunda dorsal (mas com 1-3 espinhos e 23-27 raios). A nadadeira caudal homocerca é truncada nos jovens e lunada nos adultos, com o lobo superior ligeiramente mais longo que o inferior. Possui um par de nadadeiras peitorais e um par de nadadeiras pélvicas. Não possui vesícula natatória (SHAEFFER; NAKAMURA, 1989).

Como todos os peixes perciformes, a cabeça é grande e achatada; com boca terminal grande e prognata, propiciando-lhe uma investida rápida e certa em suas presas. Sua maxila, mandíbula, palato e língua são revestidos por dentes viliformes, pequenos e numerosos. Presença de pré opérculo (CARPENTER; NIEM, 1999).

O formato do corpo é alongado e fusiforme revestido por pequenas escamas ctenóides profundamente inseridas na pele. Adulto pode chegar a medir 2 metros de comprimento, pesar em torno de 60 quilogramas e pode viver até 15 anos. Possui coloração críptica epipelágica: marrom escuro no dorso e nas laterais, com duas faixas longitudinais de coloração prata, bem definidas nos flancos. Na porção ventral, a coloração é clara, com nadadeiras escuras. As escamas são pequenas e profundamente implantadas na pele (CORIOLANO, COELHO, 2012; FIGUEIREDO e MENEZES 1980).

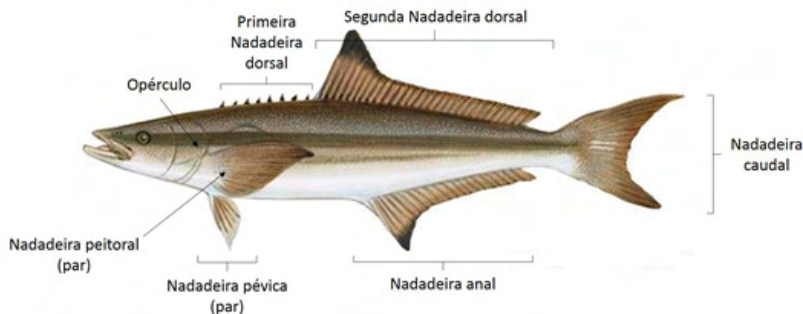


Figura 03: O peixe ósseo *Rachycentron canadum*. Modificada de Enciclopédia Britânica e disponível em <<https://www.britannica.com/animal/cobia>>.

É uma espécie epipelágica costeira e circuntropical, distribui-se por águas tropicais e subtropicais de todos os oceanos, exceto no leste do Pacífico (SHAFFER; NAKAMURA, 1989). Podem ser encontrados sobre fundos de lama, rochas, areia e cascalho, em ambientes de recife de corais e estuários, e ainda, próximos a naufrágios, plataformas e outros objetos de deriva. É uma espécie pouco encontrada no comércio devido à baixa captura por pesca. Exímio nadador, não possui vesícula natatória, o que o obriga a estar constantemente em movimento. Raramente forma cardumes, de dois a oito indivíduos (CAVALLI; HAMILTON, 2009). Podem ser encontrados em associação com raias, tartarugas e grandes peixes em águas oceânicas (KAISER; HOLT, 2005).

A amplitude de sua ocorrência é limitada pela temperatura: tolera águas entre 16 a 36° C, com preferência de temperaturas acima de 20° C. Seu padrão migratório está ligado à busca por temperaturas amenas. Bijupirás podem ser encontrados em águas com salinidades entre 22 à 44, ocorrendo em águas estuarinas e marinhas (BEZERRA *et al.*, 2020).

Em relação a sua reprodução, é uma espécie que desova preferencialmente na primavera e verão. Porém, existem estudos que concluíram que o animal realiza desovas múltiplas ou parceladas ao longo da temporada reprodutiva. Machos atingem a maturidade sexual em 1 ou 2 anos, as fêmeas aos 3 anos. Fêmeas podem liberar de 400 000 a 5 milhões de ovos (BEZERRA *et al.*, 2020). Em ambiente natural, temperatura e salinidade regulam a reprodução: 25°C e salinidades superiores à 27. A maturação sexual pode ser induzida em cativeiro com a utilização de hormônios (CAYLOR *et al.*, 1994 *apud* SAMPAIO *et al.*, 2010). Em cativeiro a desova é regulada pela temperatura e por fotoperíodo (> 28°C e 13 horas de luz) segundo SAMPAIO *et al.* (2010).

Os ovos e larvas são planctônicos. Ovos eclodem em torno de 24h após a fertilização à 28°C. As larvas recém eclodidas possuem 3,5 mm de comprimento e seu desenvolvimento se dá entre 28-32°C (SAMPAIO *et al.*, 2010). Já foram encontradas larvas de 1,5 centímetros a mais de 30 milhas da costa, evidenciando a migração para águas

abertas para reproduzir.

O bijupirá é um carnívoro oportunista, que se alimenta tanto de organismos nectônicos quanto bentônicos (CAVALLI; HAMILTON, 2009). Quando em regiões costeiras, alimenta-se de peixes menores, moluscos e crustáceos (demonstra preferência por portunídeos) (KAISER; HOLT, 2005). Em cativeiro são alimentados com ração ou *trash fish* (refugo de pesca).

A alimentação é fator determinante para o sucesso reprodutivo. A maturação gonadal, principalmente das fêmeas, depende de um suporte de alimento fresco e rico em gorduras insaturadas num período de 3 meses anterior à época reprodutiva (NHU *et al.*, 2011). Tal suporte alimentar objetiva que os ovócitos formados tenham qualidade e alcancem boas taxas de fecundação, eclosão e sobrevivência dando origem a larvas saudáveis (NGUYEN *et al.*, 2010).

### 3 | O LITORAL SUL FLUMINENSE - EM ESPECIAL A BAÍA DA ILHA GRANDE

O litoral sul fluminense abrange a região costeira dos municípios de Itaguaí, Mangaratiba, Angra dos Reis e Paraty. Em função da questão abordada neste trabalho - a maricultura sul fluminense que se concentra principalmente em Angra dos Reis - nossa área de estudos foi delimitada pela Baía da Ilha Grande (BIG). Conforme já visto na Figura 02, a maior parte das fazendas marinhas sul fluminenses se localizam em torno da Ilha Grande.

A Região Hidrográfica I abrange o sistema hídrico que deságua na baía da Ilha Grande (Figura 04), que banha os municípios de Angra dos Reis e Paraty, com uma área terrestre de captação de aproximadamente 2.350 km<sup>2</sup>. A parte marinha possui espelho d'água com 4.981 km<sup>2</sup>, pode ser classificada como uma enseada marinha semifechada, preenchida por uma miríade de pequenas ilhas, mas dominada fisiograficamente pela maior delas, a Ilha Grande que dá nome à baía (INEA, 2015; INEA, 2014).

A região da BIG é constituída por ecossistemas bem preservados, tanto terrestres (Mata Atlântica, Restingas, Manguezais) quanto marinhos, em grande parte protegidos pela presença de diversas Unidades de Conservação. Em relação ao uso do solo da região a maior parte é mata preservada (1.463km<sup>2</sup>), sendo a parte usada para pastagens e ocupação urbana reduzidas (138 e 35km<sup>2</sup>, respectivamente). Há presença marcante de diversas comunidades tradicionais: ribeirinhos, caiçaras, quilombolas e indígenas (INEA, 2015).

Dentre os serviços ecossistêmicos providos pela Baía da Ilha Grande, em especial pelos ecossistemas marinhos, destaca-se a Produção de alimento pela maricultura (caracterizada sua produção na introdução deste trabalho) (INEA, 2019).



2015).

Há marcada sazonalidade inverno/verão nas condições de estabilidade da coluna d'água. No inverno há mistura promovida pela ação hidrodinâmica, tornando a coluna d'água homogênea, com variação da temperatura oscilando entre 24-26°C. No verão a coluna d'água se mostra estável, com a formação de uma camada de mistura superficial (entre 0-15 metros) menos densa, com temperatura variando entre 24,4°C a 28,4°C; abaixo dessa camada a presença de águas mais densas junto ao fundo, mais frias devido à mistura com a ACAS (que se aproxima mais da costa no verão, quando o vento frontais empurram as águas superficiais e permitem sua intrusão em isóbatas mais rasas) (IKEDA; SVENSSON, 1992 *apud* INEA, 2015).

O presente trabalho mensurou a variação de: temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e turbidez na água do mar no entorno da fazenda marinha localizada na enseada do Bananal (Angra dos Reis/RJ) para verificar se os parâmetros físico-químicos mantiveram-se dentro da faixa ótima para os organismos cultivados na região. Utilizou-se sonda multiparâmetros Alfacit (AT-1100). Em cada coleta foram realizadas 8 medições (a cada 3 horas, durante um ciclo de 24h; cada medição com 8 repetições), em perfis ao longo da coluna d'água (superfície, meio e fundo); como a coluna d'água tinha apenas 12 metros na prática observou-se apenas variação entre superfície e fundo. Usou-se o programa PYTHON versão 3.10.0 para analisar os dados.

Durante situação de Verão (Tabela 01) a salinidade média mensurada foi 35,41 (superfície) e 36,18 (fundo). Essa pequena variação encontrada entre superfície e fundo justifica-se pela coluna d'água na região da fazenda ser rasa e, portanto, estar completamente inserida na camada de mistura relatada para a região da BIG. A menor medição de salinidade (33,67) foi encontrada junto à superfície, sob intensas chuvas de verão no perfil 8 realizado pela manhã; para esse perfil a salinidade média foi 35,13.

### Verão na Enseada do Bananal, Ilha Grande (RJ)

| Salinidade                                |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |                   |       |
|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------|
|                                           | Perfil 1<br>(14h) | Perfil 2<br>(17h) | Perfil 3<br>(20h) | Perfil 4<br>(23h) | Perfil 5<br>(2h) | Perfil 6<br>(5h) | Perfil 7<br>(8h) | Perfil 8<br>(11h) | Média |
| Superfície                                | 34,62             | 35,49             | 35,34             | 35,37             | 35,46            | 35,59            | 35,45            | 35,13             | 35,41 |
| Fundo                                     | 36,1              | 36,13             | 35,84             | 36,17             | 36,19            | 36,54            | 36,5             | 36,3              | 36,18 |
| Temperatura (°C)                          |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |                   |       |
|                                           | Perfil 1<br>(14h) | Perfil 2<br>(17h) | Perfil 3<br>(20h) | Perfil 4<br>(23h) | Perfil 5<br>(2h) | Perfil 6<br>(5h) | Perfil 7<br>(8h) | Perfil 8<br>(11h) | Média |
| Superfície                                | 28,24             | 28,00             | 27,91             | 27,95             | 27,96            | 27,55            | 27,72            | 27,86             | 27,93 |
| Fundo                                     | 27,92             | 27,77             | 27,85             | 27,62             | 27,74            | 27,35            | 27,43            | 27,58             | 27,66 |
| Oxigênio Dissolvido (mg.l <sup>-1</sup> ) |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |                   |       |
|                                           | Perfil 1<br>(13h) | Perfil 2<br>(16h) | Perfil 3<br>(19h) | Perfil 4<br>(22h) | Perfil 5<br>(1h) | Perfil 6<br>(4h) | Perfil 7<br>(7h) | Perfil 8<br>(10h) | Média |
| Superfície                                | 5,23              | 5,41              | 4,98              | 4,97              | 4,7              | 4,67             | 4,49             | 4,6               | 4,84  |
| Fundo                                     | 5,22              | 5,09              | 4,99              | 4,91              | 4,52             | 4,63             | 4,47             | 4,37              | 4,77  |
| pH                                        |                   |                   |                   |                   |                  |                  |                  |                   |       |
|                                           | Perfil 1<br>(13h) | Perfil 2<br>(16h) | Perfil 3<br>(19h) | Perfil 4<br>(22h) | Perfil 5<br>(1h) | Perfil 6<br>(4h) | Perfil 7<br>(7h) | Perfil 8<br>(10h) | Média |
| Superfície                                | 8,11              | 8,14              | 8,13              | 8,13              | 8,13             | 8,13             | 8,13             | 8,13              | 8,13  |
| Fundo                                     | 8,11              | 8,13              | 8,12              | 8,12              | 8,11             | 8,12             | 8,13             | 8,13              | 8,12  |

Tabela 01. Valores médios dos parâmetros abióticos (Salinidade, Temperatura, Oxigênio Dissolvido e pH) mensurados no entorno de fazenda marinha, localizada na Enseada do Bananal, Ilha Grande, Angra dos Reis (RJ) durante situação de verão.

Fonte dos dados: Autores.

No Verão foi mensurada a maior temperatura encontrada 28,29° C (máxima, na superfície), no perfil realizado às 14h que apresentou valor médio de 28,24° C. Em média, a Temperatura na superfície foi 27,93°C e no fundo 27,66°C (Tabela 01). Aqui vale o mesmo raciocínio em relação à camada de mistura para justificar a homogeneidade neste parâmetro: para a região da BIG, durante o verão, são encontradas águas mais frias em profundidades abaixo de 15 metros (denotando a influência da ACAS). Tal fato não foi observado devido à coluna d'água analisada ser rasa e estar portanto dentro da camada de mistura.

Em relação ao Oxigênio Dissolvido durante a situação de verão não foi observada nenhuma condição de redução na disponibilidade deste parâmetro. Em todos os perfis, em todas as profundidades, as águas permaneceram bem oxigenadas, apresentando valores médios de 4,84 mg OD.l<sup>-1</sup> (superfície) e 4,77 mg OD.l<sup>-1</sup> (fundo) conforme visto na Tabela 01. O pH permaneceu levemente alcalino em todos os perfis e profundidades, conforme esperado para água do mar, com valores médios de 8,13 na superfície e 8,12 no fundo.



## Inverno na Enseada do Bananal, Ilha Grande (RJ)

| Salinidade                                |                   |                  |                  |                  |       |
|-------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
|                                           | Perfil 1<br>(01h) | Perfil 2<br>(4h) | Perfil 3<br>(7h) | Perfil 4<br>(9h) | Média |
| Superfície                                | 35,3              | 35,36            | 35,39            | 35,19            | 35,33 |
| Fundo                                     | 35,17             | 35,67            | 35,67            | 35,49            | 35,58 |
| Temperatura (°C)                          |                   |                  |                  |                  |       |
|                                           | Perfil 1<br>(01h) | Perfil 2<br>(4h) | Perfil 3<br>(7h) | Perfil 4<br>(9h) | Média |
| Superfície                                | 25,31             | 24,57            | 24,63            | 25,09            | 24,86 |
| Fundo                                     | 24,39             | 23,24            | 23,87            | 24,3             | 24,09 |
| Oxigênio Dissolvido (mg.l <sup>-1</sup> ) |                   |                  |                  |                  |       |
|                                           | Perfil 1<br>(01h) | Perfil 2<br>(4h) | Perfil 3<br>(7h) | Perfil 4<br>(9h) | Média |
| Superfície                                | 6,29              | 6,13             | 6,21             | 6,32             | 6,25  |
| Fundo                                     | 6,45              | 5,98             | 6,26             | 6,57             | 6,36  |
| pH                                        |                   |                  |                  |                  |       |
|                                           | Perfil 1<br>(01h) | Perfil 2<br>(4h) | Perfil 3<br>(7h) | Perfil 4<br>(9h) | Média |
| Superfície                                | 8,13              | 8,13             | 8,13             | 8,13             | 8,13  |
| Fundo                                     | 8,11              | 8,12             | 8,13             | 8,13             | 8,13  |

Tabela 02. Valores médios dos parâmetros abióticos (Salinidade, Temperatura, Oxigênio Dissolvido e pH) mensurados no entorno de fazenda marinha, localizada na Enseada do Bananal, Ilha Grande, Angra dos Reis (RJ) durante situação de inverno. Metade dos perfis foram perdidos.

Fonte dos dados: Autores.

Conforme pode ser observado na Tabela 02 a coluna d'água apresentou-se muito homogênea durante o inverno para todos os parâmetros mensurados (considerando-se os perfis e as profundidades). A Salinidade média na superfície foi 35,33 e no fundo 35,58. A coluna d'água esteve praticamente isotérmica em todos os perfis (Figura 06), com Temperatura média de 24,86°C na superfície e 24,09 °C no fundo. As concentrações de Oxigênio dissolvido médias foram 6,25 mg OD.l<sup>-1</sup> (superfície) e 6,36 mg OD.l<sup>-1</sup> (fundo). O pH foi levemente alcalino 8,13 (superfície e fundo). Tal situação configura-se como o esperado para uma coluna d'água rasa e bem misturada durante o inverno na BIG.

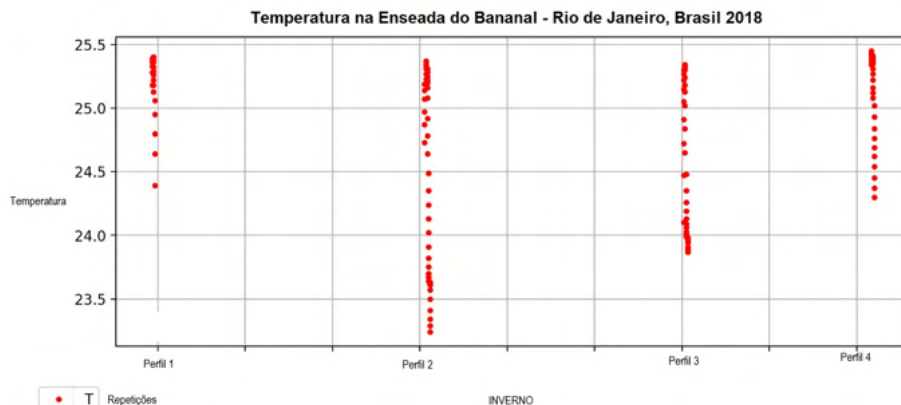


Figura 06. Perfis de Temperatura no entorno de fazenda marinha, em situação de inverno.

## 4 | CONCLUSÕES

Os parâmetros de temperatura e salinidade foram coerentes com a Água Tropical do Atlântico Sul que banha a região da Baía da Ilha Grande, ao largo. Não observou-se nenhuma situação de redução ou depleção nos teores de oxigênio dissolvido. O pH permaneceu levemente alcalino, como esperado para a água do mar. A turbidez foi baixa, garantindo luz para as macroalgas. Os parâmetros mensurados permaneceram dentro do ótimo para as espécies de moluscos bivalvos, da macroalga *K. alvarezii* e do bijupirá cultivados na fazenda marinha, confirmando a aptidão da região para o desenvolvimento da maricultura.

## REFERÊNCIAS

- ALFARO, A., (2021). **Evidence of cannibalism and benthic-pelagic coupling within the life cycle of the mussel, *Perna canaliculus*.** [online] sciencedirect. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.09.002>> [Acessado em 11 Agosto 2021].
- BENNINGER, P. J., ST-JEAN, S. D. (1997). **Particle processing on the labial palps of *Mytilus edulis* and *Placopecten magellanicus* (Mollusca: Bivalvia) on JSTOR.** [online] Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/24857350>> [Acessado em 11 Agosto 2021].
- BEZERRA, T. R.Q., DOMINGUES, E. C., HAMILTON, S. E CAVALLI, R. O. (2020). **DESENVOLVIMENTO GONADAL DO BEIJUPIRÁ, *Rachycentron canadum*, CRIADO EM MAR ABERTO EM PERNAMBUCO.** Rev. Bras. Eng. Pesca 13: 2020. Disponível em <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/view/1889/1679>
- BINDU, M. S.; LEVINE, I. A. (2011). **The commercial red seaweed *Kappaphycus alvarezii*—an overview on farming and environment.** Journal of Applied Phycology, [s.l.], v. 23, no 4, p. 789–796, 2011. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-010-9570-2>
- BORTHAGARAY, A. I. AND CARRANZA, A., (2007). **Mussels as ecosystem engineers: Their contribution to species richness in a rocky littoral community.** [online] Doi.org. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.actao.2006.10.008>> [Acessado em 11 Agosto 2021].

BUONOCORE, E. et al. (2021). **Trends and Evolution in the Concept of Marine Ecosystem Services: An Overview.** *Water*, v. 13, n. 15, p. 2060, 29 jul. 2021. Disponível em <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/15/2060/html>

CARVALHO FILHO, J., (2006). **As Maravilhosas Vieiras da Ilha Grande.** Revista Panorama da Aqüicultura. [online] Revista Panorama da Aqüicultura. Disponível em: <<https://panoramadaaquicultura.com.br/as-maravilhosas-vieiras-da-ilha-grande/>> [Acessado em 11 Setembro 2021].

CASTELAR, B., PERPETUO REIS, R. AND BASTOS, M., (2009). **Contribuição ao protocolo de monitoramento ambiental da maricultura de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P.C. Silva (Areschougaceae - Rhodophyta) na baía de Sepetiba, RJ, Brasil.** [online] scielo brasil. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000300001>> [Acessado em 11 Setembro 2021].

CASTELAR, B., PERPETUO REIS, R., LUÍSA MOURA, A., KIRK, R., (2009). **Invasive potential of *Kappaphycus alvarezii* off the south coast of Rio de Janeiro state, Brazil: A contribution to environmentally secure cultivation in the tropics.** [online] degruyter. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228458567\\_Invasive\\_potential\\_of\\_Kappaphycus\\_alvarezii\\_off\\_the\\_south\\_coast\\_of\\_Rio\\_de\\_Janeiro\\_state\\_Brazil\\_A\\_contribution\\_to\\_environmentally\\_secure\\_cultivation\\_in\\_the\\_tropics](https://www.researchgate.net/publication/228458567_Invasive_potential_of_Kappaphycus_alvarezii_off_the_south_coast_of_Rio_de_Janeiro_state_Brazil_A_contribution_to_environmentally_secure_cultivation_in_the_tropics)> [Acessado em 11 Outubro 2021].

CARPENTER, K. E. ; NIEM, V. H. (1999). **FAO Species Identification Guide for Fisheries Purposes.** Vol 6. Disponível em <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20023038357>

CAVALLI, R.O; HAMILTON, S. (2009) **Piscicultura marinha no Brasil com ênfase na produção do beijupirá.** Revista Brasileira de Reprodução Animal Suplemento, v. 6, n. 2007, p. 64–69, 2009. Disponível em <https://www.bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/revista-brasileira-de-reproducao-animal/2009-Supl.-6/piscicultura-marinha-no-brasil-com-enfase-na-producao-do-beijupira/>

COELHO, L. C. B. B.. (2012). **Cobia (*Rachycentron canadum*): a marine fish native to Brazil with biological characteristics to captive environment.** [online] Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/275354971\\_Cobia\\_Rachycentron\\_canadum\\_a\\_marine\\_fish\\_native\\_to\\_Brazil\\_with\\_biological\\_characteristics\\_to\\_captive\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/275354971_Cobia_Rachycentron_canadum_a_marine_fish_native_to_Brazil_with_biological_characteristics_to_captive_environment)> [Acessado em 11 Novembro 2021].

DUINKER, A., HÅLAND, L., HOVGAAARD, P., MORTENSEN, S. (2008). **Gonad development and spawning in one and two year old mussels (*Mytilus edulis*) from Western Norway.** [online] Cambridge. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0025315408002130>> [Acessado em 11 Setembro 2021].

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO (1995). **CODE OF CONDUCT FOR RESPONSIBLE FISHERIES.** [online] Fao.org. Disponível em: <<https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0805e/documents/Code%20of%20Conduct%20for%20Responsible%20Fisheries.pdf>> [Acessado em 11 Outubro 2021].

FAO (2018). **Achieving Blue Growth - Building Vibrant Fisheries and Aquaculture Communities.** [online] Fao.org. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/ca0268en/CA0268EN.pdf>> [Acessado em 11 Setembro 2021].

FAO (2020). **The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA).** [online] Fao.org. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>> [Acessado em 11 Outubro 2021].

ERLANDSSON, J., MCQUAID, C. D., KOSTYLEV, V. E. (2005). **Contrasting spatial heterogeneity of sessile organisms within mussel (*Perna perna* L.) beds in relation to topographic variability.** Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 314, p. 79 – 97 Disponível em <http://ecopractor.com/Publications/Erlandsson%20McQuaid%20Kostylev%202005.pdf> [Acessado em 11 Novembro 2021].

FADILAH, S. et al. (2016). **Growth, Morphology and Growth Related Hormone Level in *Kappaphycus alvarezii* Produced by Mass Selection in Gorontalo Waters, Indonesia.** HAYATI Journal of Biosciences, [s.l.], v. 23, no 1, p. 29–34, 2016. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1978301916303990> [Acessado em 11 Novembro 2021].

FERREIRA, J. F.; MAGALHÃES, A. R. M. (2004). **Cultivo de mexilhões.** In. Aqüicultura - experiências brasileiras. Florianópolis: Multitarefa. 2004. Disponível em <https://docplayer.com.br/21320003-Cultivo-de-mexilhoes-jaime-fernando-ferreira-dr-aime-rachel-magenta-magalhaes-dra-instrucoes-e-ajuda-pg-inicial.html> [Acessado em 11 Novembro 2021].

FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES, N. A. (2015). **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil**, n. June, 2015. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/285464283\\_Manual\\_de\\_peixes\\_marinhos\\_do\\_Sudeste\\_do\\_Brasil\\_II\\_Museu\\_Zoololgia\\_da\\_USP\\_Sao\\_Paulo](https://www.researchgate.net/publication/285464283_Manual_de_peixes_marinhos_do_Sudeste_do_Brasil_II_Museu_Zoololgia_da_USP_Sao_Paulo) [Acessado em 11 Novembro 2021].

FUNDAÇÃO INSTITUTO PESCA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIPERJ (2018). **Relatório anual 2017.** Disponível em [http://www.fiperj.rj.gov.br/fiperj\\_imagens/arquivos/revistarelatorios2017.pdf](http://www.fiperj.rj.gov.br/fiperj_imagens/arquivos/revistarelatorios2017.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

FIPERJ (2021). **Boletim Informativo sobre os Dados de Produção da Maricultura no Município de Angra dos Reis.** Disponível em <http://www.fiperj.rj.gov.br/index.php/publicacao/index/4> [Acessado em 11 Novembro 2021].

GALLARDI, D. (2014) . **Effects of Bivalve Aquaculture on the Environment and Their Possible Mitigation: A Review.** Fish Aquac J 2014, 5:3. Disponível [https://www.researchgate.net/publication/267749929\\_Effects\\_of\\_bivalve\\_aquaculture\\_on\\_the\\_environment\\_and\\_their\\_possible\\_mitigation\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/267749929_Effects_of_bivalve_aquaculture_on_the_environment_and_their_possible_mitigation_a_review) [Acessado em 11 Novembro 2021].

HAMILTON, S.; SEVERI, W.; CAVALLI, R. O. (2013). **Biologia e aquicultura do beijupirá: Uma revisão.** Boletim do Instituto de Pesca, v. 39, n. 4, p. 461–477, 2013. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/261251715\\_BIOLOGIA\\_E\\_AQUICULTURA\\_DO\\_BEIJUPIRA\\_UMA\\_REVISAO](https://www.researchgate.net/publication/261251715_BIOLOGIA_E_AQUICULTURA_DO_BEIJUPIRA_UMA_REVISAO) [Acessado em 11 Novembro 2021].

HAYASHI, L., SANTOS, A. A., FARIA, G. S. M., NUNES, B. G., SOUZA, M. S., A. L. D., BARRETO, P. L. M., OLIVEIRA, E. C., BOUZON, Z. L. (2011). ***Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschougaceae) cultivated in subtropical waters in Southern Brazil.** J Appl Phycol (2011) 23:337–343. Disponível em <https://biogeoqmar.paginas.ufsc.br/files/2017/07/Hayshi-et-al-2011.pdf> [Acessado em 11 Novembro 2021].

HELM, M. M.; BOURNE, N. (2006). **Cultivo de bivalvos en criadero: un manual práctico.** The Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, Rome: FAO. 2006. Disponível em <https://www.fao.org/3/y5720s/y5720s00.htm> [Acessado em 11 Novembro 2021].

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE - IBAMA (2006) **INSTRUÇÃO NORMATIVA IBAMA Nº 105, DE 20 DE JULHO DE 2006.** Disponível em [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao\\_normativa/2006/in\\_ibama\\_105\\_2006\\_defesomexilhoes\\_se\\_s\\_revoga\\_p\\_ibama\\_9\\_2003\\_retificada.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2006/in_ibama_105_2006_defesomexilhoes_se_s_revoga_p_ibama_9_2003_retificada.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2020a). **Informativo com Dados da Pecuária Municipal 2020.** Disponível em [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2020\\_v48\\_br\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2020_v48_br_informativo.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

IBGE (2020b). **Pesquisa Pecuária Municipal 2020: Quantidade Produzida na Aquicultura, segundo Produtos (Quilogramas).** Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2020> [Acessado em 11 Novembro 2021].

IBGE (2020c). **Produção da Aquicultura por tipo de produto, por unidade da federação.** Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado> [Acessado em 11 Novembro 2021].

IBGE (2020d). **Produção da aquicultura por tipo de produto: Ostras, vieiras e mexilhões.** Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado> [Acessado em 11 Novembro 2021].

IBGE (2020e). **Produção da aquicultura por tipo de produto e por município.** Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado> [Acessado em 11 Novembro 2021].

INDRIATMOKO, H., LEENAWATY, L., TATAS, H. P. B. (2015). **Composition of Photosynthetic Pigments in a Red Alga *Kappaphycus Alvarezii* Cultivated in Different Depths.** *Procedia Chemistry*, [s.l.], v. 14, p. 193–201, 2015. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619615000297> [Acessado em 11 Novembro 2021].

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA (2014). **Projeto BIG.** Boletim Águas & Territórios. Nº 6. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zeww/mdcz/~edis/inea0073741.pdf> [Acessado em 11 Novembro 2021].

INEA (2015). **DIAGNÓSTICO DO SETOR COSTEIRO DA BAÍA DA ILHA GRANDE SUBSÍDIOS À ELABORAÇÃO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO COSTEIRO VOLUME I.** Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zeww/mdcz/~edis/inea0073532.pdf> [Acessado em 11 Novembro 2021].

INEA (2019). **Iniciativa BIG 2050.** Disponível em [http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Livro\\_Big\\_2050-1.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Livro_Big_2050-1.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

INGLIS, G.J., HAYDEN, B.J., ROSS, A.H. (2000). **An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture.** NIWA Client Report; CHC00/69 Project No. MFE00505. Christchurch, New Zealand, National Institute of Water and Atmospheric Research, Ltd. 31 pp. Disponível em <https://www.protectourshoreline.org/articles/CarryCapacityNZMussels.pdf> [Acessado em 11 Novembro 2021].

INSTITUTE OCEANOGRAPHY COMMISSION - COI (2020). **The Science We Need for the Ocean We Want - United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development.** Disponível em <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265198/PDF/265198eng.pdf.multi> [Acessado em 11 Novembro 2021].

KAMALAKANNAN, B. et al. (2014) **Impact of removal of invasive species *Kappaphycus alvarezii* from coral reef ecosystem in Gulf of Mannar, India.** *Rev. biol. trop.*, v. 58, n. 1, p. 33–50, 2014. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/275653162\\_Impact\\_of\\_removal\\_of\\_invasive\\_species\\_Kappaphycus\\_alvarezii\\_from\\_coral\\_reef\\_ecosystem\\_in\\_Gulf\\_of\\_Mannar\\_India](https://www.researchgate.net/publication/275653162_Impact_of_removal_of_invasive_species_Kappaphycus_alvarezii_from_coral_reef_ecosystem_in_Gulf_of_Mannar_India) [Acessado em 11 Novembro 2021].

LEAL, J. H. (2006). **Bivalves.** p. 25-54. Disponível em <https://www.fao.org/3/y4160e/y4160e04.pdf> [Acessado em 11 Novembro 2021].

LODEIROS, C. J., J. J. RENGEL, GUDERLAY, H. E., NUSETTI, O., HIMELMANN, J. H. (2001). **Biochemical composition and energy allocation in the tropical scallop *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* during the months leading up to and following the development of gonads.** *Aquaculture* Volume 199, Issues 1–2, 16 July 2001, Pages 63-72. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848601005051> [Acessado em 11 Novembro 2021].

LODEIROS, C. J.; RENGEL, J. J.; FREITES, L.; MORALES, F.; HIMMELMAN, J. H. (1998). **Growth and survival of the tropical scallop *Lyropecten Nodipecten* nodosus maintained in suspended culture at three depths.** *Aquaculture*, v. 165, p. 41–50, 1998. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/248340734\\_Growth\\_and\\_survival\\_of\\_the\\_tropical\\_scallop\\_Lyropecten\\_Nodipecten\\_nodosus\\_maintained\\_in\\_suspended\\_culture\\_at\\_three\\_depths](https://www.researchgate.net/publication/248340734_Growth_and_survival_of_the_tropical_scallop_Lyropecten_Nodipecten_nodosus_maintained_in_suspended_culture_at_three_depths) [Acessado em 11 Novembro 2021].

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA (2020). **AQUICULTURA COM SANIDADE PROGRAMA NACIONAL DE SANIDADE DE ANIMAIS AQUÁTICOS DE CULTIVO - Manual orientado aos produtores**. Brasília, 1ª edição. Disponível em [https://www.iagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Manual\\_12957123\\_CAQ\\_Produtores\\_FINAL.pdf](https://www.iagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Manual_12957123_CAQ_Produtores_FINAL.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

MINCHIN, D. (2003). **Introductions: some biological and ecological characteristics of scallops**. *Aquat. Living Resour.* 16 (2003) 521-532. Disponível em <https://www.alr-journal.org/articles/alr/abs/2003/06/alr3005/alr3005.html> [Acessado em 11 Novembro 2021].

MORENO, L. T. (2018). **A “NOVA” AQUICULTURA BRASILEIRA: MAIS UMA FRENTE DE EXPANSÃO DO AGROHIDRONEGÓCIO**. *Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais (UEG)*. V.7, N.4, p.102-120, Dez., 2018. Disponível em <https://www.revista.ueg.br/index.php/sapiencia/article/view/8174/6389> [Acessado em 11 Novembro 2021].

MOSCHEN, F. V. A. (2007). **Análise tecnológica e sócio-econômica do cultivo de moluscos bivalves em sistema familiar na baía da Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ**. iv, 113 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2007. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144132/000540833.pdf?sequence=1> [Acessado em 11 Novembro 2021].

MUÑOZ, J.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; ROBLEDO, D. (2004). **Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of Yucatán, México**. *Aquaculture*, [s.l.], v. 239, no 1-4, p. 161-177, 2004. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848604003618> [Acessado em 11 Novembro 2021].

NARCHI, W., GALVÃO BUENO, M. S. (1997.) **ANATOMIA FUNCIONAL DE *PERNA PERNA* (LINNÉ) (BIVALVIA, MYTILIDAE)**. *Revista brasileira de Zoologia*. 14 (1): 135 -168,1997. Disponível em <https://www.scielo.br/rbzoool/a/WZjTdWKNwQZfRgSWv69yDTd/?lang=pt&format=pdf> [Acessado em 11 Novembro 2021].

NGUYEN, Q.H.; TRAN, T.M.; REINERTSEN, H.; KJORSVIK, E.(2010). **Effects of dietary essential fatty acids levels on broodstock spawning performance and egg fatty acid composition of cobia, *Rachycentron canadum***. *Journal world Aquaculture Society*, 41 (5): 687 – 689, 2010. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/263763765\\_Effects\\_of\\_Dietary\\_Essential\\_Fatty\\_Acid\\_Levels\\_on\\_Broodstock\\_Spawning\\_Performance\\_and\\_Egg\\_Fatty\\_Acid\\_Composition\\_of\\_Cobia\\_Rachycentron\\_canadum](https://www.researchgate.net/publication/263763765_Effects_of_Dietary_Essential_Fatty_Acid_Levels_on_Broodstock_Spawning_Performance_and_Egg_Fatty_Acid_Composition_of_Cobia_Rachycentron_canadum) [Acessado em 11 Novembro 2021].

NHU, V. C. et al. **Cobia *Rachycentron canadum* aquaculture in Vietnam: Recent developments and prospects**. *Aquaculture*, v. 315, n. 1-2, p. 20-25, 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848610004461> [Acessado em 11 Novembro 2021].

NORBERG, J., TEDENGREN, M. (1995). **Attack behaviour and predatory success of *Asterias rubens* L. related to differences in size and morphology of the prey mussel *Mytilus edulis* L.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 186, Issue 2, 31 March 1995, Pages 207-220. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002209819400158A> [Acessado em 11 Novembro 2021].

O'CONNOR, W. A., NEWMANN, L. J. (2003). **Predation of Cultured Mussels, *Mytilus galloprovincialis*, by Stylochid Flatworms, *Imogine mcgrathi*, from Twofold Bay, New South Wales, Australia**. *Asian Fisheries Science*, vol. 16, p. 133-140. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/287656406\\_Predation\\_of\\_Cultured\\_Mussels\\_Mytilus\\_galloprovincialis\\_by\\_Stylochid\\_Flatworms\\_Imogine\\_mcgrathi\\_from\\_Twofold\\_Bay\\_New\\_South\\_Wales\\_Australia](https://www.researchgate.net/publication/287656406_Predation_of_Cultured_Mussels_Mytilus_galloprovincialis_by_Stylochid_Flatworms_Imogine_mcgrathi_from_Twofold_Bay_New_South_Wales_Australia) [Acessado em 11 Novembro 2021].

OGILVIE, S. C.; ROSS, A. H.; SCHIE, D. R. (2000). **Phytoplankton biomass associated with mussel farms in Beatrix Bay, New Zealand**. *Aquaculture*, v. 181, p. 71-80, 2000. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848699002197> [Acessado em 11 Novembro 2021].

REIS, R. P., BASTOS, M., GOES, H. G. (2007). **Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro: subsídios ao monitoramento ambiental da produção em escala industrial.** Panorama da AQUICULTURA, janeiro/fevereiro, p. 42-47. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/263572619\\_Cultivo\\_de\\_Kappaphycus\\_alvarezii\\_no\\_litoral\\_do\\_Rio\\_de\\_Janeiro\\_subsídios\\_ao\\_monitoramento\\_ambiental\\_da\\_producao\\_em\\_escala\\_industrial](https://www.researchgate.net/publication/263572619_Cultivo_de_Kappaphycus_alvarezii_no_litoral_do_Rio_de_Janeiro_subsídios_ao_monitoramento_ambiental_da_producao_em_escala_industrial) [Acessado em 11 Novembro 2021].

RESGALLA, C.; BRASIL, E. S.; SALOMÃO, L. C. (2007). **The effect of temperature and salinity on the physiological rates of the mussel *Perna perna* (Linnaeus 1758).** Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 50, n. 3, p. 543–556, 2007. Disponível em <https://www.scielo.br/j/babt/a/ZTVTJ44wG89VTmJW44Czk9t/?lang=en> [Acessado em 11 Novembro 2021].

**RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005.** Disponível em [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

**RESOLUÇÃO CONAMA Nº 413, DE 26 DE JUNHO DE 2009.** Disponível em [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2009/RES\\_CONAMA\\_N413\\_2009.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2009/RES_CONAMA_N413_2009.pdf). [Acessado em 11 Novembro 2021].

ROMBENSO, A. N., ARAÚJO, A., RODRIGUES, R. V. (2016). **A promissora maricultura da baía da Ilha Grande.** Panorama da Aquicultura, p. 34-41. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/292970108\\_A\\_Promissora\\_Maricultura\\_da\\_Baia\\_da\\_Ilha\\_Grande](https://www.researchgate.net/publication/292970108_A_Promissora_Maricultura_da_Baia_da_Ilha_Grande) [Acessado em 11 Novembro 2021].

ROMBENSO, A. N., LISBOA, V. & SAMPAIO L. A. (2014). **Promovendo a maricultura no Rio de Janeiro – Sudeste do Brasil.** INFOESCA Internacional - Nº 56. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/265844392\\_Promovendo\\_a\\_maricultura\\_no\\_Rio\\_de\\_Janeiro\\_-\\_Sudeste\\_do\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/265844392_Promovendo_a_maricultura_no_Rio_de_Janeiro_-_Sudeste_do_Brasil) [Acessado em 11 Novembro 2021].

RUPP, G. S.; PARSONS, G. J. (2006). **Scallop aquaculture and fisheries in Brazil. Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture**, v. 35, n. Narvarte 1995, p. 1225–1250, 2006. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167930906800529> [Acessado em 11 Novembro 2021].

SAMPAIO, L.A.; TESSER, M.B.; JÚNIOR, W.W. (2010) **Advances in mariculture on the first decade of the XXI century: Marine fish and shrimp culture.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, n. SUPPL. 1, p. 102–111, 2010. Disponível em <https://www.rbz.org.br/article/advances-in-mariculture-on-the-first-decade-of-the-xxi-century-marine-fish-and-shrimp-culture/> [Acessado em 11 Novembro 2021].

SELLERS, A. J., SALTONSTALL, K., DAVIDSON, T. M. (2015). **The introduced alga *Kappaphycus alvarezii* (Doty ex P.C. Silva, 1996) in abandoned cultivation sites in Bocas del Toro, Panama.** BioInvasions Records (2015) Volume 4, Issue 1: 1–7 . Disponível em [https://www.reabic.net/journals/bir/2015/1/BIR\\_2015\\_Sellers\\_et\\_al.pdf](https://www.reabic.net/journals/bir/2015/1/BIR_2015_Sellers_et_al.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

SILVA, B. N. T., AMANCIO, C. E., OLIVEIRA FILHO, E.C. (2010). **EXOTIC MARINE MACROALGAE ON THE BRAZILIAN COAST: A REVISION (2010).** Oecologia Australis 14(2): 403-414, Junho 2010. Disponível em <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/download/7089/5673> [Acessado em 11 Novembro 2021].

SIQUEIRA, T. V. (2017). **AQUICULTURA: A NOVA FRONTEIRA PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO MUNDIAL DE ALIMENTOS DE FORMA SUSTENTÁVEL.** boletim regional, urbano e ambiental | 17 | jul.-dez. 2017 . Disponível em [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8142/1/BRU\\_n17\\_Aquicultura.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8142/1/BRU_n17_Aquicultura.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].



SHAFFER, R V; NAKAMURA, E L. (1989). **Synopsis of biological data on the cobia *Rachycentron canadum* pisces: Rachycentridae**. FAO Fisheries Synop. , vol. 153. U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., USA, v. p, n. December, p. 21, 1989. Disponível em <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016024297> [Acessado em 11 Novembro 2021].

SUKHOTIN A. A.; PÖRTNER, H.-O. (2001). **Age-dependence of metabolism in mussels *Mytilus edulis* (L.) from the White Sea**. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, v. 257, p. 53–72, 2001. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11165299/> [Acessado em 11 Novembro 2021].

SUPLICY, F. M. (2019). **Plano Estratégico para o Desenvolvimento Sustentável da Maricultura Catarinense (2018-2028)**. Disponível em [https://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_epagri/Cedap/Publicacao-Seriada/15-Publicacao-seriada-maricultura-gestao.pdf](https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Cedap/Publicacao-Seriada/15-Publicacao-seriada-maricultura-gestao.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

TAN, J.; LIM, P.-E.; PHANG, S.-M. **Phylogenetic relationship of *Kappaphycus* Doty and *Eucheuma* J. Agardh (Solieriaceae, Rhodophyta) in Malaysia**. Journal of Applied Phycology, [s.l.], v. 25, no 1, p. 13–29, 2013. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-012-9833-1> [Acessado em 11 Novembro 2021].

TRONO, G. C.(1992). ***Eucheuma* and *Kappaphycus* : Taxonomy and Cultivation**. Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ, [s.l.], v. 12, p. 51–65, 1992. Disponível em [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/culture-algues/FICHES\\_PLANTES/Eucheuma%20and%20Kappaphyeus%20-%20Taxonomy%20and%20Cultivation.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/culture-algues/FICHES_PLANTES/Eucheuma%20and%20Kappaphyeus%20-%20Taxonomy%20and%20Cultivation.pdf) [Acessado em 11 Novembro 2021].

VELASCO, L. A., BARROS, J., ACOSTA, E. (2007). **Spawning induction and early development of the Caribbean scallops *Argopecten nucleus* and *Nodipecten nodosus***. Aquaculture 266 (2007) 153–165. Disponível em [https://www.researchgate.net/profile/Luz-Velasco/publication/223763049\\_Spawning\\_induction\\_and\\_early\\_development\\_of\\_the\\_Caribbean\\_scallops\\_Argopecten\\_nucleus\\_and\\_Nodipecten\\_nodosus/links/5c6fef30a6fdcc47159209dc/Spawning-induction-and-early-development-of-the-Caribbean-scallops-Argopecten-nucleus-and-Nodipecten-nodosus.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luz-Velasco/publication/223763049_Spawning_induction_and_early_development_of_the_Caribbean_scallops_Argopecten_nucleus_and_Nodipecten_nodosus/links/5c6fef30a6fdcc47159209dc/Spawning-induction-and-early-development-of-the-Caribbean-scallops-Argopecten-nucleus-and-Nodipecten-nodosus.pdf) [Acessado em 10 Novembro 2021].

WOOD, A. R., APTE, S., MACAVOY, E. S., GARDNER, J. P.A. (2007). **A molecular phylogeny of the marine mussel genus *Perna* (Bivalvia: Mytilidae) based on nuclear (ITS1&2) and mitochondrial (COI) DNA sequences**. Molecular Phylogenetics and Evolution 44 (2007) 685–698. Disponível em [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49702627/Wood\\_AR\\_Apte\\_S\\_MacAvoy\\_ES\\_Gardner\\_JPA\\_20161018-11946-wnh80j.pdf?1476844362=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DWood\\_AR\\_Apte\\_S\\_MacAvoy\\_ES\\_Gardner\\_JPA\\_A.pdf&Expires=1636322196&Signature=Fmjmg73dZ5U3O2W9jEtoP8cbmpyisSnP-V5RKZIJnrLJZORfQjdAq4c~Sr~NY9F4D5f8ZiITtq37lEljo1v5lXscMVqQUNgh0j7DpFFa0Hj5QgrOC0U0mw0RkVwo7xZDoAJjiGKxwNXHTOJP7JUbJzhMeZwn8ZfgOOjmCeTKuSbIlRQAVx2KizPNCiyKzw1FuIt827NC6IYvYgGbe5TNNp7rB0ICGTc92Pft8ZwtkTcXGHDSEZ0scsksY9uNjLt4dIXGcCET1oFZSJ-2GZoP9WEzF-M9uReuRQf2oCnGrW3ZkogFBFZR4J3HoXp56B6YbOFG7UinEkbY1OYKcP~EA\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49702627/Wood_AR_Apte_S_MacAvoy_ES_Gardner_JPA_20161018-11946-wnh80j.pdf?1476844362=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DWood_AR_Apte_S_MacAvoy_ES_Gardner_JPA_A.pdf&Expires=1636322196&Signature=Fmjmg73dZ5U3O2W9jEtoP8cbmpyisSnP-V5RKZIJnrLJZORfQjdAq4c~Sr~NY9F4D5f8ZiITtq37lEljo1v5lXscMVqQUNgh0j7DpFFa0Hj5QgrOC0U0mw0RkVwo7xZDoAJjiGKxwNXHTOJP7JUbJzhMeZwn8ZfgOOjmCeTKuSbIlRQAVx2KizPNCiyKzw1FuIt827NC6IYvYgGbe5TNNp7rB0ICGTc92Pft8ZwtkTcXGHDSEZ0scsksY9uNjLt4dIXGcCET1oFZSJ-2GZoP9WEzF-M9uReuRQf2oCnGrW3ZkogFBFZR4J3HoXp56B6YbOFG7UinEkbY1OYKcP~EA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA) [Acessado em 11 Novembro 2021].

YOU, G; XU, B.; SU, H.; ZHANG, S.; PAN, J.; HOU, X.; LI, J. & DING, R.. (2021). **Evaluation of Aquaculture Water Quality Based on Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation Method**. Water 2021, 13, 1019 Disponível em <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/8/1019/pdf> [Acessado em 9 Novembro 2021].

ZELDIS, J.; ROBINSON, K.; ROSS, A.; HAYDEN, B. (2004). **First observations of predation by New Zealand Greenshell mussels (*Perna canaliculus*) on zooplankton**. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, v. 311, p. 287– 299, 2004. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022098104003259> [Acessado em 11 Novembro 2021].



# CAPÍTULO 6

## LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDEMENTOS MINERÁRIOS EM ÁREAS CÁRSTICAS NO MUNICÍPIO DE OUROLÂNDIA NO PERÍODO DE 2007 A 2014

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data de submissão: 19/11/2021*

**Antonieta Antenora Italia Candia**

Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
– INEMA  
Salvador, Bahia

**Arlene Lula Moreira De Oliveira**

Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
– INEMA  
Salvador, Bahia

**RESUMO:** As áreas cársticas apresentam uma maior fragilidade frente a empreendimentos e atividades potencialmente poluidoras/degradadoras devido à presença de atributos de grande sensibilidade e elevado valor histórico, cultural e ecológico, como fósseis, pinturas e gravuras rupestres, material arqueológico e biota específica. O Licenciamento Ambiental nessas áreas deve prever estratégias específicas para garantir a preservação desses atributos e permitir o desenvolvimento econômico da região. O processo de regularização das empresas de extração e beneficiamento de rochas ornamentais no município de Ourolândia/Ba demandou comprometimento dos diversos atores para fins de minimização dos impactos ambientais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Licenciamento Ambiental, Inema, cárstico, cavernas, Ourolândia

### ENVIRONMENTAL LICENSING OF MINING ENTERPRISES IN KARSTIC AREAS IN THE MUNICIPALITY OF OUROLANDIA FROM 2007 TO 2014

**ABSTRACT:** The karstic areas present a greater fragility in the face of potentially polluter-depleting enterprises and activities due to the presence of attributes of great sensitivity and high historical, cultural and ecological value, such as fossils, rock paintings and engravings, archaeological material and specific biota. Environmental Licensing in these areas should provide specific strategies to ensure the preservation of these attributes and allow the economic development of the region. The process of regularization of the companies of extraction and processing of ornamental rocks in the city of Ourolândia / Ba required commitment of the various actors for minimizing environmental impacts.

**KEYWORDS:** Environmental Licensing, Inema, karstic, caves, Ourolândia

### 1 | INTRODUÇÃO

O licenciamento ambiental de atividades/empreendimentos potencialmente poluidoras em áreas cársticas apresenta elevada complexidade em virtude da singularidade dos ambientes encontrados, notadamente os cavernícolas. A sensibilidade e fragilidade desses ambientes estão representadas pelos registros arqueopaleoespeleológicos com relevante valor histórico, cultural e ecológico, a exemplo de fósseis, pinturas e gravuras rupestres, material arqueológico, espeleotemas,

biota específica, dentre outros. Cabe ao processo de licenciamento conciliar a preservação desses atributos com o desenvolvimento das atividades econômicas.

A mineração, sem dúvida, representa um grande risco aos ambientes cársticos em razão da sua natureza exploratória que, em geral, é feita com a utilização de ferramentas com forte impacto, como explosivos e maquinário pesado, que comprometem a estabilidade e segurança destes ambientes devido aos efeitos sinérgicos e cumulativos.



Figura 1 - Localização do Município de Ouro-lândia.

No estado da Bahia temos como exemplo a exploração da rocha ornamental Bege Bahia no município de Ouro-lândia, situado no centro-norte do Estado da Bahia (Figura 1), no bioma caatinga, na região do piemonte da Chapada Diamantina, marcada pela presença de cavernas, fósseis e registros arqueológicos. A extração mineral se iniciou nos anos de 1950 e foi marcada por dois períodos distintos, sendo o primeiro de 1950 até o final dos anos de 1990, caracterizado pelo uso de tecnologias extrativas primitivas do bloco. O segundo vai de 2000 até os dias atuais com o uso de tecnologias modernas para o desdobramento dos blocos. O desenvolvimento da atividade sem a adoção dos critérios ambientais há mais de cinco décadas levou o município a um estado de degradação substancial.

No intuito de regularizar a situação ambiental das empresas instaladas em Ouro-lândia e resolver a questão dos passivos, foi concebido o Arranjo Produtivo Local do Bege Bahia (APL do Bege Bahia), que teve o apoio dos Governos Estadual e Federal, que objetivava a implantação de um Pólo Marmoreiro em Ouro-lândia. Nesse contexto, algumas ações eram necessárias para dar sequência ao projeto, entre elas, a regularização ambiental das empresas que comporiam esse polo. O Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema, extinto IMA/SRH), em 2006 passa a integrar a equipe para cumprir seu papel no licenciamento ambiental desses empreendimentos

minero-industriais, elaborando um Termo de Referência (TR) para balizar os estudos ambientais. A partir das informações levantadas nesses estudos, o Inema estabeleceu critérios para possibilitar o desenvolvimento das atividades minerárias e a preservação dos atributos das áreas cársticas, tais como: a) as empresas de mineração poderiam ter suas atividades de lavra licenciadas desde que compatibilizadas com as áreas de proteção arqueopaleoespeleológica e ambiental; b) as de beneficiamento deveriam utilizar técnicas e equipamentos que mantivessem as cavidades subterrâneas e o meio que as envolve salvas guardadas de possíveis contaminações de seus produtos e efluentes.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o licenciamento consistiu na realização de reuniões com os diversos atores envolvidos no Arranjo Produtivo Local (APL) de rochas ornamentais, quais sejam: as empresas do APL, Secretaria de Ciência Tecnologia e Inovação (Secti), Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE, extinta Sicm), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai/Cetind), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Coordenação de Mineração (Inema/Comin) e Agência Nacional de Mineração (ANM, extinto DNPM), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Nessas reuniões foram traçadas as estratégias de ação para cada instituição no âmbito de suas competências.

Relativo ao Licenciamento Ambiental, as seguintes deliberações foram definidas:

- O Inema elaboraria um Termo de Referência (TR) para orientar as empresas quanto aos estudos ambientais, com ênfase ao patrimônio arqueopaleoespeleológico, os quais dependiam de anuência dos órgãos federais Iphan, ANM e Ibama;
- Os estudos ambientais seriam realizados em conjunto pelas empresas, visando o rateio dos custos, por suas características similares e familiares, por serem micro e pequeno porte, e por se localizarem no ambiente cárstico do Município de Ourulândia;
- A escolha da empresa de consultoria que realizaria os estudos ambientais do TR ficaria a critério das empresas do APL;
- As demais instituições se comprometeriam em dar prioridade às análises necessárias para o licenciamento ambiental.

O Inema montou o Termo de Referência (TR) para os estudos ambientais de Ourulândia contemplando os seguintes pontos:

- Definição das poligonais da ANM, direitos minerários e levantamento dos contratos de arrendamento, dentre outros;
- Levantamento dos passivos ambientais das empresas, principalmente os relacionados aos resíduos sólidos acumulados ao longo dos anos, a partir da

extração, serragem e polimento da rocha;

- Tratamento dos efluentes industriais, priorizando o seu reaproveitamento e recirculação da água, considerando as características do bioma Caatinga e o do Rio Salitre;
- Delimitação das áreas de influências das empresas considerando como área diretamente afetada o limite externo do conjunto de poligonais minerárias da associação de marmoristas e dos garimpeiros;
- Delimitação das reservas legais e áreas de preservação permanente (APP) das propriedades rurais;
- Levantamento arqueopaleoespeleológico e geofísico, com o objetivo de definir os perímetros e áreas de proteção, com base na Resolução CONAMA 347/2004;
- Levantamento da fauna e flora local, para fins de futuro monitoramento;

De posse do TR, a Associação dos Empreendedores de Mármore Bege de Ourolândia (ASSOBEGE) contratou a empresa de consultoria RSÁ FILHO Consultoria Geológica Ambiental para elaborar os estudos. A empresa de consultoria iniciou a execução dos estudos em meados de 2009, momento em que o Inema arquivou os processos de licenciamento até a finalização dos estudos. Após finalizado, este foi submetido à apreciação do Inema.

Por ser anterior a IN MMA nº 002/2009, o TR não abordou os critérios constantes nesta instrução, sendo utilizada, posteriormente, nos condicionantes das Licenças Ambientais.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a finalização do trabalho definido no TR, foram alcançados os seguintes resultados:

- a) Definição quali quantitativa das áreas de proteção arqueopaleoespeleológica e ambiental, compatibilizando as áreas que permitisse a lavra (cavas), as quais foram definidas em mapa e materializadas em campo por georreferenciamento. As áreas de proteção arqueopaleoespeleológica e ambiental consistiram na projeção horizontal a partir da entrada da caverna, em superfície acrescida de um entorno de 250 metros, em forma de poligonal convexa denominada de “buffer”, acrescidas dos atributos arqueológicos e espeleológicos (Figura 2).

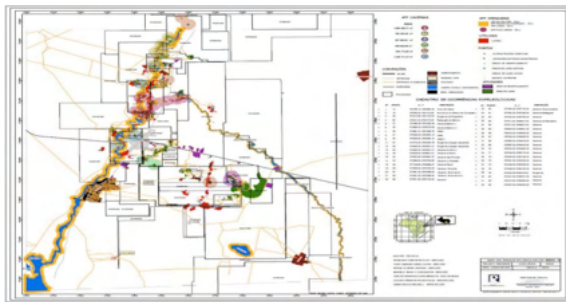


Figura 2- Mapa das cavidades naturais subterrâneas no município de Ouralândia.

Fonte: RSÁ Filho (2012).

Este é o principal resultado do trabalho, já que sintetiza todas as informações levantadas nas áreas das empresas e no entorno. A espacialização em mapa forneceu uma compreensão de todo o conjunto, permitindo uma tomada de decisão com maior segurança.

b) Criação de uma Unidade de Conservação Ambiental, a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Toca dos Ossos, com possibilidade de sua expansão superficial com o acréscimo de novos licenciamentos nas áreas de entorno. Essa Unidade de Conservação foi criada como condicionante de licença ambiental devido aos impactos ocasionados pela empresa ao longo do tempo na cavidade subterrânea Toca dos Ossos, conforme pode ser observado na Figura 3.



Figura 3 - Impactos observados na Toca dos Ossos (e entorno): A) antiga lavra que extraía rocha acima da caverna; B) blocos de rocha descartados no interior da caverna; C) quantidade significativa de fragmentos de rocha descartados no interior da caverna.

Retirado de FERREIRA

c) Definição dos passivos ambientais específicos de cada empreendimento de acordo com a sua realidade ambiental adequado espacial e temporalmente no período de vigência da licença. Esse levantamento permitiu que cada empresa contabilizasse os seus passivos e elaborassem os devidos planos de recuperação ambiental e/ou reaproveitamento dos resíduos e efluentes a serem executados dentro de um

cronograma específico até chegar a uma condição de mínimo impacto ambiental. Na Figura 4 vê-se os resíduos sólidos da extração mineral dispostos aleatoriamente.



Figura 4 - Disposição aleatória dos resíduos da extração da rocha Bege Bahia.

d) Aumento de 425% do registro das cavernas do Município de Ouroilândia no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) do ICMBio/CECAV e da Sociedade Brasileira de Espeleologia. De acordo com o Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) existiam apenas 08 cavernas catalogadas para o referido município, conforme a Figura 5 a seguir. Após os estudos realizados em Ouroilândia, esse número passou para 46 cavernas cadastradas, de acordo com o relatório estatístico do Instituto Chico Mendes (Figura 6).

| Caverna | Nome         | Região   | Estado | Município   | Coordenadas                             |
|---------|--------------|----------|--------|-------------|-----------------------------------------|
| Ba-008  | Bege         | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |
| Ba-014  | Campo Alegre | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |
| Ba-021  | Parque Lito  | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |
| Ba-032  | Parque       | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |
| Ba-036  | Formiga      | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |
| Ba-041  | Ilha         | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |
| Ba-080  | Ilha de Lobo | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |
| Ba-081  | Ilha Verde   | Nordeste | Bahia  | Ouroilândia | Lat: 00° 50' 00" S, Long: 00° 00' 00" W |

Figura 5 – Cadastro das cavernas em Ouroilândia anterior aos estudos. HYPERLINK "<http://www.cavernas.org.br/cnc/Regions.aspx#>"(htHYPERLINK "<http://www.cavernas.org.br/cnc/Regions.aspx#>").



Figura 6 – Cadastro das cavernas em Ouro-lândia após os estudos.

[\(http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com\\_icmbio\\_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq\)](http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq)
[tp://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com\\_icmbio\\_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true](http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq)

e) Geração de informações arqueológicas nas áreas de mineração, a exemplo de uma das empresas, onde foi realizado o trabalho da arqueóloga coordenadora Cristiana de Cerqueira Silva Santana, conforme Portaria Iphan n° 05/2011, de 08/02/2011 (Processo n° 01502.003607/2010-33), publicado no Diário Oficial da União de 09/02/2011, Pg 3 – Seção 1 (SANTANA, 2011). A Figura 7 demonstra exemplo de pintura rupestre encontrada durante as inspeções e desenvolvimento dos estudos ambientais na região de Ouro-lândia.



Figura 7: Registro antropológico encontrado em Ouro-lândia.

f) Recondição do recolhimento da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (Cefem) para o município de Ouro-lândia. De acordo com as informações discutidas durante as reuniões de licenciamento ambiental, o município



de Ouro-lândia deixou de receber a Cfem no ano de 2009, o que era uma das reclamações do empresariado e do Poder Público Municipal. A tabela 1 reúne os valores retirados no site do DNPM, na página referente à arrecadação da Cfem. A partir de dezembro de 2010, a Cfem retornou ao município, identificando-se um aumento dos valores arrecadados ao longo dos anos.

Tabela 1 – Valores de recolhimento da Cfem para o município de Ouro-lândia.

| ANO  | VALOR (R\$) | ANO  | VALOR (R\$) |
|------|-------------|------|-------------|
| 2004 | 12.466,94   | 2012 | 51.191,40   |
| 2005 | 14.982,92   | 2013 | 83.479,23   |
| 2006 | 13.658,47   | 2014 | 148.786,45  |
| 2007 | 20.415,94   | 2015 | 243.619,33  |
| 2008 | 23.834,83   | 2016 | 196.354,97  |
| 2009 | 00          | 2017 | 139.133,60  |
| 2010 | 790,37      | 2018 | 117.722,11  |
| 2011 | 21.230,46   |      |             |

Fonte: [https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorio s/arrecadacao\\_cfem\\_substancia.aspx](https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorio%20s/arrecadacao_cfem_substancia.aspx).

g) Implantação de sistema de tratamento de efluente em circuito fechado nas empresas de beneficiamento. O lançamento dos efluentes originários do processo de beneficiamento era um dos maiores impactos ambientais, tendo em vista a presença de estireno utilizado no polimento das placas serradas da rocha. O estireno é um produto químico com elevado potencial poluidor, que apresenta a alta toxicidade para os organismos aquáticos e para os seres humanos que tenham contato prolongado com o produto. Após os trabalhos, o efluente passou a ser tratado em circuito fechado e reutilizado no processo.

h) No efluente do processo de polimento, além da fase líquida, há a “lama” da rocha, que também trazia impacto ao meio ambiente ao ser disposta de modo aleatório, inclusive ao longo da estrada de acesso à sede municipal e nas margens do rio Salitre. As Figuras 08 e 09 demonstram o antes e o depois da implantação do sistema em circuito fechado nas empresas de beneficiamento.





Figura 08: Deposição aleatória da lama do beneficiamento.



Figura 09: Efluente do beneficiamento com tratamento em circuito fechado.

Figura 08: Deposição aleatória da lama do beneficiamento.

i) Definição das áreas de preservação permanente (APP) do Rio Salitre para fins de recuperação e preservação. As áreas de preservação permanente do rio Salitre sofreram forte impacto em alguns trechos em função da exploração mineral, tanto pela retirada da rocha propriamente, quanto pela deposição dos resíduos de modo aleatório, conforme pode ser visto na Figura 10. Esses pontos foram identificados com a finalidade de elaboração de projetos de recuperação por parte de cada responsável.



Figura 10: Resíduos depositados na APP do rio Salitre.

j) Cercamento do Poço Verde e proibição da atividade de lazer por se tratar de fonte de abastecimento humano.

k) Priorização de uso de massa expansiva em detrimento de explosivos para obter melhor aproveitamento do bloco de rocha e diminuir o risco geológico por efeitos

sísmicos sobre o carste. A massa expansiva estava sendo usada em uma parcela pequena de empresas, e após os trabalhos, houve um aumento da preferência de seu uso.

l) Afastamento da exploração mineral das áreas de proteção permanente (APP) do Rio Salitre em função da densidade de vazios na rocha do Bege Bahia, as quais foram confirmadas por geofísica (FREIRE; BOTELHO, 2011). Essa característica de maior porosidade da rocha em função da proximidade com o rio foi difundida durante os trabalhos desenvolvidos no município de Ouroândia, e trouxe maior conscientização dos empresários em razão do custo/benefício.

m) Conscientização do fornecimento de Equipamento de Proteção Individual (EPI) pelas empresas e uso pelos funcionários.

n) Conscientização da população local e do empresariado objetivando a valorização do patrimônio histórico cultural.

o) Influência para o surgimento de novas ideias para o aproveitamento dos resíduos do Bege Bahia para outros fins, como fabricação de paralelepípedos, trabalhos manuais com mosaicos e fabricação de espacato, dentre outros, o que resultou em diminuição de impactos ambientais e geração de renda.

p) Regularização ambiental na esfera estadual de 22 empresas mineradoras, representando 42% do total, na época do estudo.

## 4 | CONCLUSÃO

Este foi um trabalho pioneiro, cujos estudos objetivavam compatibilizar as atividades minerárias e de beneficiamento em um geoambiente cárstico, de grande sensibilidade ambiental, com significativos passivos ambientais representados, principalmente, pela disposição aleatória dos resíduos sólidos das lavras e dos beneficiamentos do Bege Bahia que ocorriam desde a década de 1950. Em razão disso, inicialmente este trabalho, de ampla complexidade, sofreu resistência de aceitação por parte do empresariado e foi necessário exercer um grande esforço de convencimento para a sua concretização.

Os critérios estabelecidos na IN 002/2009, do Ministério do Meio Ambiente, foram utilizados nos condicionantes das Licenças Ambientais concedidas pelo órgão ambiental estadual, como forma de garantir a preservação dos atributos arqueopaleoespelógicos, culminando com a elaboração do mapa pela empresa RSÁ Filho (2012), consultora contratada pela associação dos empresários. Nessas áreas foram identificadas as cavidades subterrâneas e os seus conteúdos internos e externos vinculados aos empreendimentos minerários e de beneficiamento, bem como a biota, a hidrologia, os remanescentes da caatinga, dentre outras, definindo as áreas de proteção arqueopaleoespelógica e ambiental, e os locais onde poderiam se estabelecer as cavas para extração mineral, e aquelas que deveriam ser paralisadas.

Houve um ganho significativo para aquela região, a exemplo das descobertas arqueológicas, aumento em 425% dos registros de cavidades naturais subterrâneas, a criação de uma Unidade de Conservação, a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Toca dos Ossos e a regularização ambiental na esfera estadual de 22 empresas mineradoras.

## 5 | REFERÊNCIAS

ANM. **Arrecadação da Cefem**. Brasília/DF: ANM, 2019. Disponível em: <[https://sistemas.dnrm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao\\_cfe\\_m\\_substancia.aspx](https://sistemas.dnrm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfe_m_substancia.aspx)>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CANDIA, A.A.I. **Análise Qualitativa dos Impactos da Mineração e Beneficiamento do Bege Bahia com Ênfase na Área de Preservação Permanente (APP) e Leito do Rio Salitre no Município de Ouro-lândia**

- Ba. 2007. 107 p. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização em Tecnologias Geoambientais Aplicadas à Exploração), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador/Ba.

CARTELLE, C. **Edentata e Megamamíferos Herbívoros Extintos da Toca dos Ossos (Ouro-lândia, BA, Brasil)**. 1992. 301 f. Doutorado (Pós-Graduação em Morfologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

EISENBERG, J.F.; REDFORD, K.H. **Mammals of the Neotropics - The Central Neotropics: Ecuador, Peru, Bolivia, Brazil**. 1999. Vol. 3. 609 p.

FERREIRA, R.L.; SILVA, M.S. **Bioespeleologia. Caracterização bioespeleológica da Toca dos Ossos na área da mineração Marbon – Ouro-lândia / BA**. Relatório Parcial. Salvador/Ba: Subterrânea Consultores Associados, 2012.

FREIRE, A.L.; BOTELHO, M.B. **Aplicações do Método GPR na Implantação e Orientação de Lavras da Rocha Ornamental Mármore Bege-Bahia-Ouro-lândia (BA)**, In: 12<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY E EXPOGEF, 2011, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais**. Rio de Janeiro: 2011, p. 1311-1314.

LESSA, G.; CARTELLE, C.; FARIA, H.D.; GONÇALVES, P.R. **Novos Achados de Mamíferos Carnívoros do Pleistoceno Final - Holoceno em Grutas Calcárias do Estado da Bahia**. Acta Geológica Leopoldensia, 1999. 21 (46/47):157-169

ICMBio. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas**. Brasília/DF: ICMBio, 2019. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com\\_icmbio\\_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true](http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true)>. Acesso em: 10 mar. 2019.

ICMBio. **Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco**. Brasília/DF: ICMBio, 2012 Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/projetos-e-atividades>. Acesso em: 10 mar. 2019

RSÁ FILHO CONSULTORIA GEOLÓGICA E AMBIENTAL LTDA. **Relatório dos Estudos Ambientais**. Associação dos Empreendedores de Mármore Bege Bahia - ASSOBEGE. Ouro-lândia/BA, março, 2012.

SANTANA, C. C. S. **Projeto de Levantamento e Prospecção Arqueológica da Área de Mineração da IMEGRA Indústria de Mármore e Granitos LTDA**. Salvador/Ba: Laboratório de Arqueologia e Paleontologia, Universidade Estadual da Bahia (UNEB), 2011.

SBE. **Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC)**. Campinas: SBE, 2010. Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br/cnc/Regions.aspx#>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

UNIGEL. **Estirênicos**. São Paulo/SP: UNIGEL, 2017. Disponível em: <<http://unigel.com.br/downloads/estirenico/HIG.F.151%20FISPQ%20-%20Monomeros%20de%20Estireno.%20vers%C3%A3o%204.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

# CAPÍTULO 7

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO E OS COEFICIENTES DE CULTURA DO CAUPI NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data de submissão: 08/11/2021*

### **Vivian Dielly da Silva Farias**

Professora e Doutora na Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Altamira - Pará  
<http://lattes.cnpq.br/0775979770122595>

### **Marcos José Alves de Lima**

Professor e Doutor na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)  
Capitão poço – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/2153350543038691>

### **Hildo Giuseppe Garcia Caldas Nunes**

Professor e Doutor na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5534561793631040>

### **Deborah Luciany Pires Costa**

Doutora em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/3247530199587148>

### **Denis de Pinho Sousa**

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1268581733812720>

### **Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza**

Professor e Doutor na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9862359824047261>

### **Vandeilson Belfort Moura**

Mestre em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/2206825575732127>

### **Sandra Andréa Santos da Silva**

Professora e Doutora na Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Altamira – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5742329435239170>

### **José Farias Costa**

Mestre em Biodiversidade e Conservação na Amazônia pela Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Altamira – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5597159666625051>

### **Maysa Lorrane Medeiros de Araújo**

Mestranda no Programa de pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal da Amazônia (UFRA)  
Altamira – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/4206967958961138>

### **Dayse Drielly Souza Santana Vieira**

Professora e Doutora na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)  
Juruti – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/2057759102444626>

**RESUMO:** O feijão caupi possui grande importância sócioeconômica para o estado do Pará, porém a região necessita de informações seguras quanto demanda hídrica, para promover um manejo adequado de irrigação no período considerado mais seco do ano. Assim, o objetivo

da pesquisa foi determinar a demanda hídrica, coeficiente da cultura ( $K_c$ ) nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijão caupi em Castanhal-Pará. Com a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) obtida por meio de lisímetros de drenagem, e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foram obtidos os coeficientes de cultura ( $K_c$ ), utilizados, para ajustar modelos em função dos graus dias acumulados ( $GD$ ) e índice de área foliar ( $IAF$ ). Os valores de  $ET_c$  atingiram um total acumulado durante o ciclo do feijão caupi de  $267,73 \text{ mm} \pm 10,21 \text{ mm}$ . O  $K_c$  do feijão caupi apresentou valor médio de 0,8, 1,4 e 0,8 na fase vegetativa, fase reprodutiva e maturação fisiológica, respectivamente. O modelo Gaussiano apresentou ótimo ajuste para a estimativa dos valores  $K_c$  em função dos graus-dia acumulados e do  $IAF$ . Tais valores se diferenciam de alguns encontrados na literatura, o que reforça a necessidade da avaliação do coeficiente de cultura em condições locais e por métodos mais precisos.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Vigna unguiculata* L. Walp. Penman-monteith. Lisímetros. Demanda Hídrica

## EVAPOTRANSPIRATION AND COEWAL CROP COEFFICIENTS IN NORTHEASTERN PARAENSE, BRAZIL

**ABSTRACT:** Cowpea has great socioeconomic importance in the Pará state. However, in order to provide suitable irrigation management during the dry period this region requires solid information regarding water demand by regional crops. This research aims to determine the water demand and the crop coefficient ( $K_c$ ) during the different development stages of cowpea in Castanhal-Pará. The crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) was measured by drainage lysimeters. This information was coupled to the reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) to obtain the crop coefficients, which were used to adjust the model function of accumulated degree-days and the leaf area index (LAI). The  $ET_c$  values reached a cumulative total of  $267.73 \text{ mm} \pm 10.21 \text{ mm}$  during the cowpea cycle. The average value of the uncoupling factor was 0.66. This indicates that the cowpea crop does not fully uncouple from the atmosphere underneath the climatic conditions in northeast Pará. The cowpea  $K_c$  values presented averages of 0.8, 1.4 and 0.8 in the vegetative phase, reproductive phase and final stage, respectively. The Gaussian model showed an excellent fit for the estimation of  $K_c$  values based on accumulated degree days and the LAI. These amounts differ from others found in the literature. Therefore, it reinforces the necessity for an assessment of crop coefficients under local conditions and for the employment of more precise methods.

**KEYWORDS:** *Vigna unguiculata* L. Walp. Penman-monteith. Lysimeters. water demand

## 1 | INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do feijão caupi é uma importante fonte de emprego e renda na região do nordeste paraense, porém, dados mais atuais da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2015) mostram que no período de 2012 o rendimento do Estado oscila de  $850$  a  $650 \text{ kg ha}^{-1}$  e vem caindo desde 2003, essa condição pode estar relacionada tanto às condições de natureza técnica como climáticas. Considerando que a maior parte do Estado do Pará apresenta duas estações climáticas bem definidas (LOPES et al., 2013) o plantio dessa cultura se restringe ao primeiro semestre do ano, durante o

período chuvoso.

A produtividade do feijão caupi, na região, poderia ser maior com a adoção da irrigação para suprir a necessidade hídrica de forma total ou parcial, no período considerado menos chuvoso do ano, permitindo assim, a ampliação do período de cultivo e o aumento do número de safras. Contudo, o estado do Pará possui cerca de 29.333 ha de área irrigada, sendo que em 41% desta área são utilizados métodos de irrigação não tradicionais (SOUZA et al., 2012). Isso reforça a necessidade de informações referentes a evapotranspiração para o estado do Pará, para subsidiar o adequado manejo de água e ainda para aplicação em modelos de previsão de crescimento e produção dessa cultura na região.

A evapotranspiração pode ser determinada por métodos diretos e indiretos, dentre os métodos diretos a lisimetria é o método mais antigo, (MARQUES et al., 2015), e pode potencialmente fornecer estimativas confiáveis, permitindo a contabilização dos termos do balanço hídrico de forma precisa. Os lisímetros podem ser divididos por duas categorias: de pesagem e de drenagem. Dentre os métodos indiretos, estimativa da transpiração a partir de observações meteorológicas, a equação de Penman-Monteith é frequentemente utilizada.

O Coeficiente da Cultura ( $K_c$ ) permite a estimativa das necessidades hídricas de uma cultura, sendo fundamental para o manejo da irrigação. Valores experimentais de  $K_c$  para o feijão caupi são encontrados na literatura para o nordeste paraense (AGUIAR et al., 1992), no entanto, os autores basearam-se na variação do teor de umidade do solo para estimar o consumo de água e obteve os dados de  $ET_o$  a partir de dados de tanque classe A. Portanto este estudo teve como objetivo determinar a demanda hídrica, coeficiente da cultura ( $K_c$ ) e fator de desacoplamento nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijão caupi em Castanhal, Pará.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no município de Castanhal-PA, ( $1^{\circ}19'24.48''S$ ;  $47^{\circ}57'38.20''W$ ). O clima da região segundo a classificação de Koppen é Af, com temperatura média anual de  $26^{\circ}C$ : máximas e mínimas de  $35$  e  $22^{\circ}C$  e umidade relativa máxima de 95% e mínima de 79%. Precipitação média anual em torno de 2.571,6 mm, entretanto, durante os meses de janeiro, fevereiro e março concentra-se cerca de 35% dessa chuva, ou seja, esse trimestre é caracterizado como chuvoso. E o trimestre menos chuvoso compreende os meses de julho, agosto e setembro com 16% do total pluviométrico e o mês menos chuvoso é o de setembro, o qual apresenta apenas 4% de toda precipitação.

A execução se deu em 2013, 2014 e 2015 durante os meses de setembro e novembro em uma área de  $3.168\text{ m}^2$ . A análise física do solo foi realizada no laboratório de solos da EMBRAPA Amazônia Oriental. Os resultados indicaram uma textura arenosa, na qual 56% é areia, 16% é areia mais espessa, 12% é silte e 16% é argila. Os dados de ponto

de murcha (WP) e capacidade de campo (FC) foram obtidos em laboratório. Eles foram determinados a partir de amostras de solo indeformadas usando uma câmara de pressão de Richard. Para 2013, 2014 e 2015, os valores de WP e FC foram 0,11, 0,10, 0,11 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e 0,20, 0,22, 0,21 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Manualmente, 13 a 15 sementes foram semeadas por metro corrido. Posteriormente, foram desbastados, totalizando 10 plantas por metro corrido com espaçamento de 50 cm entre linhas. As análises químicas do solo durante o primeiro ano de estudo indicaram: N 0,04%; P 1 mg.dm<sup>-3</sup>; K 12 mg.dm<sup>-3</sup>; Na 10 mg.dm<sup>-3</sup>; Ca + 0,5 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca ++ Mg 0,8 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al 0,5 cmolc dm<sup>-3</sup>, e o pH (H<sub>2</sub>O) foi de 4,9 para o primeiro ano do experimento. Durante o segundo ano da experiência, as análises indicaram: N 0,06%.

Duas Estações meteorológicas foram instaladas na área experimental para medir as variáveis meteorológicas necessárias as quais foram equipadas com sensores de temperatura e umidade do ar, precipitação, radiação solar, velocidade do vento e umidade do solo. Todos os sensores foram conectados a um *datalogger* CR10X (Campbell Scientific, Inc.) e a um multiplexador AM416 (Campbell Scientific, Inc.). Ambos programados para efetuar a leitura dos sensores a cada 10 segundos, com gravação das médias e dos totais a cada 10 minutos. Semanalmente os dados foram coletados através do software PC208.

O desenvolvimento fenológico foi avaliado diariamente usando a escala proposta por Gepts e Fernández (1982). Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com oito repetições. Cada repetição consistiu de linhas de 1 metro de comprimento, contendo em média 10 plantas, as quais foram monitoradas a partir da emergência. Definuiu-se como o início de um determinado estágio fenológico, o instante em que 50% + 1 das plantas da linha atingiram o estágio em questão. Assim, a frequência de ocorrência das fases era o principal critério para determinar a evolução fonológica (GUIUNTA et al., 2009)

A altura da planta foi avaliada diariamente assim como o desenvolvimento fenológico, em um experimento inteiramente casualizado, com oito repetições de um metro linear de plantas. A análise da área foliar se deu pela amostragem aleatória de plantas nas linhas do plantio onde os lisímetros foram instalados. Para isso, um conjunto de plantas foi coletado semanalmente em um metro linear contendo dez plantas. A área foliar foi obtida através do método dos discos (BENINCASA, 2003).

Os valores diários de Evapotranspiração de Referencia (ET<sub>o</sub>) foram calculados pelo método de Penman-Montheith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) (Equação 1) com dados obtidos na Estação Meteorológica automática do INMET em Castanhal, localizada a aproximadamente 3 Km da área experimental.

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta(R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T_{ar} + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot U_2)}$$

Em que:



ET<sub>o</sub> é a evapotranspiração de referência (mm.d<sup>-1</sup>); R<sub>n</sub> a radiação líquida (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); G – fluxo de calor no solo (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); T<sub>ar</sub> a temperatura média do ar (°C); U<sub>2</sub> a velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>); (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) déficit de pressão de vapor (kPa);  $\Delta = \frac{4098.e}{(T+237,3)^2}$  a declividade da curva de pressão de vapor vs. temperatura (kPa.°C<sup>-1</sup>); sendo  $\gamma = \frac{C_p \times P}{0,622 \times \lambda}$  o coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>); a constante 0,408 corresponde a 1/ λ, em que λ é o calor latente de evaporação da água (2,45MJ.kg<sup>-1</sup>); e a constante 900, a um fator de conversão referente a escala diária de dados.

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi monitorada diariamente, pelo método direto, utilizando-se quatro lisímetros de drenagem idênticos instalados na área experimental, com capacidade volumétrica de 500 L, construídos a partir de caixas de água de plástico, em formato cônico, e com as seguintes medidas: diâmetros superior e inferior de 1,20 m e 0,98 m, respectivamente, e profundidade de 0,60 m, semelhante aos trabalhos de Santos et al., 2009 e Marques et al., 2015.

O sistema de drenagem dos lisímetros foi do tipo gravitacional, com um dreno em PVC, de 25 mm de diâmetro, conectado a um poço de observação e coleta do volume drenado, com 1,5 m de profundidade semelhante a metodologia proposta por Marques et al., 2015. Seguindo a metodologia de Oliveira et al., 2007, a ordem do sistema de drenagem livre no fundo do tanque foi a seguinte: 5 cm de brita tipo cascalhinho, a tubulação em PVC de 25 mm de diâmetro, em forma de retângulo e perfurada na parte superior e lateral com orifícios espaçados de 5 cm, outra camada de brita de 15 cm e manta geotêxtil de poliéster para evitar possíveis entupimentos dos orifícios de drenagem. A água drenada foi coletada no poço de observação do lisímetro de drenagem sendo o volume drenado quantificado com provetas graduadas em mm.

Estimou-se a ET<sub>c</sub> nos lisímetros utilizando-se o balanço hídrico aplicado a um volume de controle de solo conforme a Equação 24 (SANTOS et al., 2009).

$$ET_c = P + I - D$$

Em que:

P a precipitação; I é a irrigação; D é a drenagem; ET<sub>c</sub> evapotranspiração da cultura. Para o caso em questão, os termos ascensão capilares e o escoamento superficial foram desprezados.

Os valores de coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) foram determinados pela equação (DOORENBOS; PRUITT, 1977):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

em que, o K<sub>c</sub> é o coeficiente da cultura, a ET<sub>c</sub> é a evapotranspiração da cultura

(mm.d<sup>-1</sup>) e ETo a evapotranspiração de referência (mm.d<sup>-1</sup>). O método de irrigação utilizado foi localizado por gotejamento, com vazão média, medida no campo, de 0,605 L/h<sup>-1</sup> por gotejador, para uma pressão de 3 mca. Após a instalação do sistema de irrigação,

A umidade do solo foi monitorada pelo TDR (Time Domain Reflectometry) em 30 cm de profundidade. Inicialmente foi realizado um processo de calibração da TDR que consistiu na obtenção de leituras diárias da constante dielétrica aparente do solo ( $k_a$ ) e da umidade volumétrica ( $\theta$ ) correspondente, possibilitando obter, equações de regressão lineares.

A irrigação foi em escala diária, cuja lâmina de irrigação para a reposição do conteúdo de água no solo, era aplicada até a capacidade de campo ( $CC$ ) para cada lisímetro e sua bordadura, ou seja, até os quatro lisímetros começassem a drenar. A lâmina de irrigação foi calculada em função dos dados de tempo, vazão e área do lisímetro. A reposição da água era realizada de modo a proporcionar uma lâmina de drenagem correspondente a cerca de 10-15% da lâmina d'água aplicada, conforme Pereira et al., 2013 e Marques et al., 2015.

A análise de variância foi aplicada nos dados de ETc dos quatro lisímetros e nos dados ETc entre os ciclos. As variáveis Kc e IAF foram submetidas à análise de variância em ajustes descritos por funções Gaussianas (SOUZA et al., 2015), segundo suas significâncias pelo Teste F, utilizando-se o software Origin Pro 8.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os anos do estudo, a temperatura média do ar manteve-se próxima a média climática da região para esse período (28 °C) ao longo do ciclo da cultura. No ano de 2015, no entanto, houve menor amplitude térmica e consequentemente menor velocidade do vento devido à presença do fenômeno El Niño (GRIMM, 2015) que também ocasionou a redução na quantidade de chuvas durante o experimento.

Em anos El Nino, as chuvas na região Amazônica tendem a ser menor que em um ano normal (SOUZA et al., 2015), tendo como consequência o aumento natural na temperatura do ar, fato este que proporciona um aumento na demanda evaporativa da atmosfera, em função do aumento da radiação solar global ocasionado pela diminuição da nebulosidade e da redução na umidade relativa do ar, refletindo em aumento da ETo. Esta característica foi observada durante o experimento de 2015, quando os valores de ETo e de ETc foram mais elevados comparado aos experimentos de 2013 e 2014.

O total de chuvas observado durante o experimento de 2013 foi 207,51 mm, enquanto que em 2014 e 2015 ocorreram 160,00 mm e 30,73 mm de chuva, respectivamente. A redução das chuvas no ano de 2015 correspondeu a um valor de aproximadamente 80% da média histórica (153,65 mm). Apesar desta diferença no regime de chuvas entre os experimentos, a oferta de água pelo sistema de irrigação somado aos eventos de chuva durante o período experimental, fez com que a cultura fosse submetida às condições

elevadas de umidade do solo (Figura 1), de modo a possibilitar uma condição potencial de perda de água via evapotranspiração. Nos dias em que não ocorreram precipitações utilizou-se irrigação por gotejamento aplicada no final do dia, cuja lâmina total correspondeu a 285,58; 268,39 e 311,68 mm nos anos de 2013, 2014 e 2015, respectivamente (Figura 1).

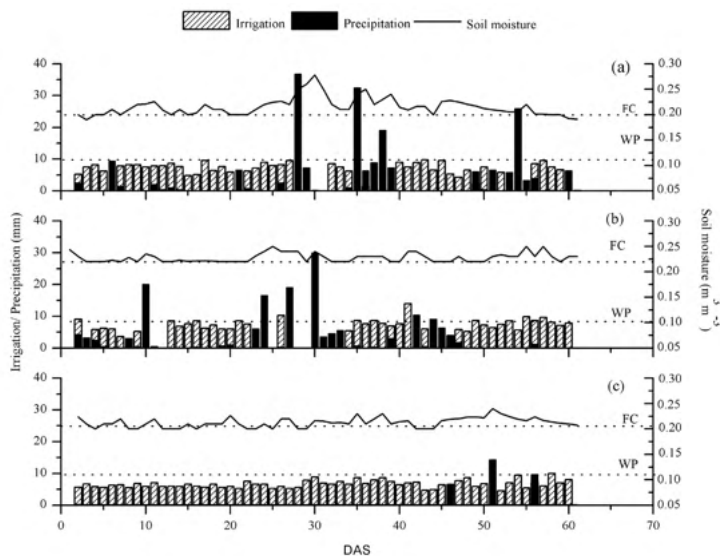


Figura 1. Irrigação (mm), precipitação (mm), umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PM) ao longo do ciclo do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) nos anos de 2013, 2014 e 2015, sob as condições climáticas do município de Castanhal-Pa.

A produtividade do feijão caupi foi 2.657,98 Kg/ha no ano de 2013, 2.657,98 Kg/ha em 2014 e 2.219,35 Kg/ha em 2015. O consumo hídrico total do feijão caupi durante o ciclo foi 246,98 mm em 2013, 248,89 mm em 2014 e 306,98 mm em 2015, houve diferença significativa somente no terceiro ano. Em média o consumo hídrico foi  $267,73 \text{ mm} \pm 10,21 \text{ mm}$ , e a evapotranspiração média diária foi  $3,7 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ . O valor médio difere dos obtidos por Aguiar et al. (1992) que verificaram a quantidade de 305,7 mm ou  $4,4 \text{ mm dia}^{-1}$  para cultivar Manteguiinha no nordeste paraense, porém, esses valores estão próximos da ETc do terceiro ano.

A lâmina total de água aplicada nos três anos de experimento durante os dias de estudo, através da irrigação e da chuva, atingiu em média  $407,94 \text{ mm} \pm 20,13 \text{ mm}$ . Comparando esse valor com a evapotranspiração acumulada no mesmo período, constata-se que a cultura não sofreu restrição de água, tendo recebido uma lâmina extra de água drenada de  $140,21 \text{ mm} \pm 5,10 \text{ mm}$ , em todo período estudado. A textura arenosa do solo favoreceu a ocorrência das perdas de água por drenagem.

Embora o experimento tenha sido realizado no período menos chuvoso a fim de se ter um maior controle da entrada de água, período este que é distinto da época comumente

adotada na região que é junho, o padrão de chuva local é sem dúvidas o principal fator para a baixa produção observada, a julgar pela variabilidade das chuvas observada entres os 3 anos.

No estágio inicial de desenvolvimento quando o índice de área foliar (IAF) ainda é baixo, em torno de  $0,5 \pm 0,05$ , a perda de água ocorreu, principalmente, devido à evaporação da água na superfície do solo que se encontrava descoberto pela vegetação. Como esperado neste período, a  $ET_c$  permaneceu relativamente menor que a  $ET_o$  até aproximadamente 25 dias após a semeadura (DAS) em todos os anos de experimento. A maioria dos picos observados na  $ET_c$  correspondem a evaporação (Figura 2) em razão de eventos de precipitação, ocorridos no dia anterior, que umedeceu a superfície do solo.

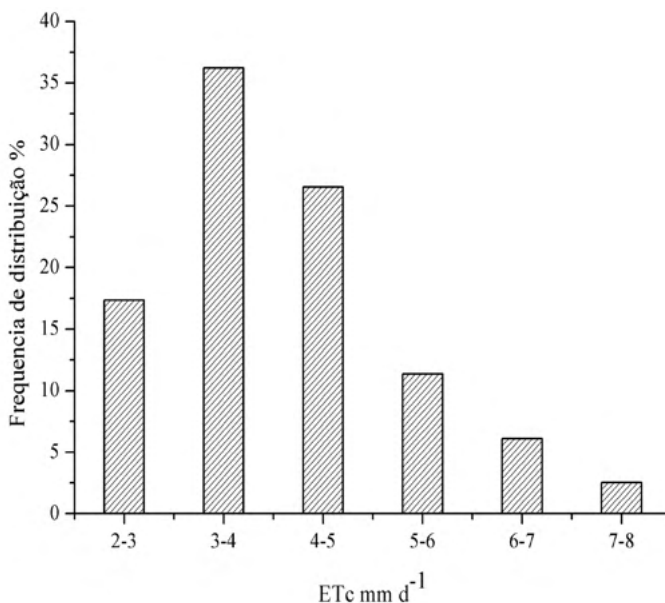


Figura 2. Frequencia de distribuição (%) da evapotranspiração do feijão caupi, em Castanhal , PA, nos três anos de experimento.

Entre aproximadamente 25 e 50 DAS um padrão diferente entre  $ET_c$  e  $ET_o$ , coincidindo com as fases de crescimento (V4), florescimento (R5) e enchimento de grãos (R8), atingindo valores máximos em torno de  $6 \text{ mm dia}^{-1}$ . Isso ocorreu devido ao aumento da transpiração proporcionado pelo crescimento do IAF, devido ao incremento na fração de cobertura do solo, e consequente diminuição da evaporação do solo em decorrência da redução da sua área exposta. Durante este período, considerado o de maior demanda hídrica, é necessário um controle rigoroso da oferta de água, seja por aproveitamento da chuva ou pelo sistema de irrigação para a otimização do desenvolvimento da cultura do feijão caupi de forma satisfatória.

O máximo IAF encontrado foi em média de  $3,5 \pm 0,08$  atingido a aproximadamente 40 DAS, permanecendo próximo deste valor durante grande parte do subperíodo reprodutivo (Figura 2). O máximo consumo de água acompanhou a tendência do aumento no IAF, estando estes resultados de acordo com os resultados do trabalho realizado com feijão caupi por Bastos et al., (2008).

Após os 50 DAS, a ETc diminuiu devido à senescência de parte das folhas da cultura. A demanda atmosférica, representada pela ETo, no entanto, permaneceu elevada permitindo um consumo hídrico médio de  $4,52 \text{ mm d}^{-1}$ .

Considerando-se os estádios fenológicos do caupi, observa-se que o período reprodutivo (floração e enchimento de grãos) é a fase de maior demanda de água, consumindo em média  $4,55 \text{ mm d}^{-1}$  semelhante aos resultados obtidos por Lima et al., 2011 para essa fase ( $4,47 \text{ mm d}^{-1}$ ). A falta de água próximo ao florescimento pode reduzir o crescimento vegetativo, limitando a produção, podendo levar a drásticas reduções na produtividade de grãos (ENDRES et al., 2010).

Apesar dos três anos experimentais terem sido submetidos a irrigação, a qual manteve a umidade no solo sempre próxima da CC (Figura 1), nos anos de 2013 e 2014 quando houve maior ocorrência de eventos de chuva, o molhamento do solo foi muito mais uniforme do que com o sistema de irrigação por gotejamento, motivo pelo qual se nota um maior acoplamento e maior dependência do controle estomático na fase inicial do ciclo no experimento de 2015.

Os valores de Kc obtidos para o feijão caupi são apresentados na Figura 3. O Kc apresentou elevada correlação ( $R^2 > 0,8$ ) com a variável graus-dia acumulado e com o IAF, resultando em ajustes descritos por funções gaussianas semelhante ao encontrado por Souza et al. (2015). A forma da curva de Kc representa as mudanças na vegetação e na cobertura do solo durante o crescimento e maturação do feijão caupi, que afetam a relação entre ETc e ETo. Os parâmetros das funções Gaussianas que promovem uma assimetria na curva para a direita (Figuras 3a, 3b, 3c) são respectivamente 719,9; 698,04 e 739,9, ou seja, esses parâmetros indicam a partir de qual GDA o Kc começa a reduzir, portanto, se o feijão caupi alcançar os graus dias em um período mais curto a tendência é a curva se tornar mais sinuosa e o Kc decrescer mais rapidamente.

Os coeficientes de cultura apresentados, para as fases fenológicas ou para o ciclo da cultura, em relação ao número de dias após o plantio, podem levar à estimativa equivocada de demanda de água em regiões diferentes, devido à variação no ciclo de desenvolvimento imposta pelos fatores climáticos, principalmente, a temperatura.

Constatou-se haver uma estreita relação entre o Kc com o IAF em todos os 3 experimentos, havendo, porém, melhor explicação ao se analisar as equações relacionadas aos graus-dias acumulados, a julgar pelos maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ). De forma geral, os coeficientes de determinação do IAF também foram considerados bons, demonstrando que ambas as funções podem ser utilizadas na estimativa regional do Kc.

| Fase | V0   | V1   | V2   | V3   | V4   | R5   | R6  | R7   | R8   | R9  |
|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|
| Kc   | 0,71 | 0,76 | 0,78 | 0,86 | 0,88 | 1,09 | 1,4 | 1,22 | 1,12 | 0,8 |

Tabela 1. Valores de coeficiente da cultura (Kc) do feijão caupi nas diferentes fases fenológicas.

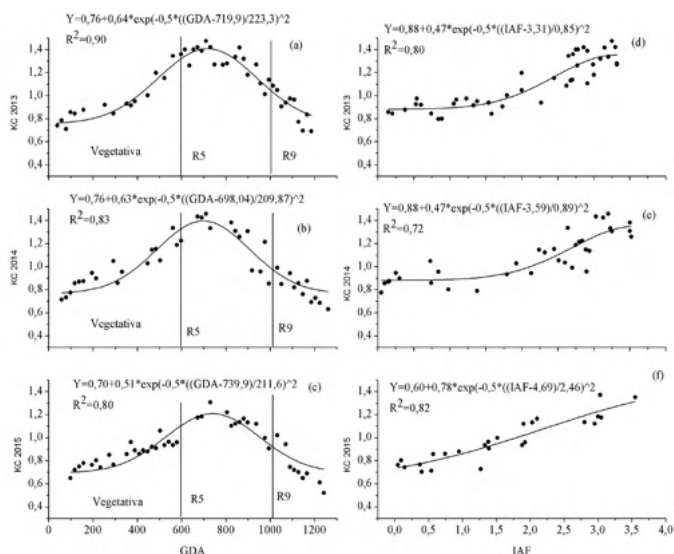


Figura 3. Relação entre o coeficiente da cultura (Kc) com os graus dias acumulados (GDA) e o índice de área foliar (IAF) representadas por funções Gaussianas e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), sob as condições climáticas de Castanhal-Pa. Linhas verticais indicam a ocorrência das fases fenológicas.

Na fase inicial, considerada desde a emergência até os 15 DAS (V4), o Kc apresentou para os três anos valor médio de 0,8 sendo diretamente influenciado pela evaporação do solo (irrigações frequentes) devido aos baixos valores de IAF (Figura 2)

O Kc alcançou o valor máximo de  $1,4 \pm 0,09$  em torno de 40 DAS, correspondendo ao estágio R7 (vagem canivete), não havendo, porém, uma estabilização no consumo hídrico como proposto por Allen et al., 1998 para a cultura do feijoeiro comum. Tal fato se deve ao hábito de crescimento indeterminado do feijão caupi que continua a emitir novas folhas, mesmo após o florescimento, detalhe também observado por Souza et al., 2005.

O Kc obtido para o estágio reprodutivo foi superior àqueles relatados por Aguiar et al., 1992 para o nordeste paraense devido aos distintos métodos adotados como à cultivar utilizada, uma vez que a  $ET_c$  pode ser influenciada pelas característica dos estômatos, anatomia da folha, propriedades aerodinâmicas e albedo (ALLEN et al., 1998).

No estágio final, após os 50 DAS, nota-se uma queda acentuada nos valores de Kc provocada pela senescência de parte das folhas da planta, conforme constatado na variação do IAF (Figura 3a, 3b, 3c), apresentando em média um valor de 0,8 na maturação fisiológica (R9).

O  $K_c$  diminui sob altos valores de  $ET_o$  (Figura 4), mesmo sob elevada umidade do solo. Além disso, resultados de Flumignan et al., (2011) e Marin et al., (2016) demonstram a forte dependência do  $K_c$  e  $K_{cb}$  à elevada demanda atmosférica representada pelos valores de  $ET_o$ , indicando haver um maior controle da transpiração pela planta através do fechamento estomático sob tais condições, o que pode também ser um dos motivos da diferença encontrada em relação aos demais trabalhos.

Por conseguinte, foi observado em uma relação linear entre o  $ET_c$  e  $ET_o$ , que valores de  $ET_c$  subestimam valores de  $ET_o$  acima de  $5 \text{ mm dia}^{-1}$ , indicando um aumento das resistências internas ao transporte de água das plantas quando submetidos a condições de alta demanda atmosférica. Os resultados de Nassif et al., 2014 mostrou a resposta de condutância ( $g_s$ ) para temperatura do ar, radiação solar e DPV, em que  $g_s$  diminui com o aumento de  $ET_o$ .

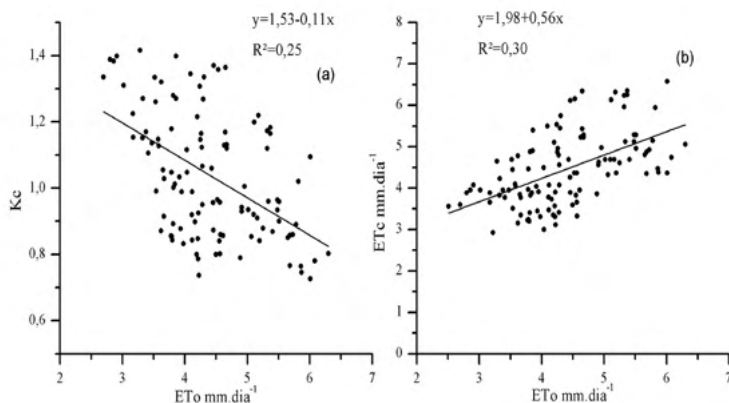


Figura 4. Relação entre coeficiente da cultura ( $K_c$ ) e evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) (a) e relação entre evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e  $ET_o$  (b).

Em condições de alta energia disponível, velocidade do vento e DPV, que são normalmente encontradas quando  $ET_o$  ultrapassa  $4,0 \text{ mm dia}^{-1}$ , pode-se esperar que algumas espécies com alta resistência estomática não responda diretamente à demanda de água na atmosfera. Contudo, pode ser observado que a diminuição na taxa de transpiração sob elevadas demandas atmosféricas foi compensada. Esta compensação baseou-se no fato da evapotranspiração da cultura se tornar menos dependente das condições atmosféricas e o saldo de radiação se tornar o principal contribuinte para esse processo.

Ressalta-se que a metodologia empregada para a determinação dos valores da  $ET_c$  e  $ET_o$  foi diferente das utilizadas em alguns dos trabalhos citados, fato que comprova a importância da obtenção de valores precisos e regionalizados de  $ET_c$  e de  $K_c$  para uma real eficácia no manejo da irrigação local.

## 4 | CONCLUSÃO

O consumo hídrico total do feijão caupi foi em média 267,73 mm  $\pm$ 10,21 ou 3,7 mm $\pm$ 0,2 mm dia<sup>-1</sup>. O Kc do feijão caupi apresentou valor médio de 0,8 na fase vegetativa, atingido um máximo de 1,4 durante a fase reprodutiva, chegando ao estágio de maturação fisiológica com valor médio de 0,8. O modelo Gaussiano apresentou ótimo ajuste para a estimativa dos valores de coeficiente de cultura do feijão caupi em função dos graus-dia acumulados e do IAF.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J.V.; LEÃO M.C.S.; SAUNDERS L.C.U. **Determinação do consumo de água pelo caupi** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) **irrigado em Bragança – Pará**. Ciência Agronômica, Fortaleza, v.23, n. 2, p. 33-37, 1992.
- ALLEN, R.G.; Pereira L.S.; RAES, D.; SMIT, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. 56. ed. New York: Rome: FAO, 1998. 299 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 56.)
- BASTOS, E.A.; FERREIRA V.M.; SILVA, C.R.; ANDRADE JUNIOR, A.S. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão caupi no Vale do Guruguéia, Piauí**. Irriga, Botucatu, v.13, n. 2, p.182-190, 2008.
- BENINCASA, M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Funep. 2003.41p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 24 ed. New York: Rome:FAO, 1977. 194p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ENDRES, L.; SOUZA, J. L.; TEODORO, L.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M.; BRITO, J. E. D. **Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.11- 16, 2010.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS **Parecer técnico nº 300**. Seropédica: Agrobiologia, 2015, 192 p. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139853/1/DOCUMENTOS-300-revisado-2.pdf> Acesso em: 06 de nov. de 2021.
- FLUMIGNAN, D.L. et al. **Evapotranspiration components and dual crop coefficients of coffee trees during crop production**. Agricultural Water Management, v.98, p.791-800, 2011.
- GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común** (*Phaseolus vulgaris* L.). Colômbia: CIAT. 1982.10 p.
- GUIUNTA, P., PRUNEDDU, G. MOTZO. R. **“Radiation interception and biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species.”** Field Crops Research, p. 76-84. 2009.
- GRIM, A.M. **El Niño, novamente!**. Revista Brasileira de Meteorologia. v.30, n.4, p. 351-357, 2015.



LIMA, J.R.S.; ANTONIO A.C.D.; LIRA C.A.B.O.; SOUZA E.S.; SILVA I.F. **Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 42, n.1, p. 65-74. 2011.

LOPES, G. S.; LEMOS R.N.S.; ARAUJO J.R.G.; MARQUES L.J.P.; VIEIRA D.L. **Preferência para oviposição e ciclo de vida de mosca-negra-dos citros Aleurocanthus woglumi Ashby em espécies frutíferas**. Revista Brasileira de fruticultura, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 738-745, 2013.

MARIN, F. R. ANGELOCCI, L. R.; NASSIF, D.S.P.; COSTA, L.G.; VIANNA, M.S. CARVALHO, K. S. **Crop coefficient changes with reference evapotranspiration for highly canopy-atmosphere coupled crops**. Agricultural Water Management, v. 163, p. 139-145, 2016.

MARQUES, P.A.A. JOSÉ J.V.; ROCHA H.S.; FRAGA JUNIOR E.F.F.; SOARES D.A.; DURTE S.N. **Consumo hídrico do manjerição por meio de lisímetro de drenagem**. Irriga, Botucatu, v.20, n. 4, p.745-761. 2015.

NASSIF, D.S.P.; MARIN, F.R.; COSTA, L.G. **Evapotranspiration and Transpiration Coupling to the Atmosphere of Sugarcane in Southern Brazil: Scaling Up from Leaf to Field Sugar tech**, v.16, n.3, p. 250-254, 2014.

OLIVEIRA, L.M.M. **Avaliação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na bacia experimental do riacho Gameleira – PE, utilizando lisímetro de pesagem hidráulica e métodos indiretos**. Recife – PE, 111p. Dissertação de (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fealq, 2013.31 p.

SANTOS, F.; MONTENEGRO, A. A. R.; SILVA, R.S. EDIVAR, R.S. **Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 4, n.3, p. 304-310. 2009.

SOUSA, A.M.L. ROCHA E.J.P.; VITORINO, M.I.; SOUZA P.J.O.P.; BOTELHO M. N. **Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Amazônia Durante Eventos Enos**. Revista Brasileira de Geografia Física, Pernambuco, v. 8, n. 1, p. 13-24. 2015.

SOUZA, L.S.B.; MOURA M.S.B.; SEDIYAMA G.C.; SILVA T.G.F. **Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na caatinga em condições de seca intensa**. Pesquisa agropecuária Brasileira, v.50, n.8, p.627-636, 2015.

SOUZA, L.S.B.; MOURA M.S.B.; SEDIYAMA G.C.; SILVA T.G.F. **Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão caupi em sistemas exclusivo e consorciado**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 151 – 160, 2015.

SOUZA, R.O.R.M.; PANTOJA, A.V.; AMARAL, M.A.C.M.; NETO, J.A.P. **Cenário da agricultura irrigada no estado do Pará**. Irriga, v.17, n.3, p.177-188. 2012.

SOUZA, M.S.M.; BEZERRA, F.M.L.; TEÓFILO, E.M. **Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará**. Irriga, Botucatu v. 10, n.3, p. 241-248. 2005.

## DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA FATEC FRANCO DA ROCHA

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data de Submissão: 29/10/2021*

### **Carlos Eduardo Oliveira Santos**

Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini,  
Franco da Rocha  
Brasil

### **José Eduardo Soares de Almeida**

Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini,  
Franco da Rocha  
Brasil

### **Leonardo Augusto dos Santos**

Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini,  
Franco da Rocha  
Brasil

### **Matheus Lira de Almeida**

Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini,  
Franco da Rocha  
Brasil

### **Silvia Maria Farani Costa**

Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini,  
Franco da Rocha  
Brasil

### **Augusto de Toledo Cruz Junior**

Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini,  
Franco da Rocha  
Brasil

### **Valquiria Pereira Alcantara**

Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini,  
Franco da Rocha  
Brasil

**RESUMO:** Este trabalho trata do diagnóstico energético na Fatec Franco da Rocha. O método de trabalho consiste na coleta de dados de unidades consumidoras de energia para iluminação, verificação de sua capacidade de iluminamento e de consumo, traçando um modelo do atual layout, bem como seu impacto financeiro. O objetivo é apresentar medidas de redução de consumo e espera-se como resultados a melhoria no iluminamento reduzindo custo da fatura de energia elétrica, além de contribuir para o meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Diagnóstico Energético. Iluminação Artificial. Iluminamento. LED. Meio Ambiente.

### ENERGY DIAGNOSIS: A CASE STUDY ABOUT THE LIGHTING SYSTEM OF FATEC FRANCO DA ROCHA

**ABSTRACT:** This paper is about an energy diagnosis in Fatec Franco da Rocha. The methodology applied was the collection of data referring to the consuming rate as well as the illuminating capacity of the lighting units, identifying the current layout and the corresponding financial impact. The aim is to present solutions to reduce energy consumption and impact in the environment. As a result, we expect to improve lighting capacity at lower costs.

**KEYWORDS:** Energy Diagnosis. Artificial Lighting. Illumination. LED. Environment.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em 2001, a população brasileira foi incentivada a mudar seus hábitos no consumo de energia elétrica, pois havia o risco de racionamento de energia elétrica em todo o país, fenômeno que ficou conhecido como apagão. O termo “apagão” foi adotado como referência a algumas interrupções ou falta de energia elétrica frequentes, como blackout, devido à estiagem. Dado este cenário houve uma corrida para diminuir o consumo elétrico, e esta crise energética proporcionou uma maior atenção de todos os setores públicos e privados gerando planejamento, ações e investimentos para realização de uma eficiência energética em todos os setores consumidores (OLIVEIRA, 2021).

No entanto, a oferta de energia no mundo moderno é uma questão das mais discutidas atualmente devido as fontes de energia serem sempre as mesmas, porém, com a evolução tecnológica cada vez mais crescente, os equipamentos elétricos tendem a ter eficiência energética para gerar uma economia. É perceptível que a demanda por energia elétrica aumenta gradativamente com o crescimento populacional, o que leva as empresas a buscarem formas cada vez mais eficientes de utilização da energia (TOLMASQUIM et al., 2007).

Algumas fontes primárias de energia, como petróleo, gás e urânio têm seus estoques limitados, o que leva sempre a um custo crescente ao longo do tempo pago por esses insumos. Por isso alguns países membros da União Europeia, Tigres Asiáticos, além do próprio Estados Unidos dependem na maior parte de fontes não renováveis, buscando aprimorar e inovar seus equipamentos de geração e consumo de energia, para reduzir custos e também aproveitar melhor a fonte primária, energia esta que promove uma transformação para a energia elétrica. Já os países como Brasil, Itália e Islândia, com abundância de fontes primárias de origem renovável, como a eólica, hidráulica, solar e geotérmica, também buscam o aprimoramento de seus equipamentos e processos, para ter um consumo otimizado de forma mais eficiente, contribuindo assim com o meio ambiente.

Atualmente, grande parte de energia consumida no mundo é proveniente de fontes não renováveis, porque as características dessas fontes são bem conhecidas, possuem um rendimento energético elevado (poucas perdas de energia no processo de transformação), preços atrativos, geram muitos empregos e possuem infraestrutura construída para geração e distribuição (usinas, dutos, ferrovias e rodovias) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, [s.d.]).

O setor de iluminação vem passando por transformações tecnológicas ao longo dos anos e uma das principais mudanças são as lâmpadas LED (*Light Emitting Diode* - Diodo Emissor de Luz), que permite a criação de uma lâmpada de alta eficiência com uma grande redução de consumo energético, comparada as lâmpadas utilizadas tradicionalmente. Por ser uma tecnologia relativamente recente, seu custo ainda é considerado elevado, no entanto a tendência é que este custo diminua ao longo dos anos.

O consumo total de energia elétrica no país foi de 426 TWh, em 2009. O consumo de energia elétrica relativo aos prédios públicos em 2009 foi aproximadamente de 12 TWh. Desta forma, os prédios públicos contribuíram com 2,8% do consumo total de energia elétrica no país (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, [s.d.]).

Na figura 1 está detalhado o percentual de uma das classes dos prédios comerciais, as unidades de ensino de todo estado de SP, totalizando 1451 unidades.

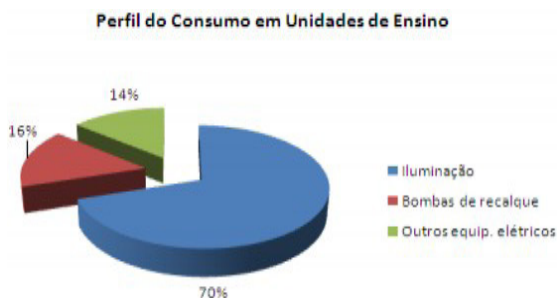


Figura 1 - perfil do consumo em Unidades de Ensino (SECRETARIA DE ESTADO DE ENERGIA, 2021).

Devido ao grande consumo elétrico das lâmpadas nas unidades de ensino, é racional a intenção de buscar alternativas para que seja possível produzir igual, ou mais, com a mesma oferta elétrica, fazendo-se assim, um prédio mais eficiente.

Diante do grande consumo energético, a proposta deste artigo é a elaboração do diagnóstico energético da instalação de iluminação da Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini – FATEC Franco da Rocha, sendo este um processo de estudo para identificar o padrão de consumo e realização de ações que proporcionam um melhor aproveitamento de energia elétrica, visando a redução no consumo de energia elétrica, fazendo uso de novas tecnologias e conceitos, expondo uma provável melhoria no faturamento de energia elétrica.

A utilização de lâmpadas LED em sistemas de iluminação proporciona redução no consumo de energia, visto que os LEDs são capazes de iluminar de forma mais eficiente e duradoura (MOURA, 2015).

Sendo assim, todo levantamento de dados atuais será estudado e exposto, analisando as especificações tecnológicas das lâmpadas propostas para que não haja diferença na qualidade final da iluminação artificial.

Como objetivo geral pretende-se realizar o diagnóstico energético dos dados referente a iluminação artificial dentro da unidade da Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini – FATEC Franco da Rocha, do mesmo modo que as características dos equipamentos instalados no local que sugerem um projeto mais eficiente, viavelmente econômico e executável. Para atingir este propósito tem-se como objetivos específicos:

- Analisar o sistema de iluminação da FATEC Franco da Rocha;
- Propor um sistema de iluminação mais eficiente;
- Utilizar-se de materiais com maior durabilidade e economia;
- Realizar a alteração dos equipamentos atuais por equipamentos propostos para troca, elevando a qualidade;
- Estudar a viabilidade técnica-econômica da implementação da proposta.

É imprescindível citar que o sistema de iluminação atual da FATEC é composto por lâmpadas fluorescentes, e trata-se de uma tecnologia ultrapassada e que não agrega eficiência, já que sua vida útil é curta. A opção de se atribuir o LED no sistema de iluminação atual, deu-se a partir da viabilidade de ser considerada uma tecnologia cada vez mais acessível e eficiente, visto que em sua composição não contém metais pesados como mercúrio, o que não degrada o meio ambiente e é economicamente viável tendo uma durabilidade de aproximadamente 5 anos, dependendo do tempo de uso diário.

## 2 | DESENVOLVIMENTO

Para obtenção dos resultados, aplica-se neste projeto o método de pesquisa qualitativa, visto que são utilizados artigos científicos e estudos já realizados para embasar a parte teórica e levantamento e análise de dados que comprovam a eficácia para uma aplicação de um novo projeto. Além disso, foi realizada visita no local de estudo para obtenção de dados mais precisos dos equipamentos atuais. Dessa forma, com a coleta de dados realizada, é possível prescrever um diagnóstico energético aplicável e econômico.

Foi verificada e analisada as possíveis marcas e modelos de lâmpadas LED que possam atender a demanda de uso do local estudado, sem interferir na qualidade de iluminação, para que não haja interferências no trabalho. Para isso, estabeleceu-se levantamento da capacidade de luminância e determinou-se qual potência será utilizada em cada lâmpada para que não falte ou tenha excesso de iluminação no local. Realizou-se pesquisa de preços de mercado de lâmpadas LED utilizando-se de plataformas acessíveis, tais como internet, lojas físicas e fabricantes. Posteriormente à instalação, pretende-se efetuar uma análise de consumo das contas de energia de um período de 12 meses, para averiguar o quão em KW/h foram economizados.

O guia do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, estabelece três metodologias para o levantamento dos dados necessários para a conclusão do diagnóstico energético (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2016). A primeira metodologia é o levantamento por amostragem, no qual seleciona-se apenas alguns equipamentos para serem analisados. Este levantamento pode ser realizado quando existe uma grande quantidade de equipamentos. O segundo método de levantamento acontece por meio dos dados de placa dos equipamentos. Esse método deve ser utilizado

apenas para uma primeira análise da situação das instalações. Uma vez que não exige nenhuma medição em campo, trata-se de um procedimento ágil e prático, mas ao mesmo tempo pode não retratar o que está realmente acontecendo. O terceiro e último método, conhecido como detalhado, é realizado por intermédio de medições de campo de todos os equipamentos no local. Essa metodologia consiste em não só conhecer os dados de placa de todos os equipamentos, como analisá-los em campo, checando se realmente as condições nominais são aplicadas. Por se tratar de medições de campo, trata-se de um método que exige muito mais tempo para que seja realizado, porém resulta em dados muito mais precisos para a realização do diagnóstico energético.

Neste projeto será seguida a orientação do PROCEL, para a elaboração de um inventário amostral e coleta de dados das plantas do edifício da Fatec Franco da Rocha, conforme fornecimento da Direção.

- **Caracterização ou Descrição da Instalação**

A Faculdade de Tecnologia Giuliano Cecchettini – FATEC Franco da Rocha – SP foi inaugurada em 04 de Abril de 2018, sendo a primeira faculdade pública da região da bacia do rio Juqueri, que abrange as cidades de Mairiporã, Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras e Cajamar, oferecendo os cursos de Gestão de Energia e Eficiência Energética e Gestão de Tecnologia da Informação.

A faculdade possui uma área de 7.300m<sup>2</sup> construídas, preparada para atender 1.400 alunos, e segue um estilo arquitetônico adotado em outras unidades, com destaque para o modernismo do concreto armado e estruturas metálicas a mostra. Na figura 2, observa-se a área total construída pelos respectivos pavimentos e quantidades de espaços, bem como a sua descrição.

| BLOCO ADMINISTRATIVO E PEDAGÓGICO |                                                     |        |   |                              |        |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|--------|---|------------------------------|--------|
| Pavimento Térreo = 3.037,37m²     |                                                     |        |   |                              |        |
| 1                                 | Diretoria                                           | 19,68  | 1 | Cantina                      | 139,71 |
| 1                                 | Diretoria de Serviços                               | 28,48  | 1 | Auditório                    | 328,99 |
| 1                                 | Secretária                                          | 28,48  | 1 | Diretoria de Serviços        | 58,99  |
| 1                                 | Vice-Diretoria                                      | 28,48  | 1 | Almoxarifado                 | 34,74  |
| 1                                 | Secretaria Acadêmica                                | 90,39  | 2 | Sanitários Femininos         | 39,42  |
| 1                                 | Sala dos Professores                                | 46,42  | 2 | Sanitários Masculinos        | 39,42  |
| 1                                 | Copa                                                | 27,21  | 2 | Sanitários PCD - Feminino    | 7,20   |
| 1                                 | Arquivos                                            | 13,81  | 2 | Sanitários PCD - Masculino   | 7,20   |
| 1                                 | Sala de reunião                                     | 28,50  | 1 | Vestibário Feminino          | 26,00  |
| 1                                 | Laboratório de Construção e Instalações Prediais    | 127,53 | 1 | Vestibário Masculino         | 26,00  |
| 1                                 | Laboratório de Ensaios de Materiais                 | 114,17 | 1 | Manutenção                   | 27,19  |
| 1                                 | Biblioteca                                          | 344,53 | 1 | DML                          | 27,19  |
| 1º Pavimento = 2.083,57m²         |                                                     |        |   |                              |        |
| 6                                 | Salas de Aula                                       | 375,00 | 1 | Sala de RJL                  | 28,81  |
| 1                                 | Laboratório de Química Geral - Sala de apoio        | 92,48  | 1 | Sala de Coordenação de Curso | 28,81  |
| 1                                 | Laboratório de Hidráulica                           | 77,00  | 2 | Sanitários Femininos         | 39,42  |
| 1                                 | Laboratório de Informática Braille e Tec. Assistiva | 97,71  | 2 | Sanitários Masculinos        | 39,42  |
| 2                                 | Laboratórios de Informática                         | 173,71 | 2 | Sanitários PCD - Feminino    | 7,20   |
| 1                                 | Laboratório de Redes                                | 95,16  | 2 | Sanitários PCD - Masculino   | 7,20   |
| 1                                 | Sala do Servidor                                    | 9,86   |   |                              |        |
| 2º Pavimento = 2.083,57m²         |                                                     |        |   |                              |        |
| 7                                 | Salas de aula                                       | 493,31 | 1 | Sala de RJL                  | 28,81  |
| 1                                 | Laboratório de Física e Resistência dos Materiais   | 108,25 | 1 | Sala de Coordenação de Curso | 28,81  |
| 1                                 | Sala de Maquete                                     | 59,61  | 2 | Sanitários Femininos         | 39,42  |
| 1                                 | Laboratório de Informática - CAD                    | 73,03  | 2 | Sanitários Masculinos        | 39,42  |
| 1                                 | Sala de Desenho                                     | 90,10  | 2 | Sanitários PCD - Feminino    | 7,20   |
| 1                                 | Sala de Apoio - No Break                            | 18,13  | 2 | Sanitários PCD - Masculino   | 7,20   |
| 1                                 | Laboratório de Eletrotécnica                        | 97,71  |   |                              |        |

Figura 2 - levantamento de dados Fatec Franco da Rocha.

Com foco no diagnóstico de eficiência energética, foi analisado o valor das contas de energia elétrica no período de fevereiro de 2018 a fevereiro de 2020. Analisando os projetos e anexos da construção da Fatec, observou-se facilmente que os circuitos de iluminação estão divididos e caracterizados conforme figura 3.

Desta forma, o banco de dados foi alimentado com as informações obtidas e realizou-se projeções a fim de identificar o investimento em iluminação mais eficiente para trazer benefícios a longo prazo para a instituição, sendo esses financeiros, sociais e ambientais.

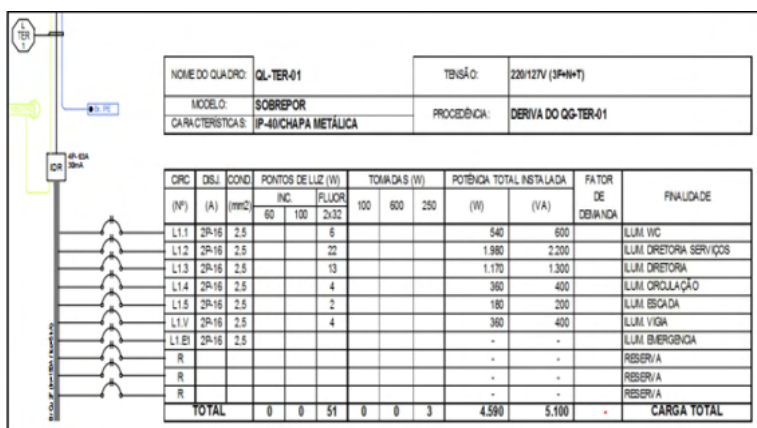


Figura 3 - Circuitos de Iluminação.

Com relação a conta de energia foi disponibilizada uma cópia, no período de setembro de 2018 a maio de 2020 e constatou-se uma média de consumo de 4.414,5 Kwh que corresponde a uma fatura com valor médio de R\$ 4.630,14 mensal.

Conforme os dados levantados, foi realizado o estudo das contas no período informado. Na figura 4 pode-se observar a média de consumo calculada para o período de setembro de 2018 a maio de 2020, onde constatou-se que não houve aumento significativo no seu faturamento ao longo dos meses.

A Fatec Franco da Rocha, com início de faturamento a partir de setembro de 2018, tem a cada 6 meses crescimento de 80 novos alunos, professores e aumento de utilização de salas. Apesar disso, observou-se que não houve aumento proporcional em sua fatura de energia elétrica, ou seja, mesmo com o aumento de alunos, funcionários e docentes, o consumo de energia elétrica se manteve na média, pois a unidade está em um regime de consumo em alta tensão, com uma cabine primária e uma demanda energética contratada. Nesta modalidade de fornecimento que as concessionárias propõem, o consumidor sempre pagará por uma demanda energética fixa e a validade deste contrato é de 12 meses.

| FATURAS DE ENERGIA ELETRICA ANALISADA |              |              |
|---------------------------------------|--------------|--------------|
| Mês                                   | Consumo kw/h | Valor Fatura |
| set/18                                | 3391         | R\$ 2.621,16 |
| out/18                                | 3319         | R\$ 2.895,33 |
| nov/18                                | 2599         | R\$ 627,04   |
| dez/18                                | 3309         | R\$ 4.295,64 |
| jan/19                                | 3195         | R\$ 4.135,66 |
| fev/19                                | 3259         | R\$ 4.277,66 |
| mar/19                                | 4741         | R\$ 5.251,66 |
| abr/19                                | 6342         | R\$ 6.003,15 |
| mai/19                                |              |              |
| jun/19                                | 5206         | R\$ 5.604,25 |
| jul/19                                | 4363         | R\$ 4.722,16 |
| ago/19                                | 4114         | R\$ 4.630,14 |
| set/19                                | 5030         | R\$ 5.631,59 |
| out/19                                | 5247         | R\$ 5.582,43 |
| nov/19                                | 5801         | R\$ 5.830,99 |
| dez/19                                | 5304         | R\$ 5.499,26 |
| jan/20                                | 4025         | R\$ 4.214,12 |
| fev/20                                | 4466         | R\$ 4.392,64 |
| abr/20                                | 4881         | R\$ 5.251,55 |
| mai/20                                | 3526         | R\$ 4.101,69 |
| Media de Consumo                      | 4363         | R\$ 4.630,14 |

Figura 4 - Histórico de Consumo Elétrico.



A iluminação interna da FATEC Franco da Rocha conta com equipamentos dotados de lâmpadas fluorescentes tubulares, de tecnologia ultrapassada e de menor eficiência com relação as tecnologias mais modernas como LED.

Realizou-se um inventário amostral e coleta de dados das plantas do edifício da FATEC Franco da Rocha, conforme fornecimento da direção da instituição. Com as informações coletadas criou-se um banco de dados em Excel com informações do tipo de lâmpada, marca, modelo, quantidade e dados de consumo do próprio fabricante.

A iluminação da FATEC Franco da Rocha é composta principalmente por lâmpadas fluorescentes tubulares divididas proporcionalmente conforme blocos e pavimentos. As lâmpadas fluorescentes, além de menos eficientes comparadas às lâmpadas LED, oferecem um grande risco ao meio ambiente quando sua vida útil de 12.000 horas é atingida. Isto ocorre devido a composição interna da lâmpada, que em um dos processos de gerar a luz visível, provoca a reação do mercúrio junto ao pó fosfórico, além de poder conter chumbo na matriz do vidro.

Ao ser substituída todas as lâmpadas internas instaladas na FATEC Franco da Rocha, deve ser feita uma triagem para averiguar as que ainda estão em pleno funcionamento, que podem ser reaproveitadas em outro local e as demais, que deverão ser sucateadas.

As lâmpadas fluorescentes do modelo tubular, com potência entre 15 à 110W possuem em média 0,009g de mercúrio em sua composição; e as de modelo compacto, com potência entre 5 à 65W, em média 0,005g (BARBOSA, 2015). Os resíduos de uma única lâmpada fluorescente tubular podem contaminar até 30.000 litros da água (ELECTRICAL WASTE, 2021).

A substituição de todas as lâmpadas do edifício totaliza 978 unidades, tendo assim, um potencial maléfico, caso descartadas em local incorreto, como em rios e lagos, ocasionando uma contaminação de aproximadamente 2.934.000 litros de água.

A destinação destas lâmpadas deve ocorrer junto a uma empresa parceira especializada na destinação deste resíduo, seguindo à Norma ABNT NBR nº. 13.463/95 - Coleta de Resíduos Sólidos, onde são classificadas como resíduos perigosos – Classe I (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995).

## • Metas e Benefícios

Um dos instrumentos legais recentes no Brasil é a Lei nº. 10.295/2001 (Lei de Eficiência Energética) e o Decreto nº. 4.059/2001, que regulamentou a referida Lei e criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), com a função, dentre outras, de elaborar um programa de metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado. Outro instrumento importante é o Programa Brasileiro de Etiquetagem e o Selo PROCEL de Economia de Energia que responde atualmente pela maioria dos resultados obtidos pelo PROCEL (Programa

Nacional de Conservação de Energia Elétrica).

Segundo Ribeiro et al. (2012) o sistema de iluminação nas últimas décadas vem passando por profundos avanços, em especial aqueles relacionados ao emprego da eletrônica nos processos de ignição, acionamento e promoção da eficiência energética, colaborando com os avanços, a existência de iniciativas como a extinção das lâmpadas incandescente (com baixa eficiência) do mercado consumidor até 2016 e o incentivo do consumo de lâmpadas mais econômicas (EMPRESA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2019).

A tecnologia de iluminação LED é uma alternativa de substituição às lâmpadas com baixa eficiência. O desenvolvimento desta tecnologia para iluminação expandiu suas aplicações e tornaram-se fontes luminosas eficientes e de baixo custo, com a economia de energia proporcionada e a sustentabilidade, ou seja, dois grandes motivadores para o uso eficiente da iluminação.

Segundo Lopes (2014, p.13) “o LED é um diodo emissor de luz, de alta durabilidade e eficiência energética, é um tipo de diodo semicondutor em estado sólido, sua luz é produzida dentro de um chip cujo tamanho é inferior a 0,25 mm<sup>2</sup>. Este chip é um cristal também em estado sólido”.

O intuito deste projeto é reduzir desperdícios de energia, e, portanto, apresenta-se um estudo de caso onde foram projetadas troca das soluções de iluminação tradicionais por alternativas LEDs.

A eficiência energética compreende a relação entre o fluxo luminoso e a potência (lúmens/watt) e nesta relação a iluminação LED se caracteriza como sendo muito mais eficiente que as demais. O uso de LEDs contribui para a maior eficiência e longa vida útil do sistema, além de não depositar elementos químicos nocivos no meio ambiente, comparado as lâmpadas fluorescentes (BLEY, 2012).

O sistema de iluminação atual, composta por lâmpadas tubulares fluorescentes tem uma vida útil de aproximadamente 7500 horas de funcionamento, e diante a nova tecnologia LED tem-se como vida útil de aproximadamente 50.000 mil horas de funcionamento, representando uma superioridade absoluta das lâmpadas.

O setor de energia está transformando o LED na grande estrela do mercado de iluminação, que além de proporcionar economia contribui para o meio ambiente. A figura 5 apresenta dados do sistema existente.

| Consumo Existente da Iluminação Interna |                                   |             |                       |                     |                        |              |                 |               |               |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|---------------------|------------------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|
| Nome do Quadro                          | Tipo de Lâmpadas                  | Quantidade  | Potência Lâmpadas (W) | Fluxo luminoso (lm) | Temperatura de Cor (K) | IRC          | Potência Reator | Vida Útil (h) | TOTAL (KW)    |
| QL-TER-01                               | Fluorescente Linear T8 - Standard | 51          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 3.284,00      |
| QL-TER-02                               | Fluorescente Linear T8 - Standard | 36          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 2.324,00      |
| QL-TER-03                               | Fluorescente Linear T8 - Standard | 36          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 2.324,00      |
| QL-TER-04                               | Fluorescente Linear T8 - Standard | 34          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 2.196,00      |
| QL-TER-BIBLI                            | Fluorescente Linear T8 - Standard | 18          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 1.172,00      |
| QL-TER-CANTINA                          | Fluorescente Linear T8 - Standard | 20          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 1.300,00      |
| QL-1PAV-01                              | Fluorescente Linear T8 - Standard | 51          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 3.284,00      |
| QL-1PAV-02                              | Fluorescente Linear T8 - Standard | 48          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 3.092,00      |
| QL-1PAV-03                              | Fluorescente Linear T8 - Standard | 48          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 3.092,00      |
| QL-2PAV-01                              | Fluorescente Linear T8 - Standard | 51          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 3.284,00      |
| QL-2PAV-02                              | Fluorescente Linear T8 - Standard | 48          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 3.092,00      |
| QL-2PAV-03                              | Fluorescente Linear T8 - Standard | 48          | 32                    | 2350                | 4100                   | 58           | 20              | 12.000        | 3.092,00      |
| <b>TOTAL</b>                            |                                   | <b>489</b>  | <b>TOTAL</b>          |                     |                        |              |                 |               | <b>31.536</b> |
| <b>POTENCIA TOTAL INSTALADA (W)</b>     |                                   |             |                       |                     |                        |              |                 | <b>31,54</b>  |               |
| <b>HORAS/DIA</b>                        |                                   | <b>6,00</b> |                       |                     |                        |              | <b>DIAS/MES</b> |               | <b>22,00</b>  |
| <b>CONSUMO TOTAL</b>                    |                                   |             |                       |                     |                        | <b>4.163</b> |                 | <b>KW/H</b>   |               |

Figura 5 - consumo existente da iluminação interna.

Na figura 5, visualiza-se o total de 489 luminárias, totalizando 978 lâmpadas fluorescentes, somando-se a todas as salas da Instituição de Ensino estudada.

A figura 6, evidencia o número de lâmpadas LED e as especificações, as quais substituirão as lâmpadas fluorescentes, proporcionando a redução de demanda prevista de 17kW, economizando cerca de 56% de energia. A figura 6 mostra o sistema proposto.

A substituição das lâmpadas é considerada uma ação que gerará uma oportunidade de eficiência energética.

O investimento total necessário para executar o projeto está descrito na figura 7.

| Consumo Proposto da Iluminação Interna |                     |                        |     |            |                |               |                    |            |
|----------------------------------------|---------------------|------------------------|-----|------------|----------------|---------------|--------------------|------------|
| Potência Máxima LED (2X)               | Fluxo Luminoso (LM) | Temperatura de Cor (K) | IRC | Quantidade | TOTAL EM WATTS | Vida Útil (h) | Redução de Consumo | TOTAL (KW) |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 51         | 918            | 25.000        | 56%                | 1.836,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 36         | 648            | 25.001        | 56%                | 1.296,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 36         | 648            | 25.002        | 56%                | 1.296,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 34         | 612            | 25.003        | 56%                | 1.224,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 18         | 324            | 25.004        | 55%                | 648,00     |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 20         | 360            | 25.005        | 55%                | 720,00     |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 51         | 918            | 25.006        | 56%                | 1.836,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 48         | 864            | 25.007        | 56%                | 1.728,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 48         | 864            | 25.008        | 56%                | 1.728,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 51         | 918            | 25.009        | 56%                | 1.836,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 48         | 864            | 25.010        | 56%                | 1.728,00   |
| 18                                     | 1850                | 4000                   | 80  | 48         | 864            | 25.011        | 56%                | 1.728,00   |
| VALOR TOTAL MENSAL SUBSTITUIÇÃO        |                     |                        |     |            |                |               |                    | 17.604     |
| POTENCIA TOTAL PROPOSTA INSTALADA (W)  |                     |                        |     |            |                | 17.604,00     |                    |            |
| HORAS/DIA                              |                     |                        |     |            | 6,00           | DIAS/MES      |                    | 22,00      |
| CONSUMO TOTAL                          |                     |                        |     |            |                | 2.323,73      |                    | KW/H       |

Figura 6 - consumo proposto da iluminação interna.

| TECNOLOGIA                      | FLUORECENTE | LED           |
|---------------------------------|-------------|---------------|
| SITUAÇÃO                        | EXISTENTE   | PROPOSTA      |
| QUANTIDADE DE LAMPADAS          | 978         | 978           |
| CUSTO UNITARIO LAMPADA PROPOSTO |             | R\$ 30,31     |
| CUSTO TOTAL PROPOSTO 1          |             | R\$ 29.643,18 |
| MÃO DE OBRA PROPOSTA            |             | R\$ 7.410,80  |
| DESCARTE DAS LAMPADAS           |             | R\$ 1.056,24  |
| CUSTO TOTAL PROJETO PROPOSTO 2  |             | R\$ 37.053,98 |
| VALORES APROXIMADOS DE IMPOSTOS | 17,39%      | R\$ 6.443,69  |
| VALOR TOTAL                     |             | R\$ 44.553,90 |

Figura 7 - Investimento previsto para execução do projeto.

Verifica-se na figura 7 o total de investimento para substituição das lâmpadas, totalizando R\$ 44.553,90. A mão de obra refere-se às despesas de terceiros e está relacionada com a retirada dos equipamentos atuais e instalação dos novos e equivalem a R\$ 7.410,80. As lâmpadas retiradas do sistema de iluminação deverão ser descartadas de maneira ambientalmente correta. Desta forma, o investimento de R\$ 1.056,24 será

necessário para encaminhar à empresa especializada em serviços de descontaminação e descarte.

A figura 8 detalha o material a ser utilizado para a substituição do projeto de eficiência energética proposto.



Figura 8 - Lâmpada Intral LED 3G2HF – 18W (INTRAL, 2021).

Uma característica importante, e que deve ser tomada como um item obrigatório no processo de aquisição das lâmpadas é a presença do selo PROCEL no produto. Este selo garante que o fabricante adotou todas as medidas exigidas pela legislação vigente para que as lâmpadas LED tenham a vida útil declarada pelo fornecedor.

#### • Prazos e Custos

Na realização da substituição foi considerada apenas a troca simples, sem realização de projeto luminotécnico, pois entende-se que na execução do posicionamento das luminárias atuais já foi contemplado de acordo com a Lei 8.666/93 e suas alterações. Diante desta realidade, as substituições são simples e podem ser divididas por várias equipes ou por um período de 1 mês após a aquisição do material em períodos que não existe aula e ficará a critério da empresa contratada.

Os custos relacionados a esta atividade serão de R\$ 45,56 por lâmpada contemplando mão de obra, material, impostos e toda logística para realização deste serviço.

#### • Análise de Viabilidade

A viabilidade financeira é um dado calculado com base nas despesas e lucros. Ela permite calcular se o investimento de tempo e dinheiro necessário para colocar em prática um plano ou projeto é viável para seus investidores. Mediante esta análise é possível mostrar dados reais sobre o provável retorno financeiro de acordo com a injeção de dinheiro e a análise de mercado (SEBRAE, 2019).

Este projeto se mostra viável em duas frentes econômicas, uma está ligada diretamente a redução monetária para a instituição estudada, fazendo com que seus custos fixos sejam menores a médio e longo prazo. Na outra frente, este projeto tem impacto

indireto no meio ambiente, porque reduz o consumo de energia, o que favorece o planeta, pois trabalha de forma mais consciente e eficiente seus recursos naturais.

Este projeto viabiliza uma economia, em valor pago por fatura, em média de mais de 50% com relação ao consumo médio atual. Na prática, em valores de moeda, essa economia representa em torno de R\$ 2.000,00 por mês.

Em cotação no site Mercado Livre, foi encontrado o equipamento que atende todas as especificações necessárias do projeto, relacionando o melhor custo benefício. As especificações do produto estão presentes na figura 9.

| DESCRIÇÃO TÉCNICA DA LÂMPADA SELECIONADA |                 |
|------------------------------------------|-----------------|
| MARCA:                                   | INTRAL          |
| REFERÊNCIA/MODELO:                       | LÂMPADA T8      |
| VOLTAGEM:                                | BIVOLT          |
| POTÊNCIA:                                | 18 W            |
| FLUXO LUMINOSO:                          | 2100 LM         |
| ÍNDICE DE PROTEÇÃO:                      | IP20            |
| ÂNGULO DE ABERTURA:                      | 200             |
| IRC:                                     | >80             |
| TEMPERATURA DE COR:                      | 6000K           |
| DIMERIZAÇÃO:                             | NÃO DIMERIZÁVEL |
| BASE:                                    | G13             |
| ACABAMENTO/COR:                          | BRANCO          |

Figura 9 - Especificações da lâmpada selecionada (INTRAL, 2021).

O valor do custo do material de 978 lâmpadas, a um preço unitário de R\$49,95, ficou em um total de R\$ 29.643,18.

Considerando o valor médio, em torno de R\$ 2.000,00 mensais, que terão de economia com o novo projeto, o custo de substituição de todas as lâmpadas se liquidaria em torno de 15 meses, que seria seu *payback*.

Considerando a vida útil das lâmpadas, de 25.000 horas, a uma taxa média de uso diário de 6 horas, as lâmpadas funcionariam durante mais de 11 anos, o que representa uma economia de mais de R\$ 230.000,00.

No entanto, se a FATEC Franco da Rocha considerar o projeto pela contratação de Pessoa Jurídica para realização desta atividade, o custo unitário vai passar a ser por lâmpada R\$ 45,56 e seu *payback* em torno de 23 meses, que é a melhor situação adotada por se tratar de mão de obra qualificada e garantias contratuais.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo permitiu constatar as vantagens da modernização das lâmpadas instaladas na FATEC Franco da Rocha, contribuindo para a redução da energia elétrica e

maior eficiência do sistema de iluminação interna com a utilização das lâmpadas LED, que é o sinônimo de economia em iluminação.

Na realização deste projeto foram contempladas todas as fases de coleta de dados e desenvolvimento e, posteriormente a empresa contratada para a realização desse serviço, deverá seguir o regimento interno do Centro Paula Sousa executando de acordo com o cronograma físico e financeiro proposto no processo de licitação desenvolvido.

Como resultados espera-se proporcionar a redução de energia elétrica com a eficiência luminosa conforme apresentado neste estudo.

Este estudo permitiu perceber as vantagens dos LEDs em relação às lâmpadas convencionais e a importância da sua utilização. O uso desta tecnologia como alternativa de recurso energético no Brasil, proporciona economia de energia elétrica, contribuindo para um consumo consciente deste recurso energético.

Evidencia-se no estudo que o investimento na aquisição de lâmpadas LED é viável, levando em consideração a aplicação e período até o momento estudado. Isto se deve à eficiência energética e durabilidade dos LEDs, quando considerado o investimento total pela instituição e o prazo de retorno do investimento.

Verificou-se com os cálculos da viabilidade econômico-financeira do projeto que com a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas LED podem proporcionar uma economia de 56% no consumo total da energia elétrica para a instituição.

#### • **Inspeção dos Resultados obtidos após um Período Determinado**

De acordo com a NBR 5413, estabelece para uma sala de aula o nível de iluminância média de 300 lux, em virtude das diferenças de idades dos alunos e considerando diferenças nos períodos matutino, vespertino e noturno. Já a temperatura de cor, ficará em torno de 6.000 K.

Com o crescimento de utilização de salas consequentemente com entradas de novos alunos, propõe-se vistorias a cada 6 meses com uso de luxímetro para avaliar o nível de iluminação ao longo de sua utilização por amostragem, e visualização física a ser realizada pelos professores para constatação de pontos apagados ou anomalias nos circuitos elétricos.

## **4 | CONCLUSÃO**

Este trabalho mostra que mesmo a FATEC Franco da Rocha tendo um curso tão importante e tão atual, como é o curso de Gestão de Energia e Eficiência Energética, as instalações da faculdade seguem um padrão antigo que nada tem a ver com eficiência energética, mais especificamente falando da iluminação com lâmpadas fluorescentes, que na realização do projeto e escolha dos equipamentos inseridos e detalhados no processo licitatório não se preocupou com as informações contidas neste trabalho.

Mesmo com o cenário da pandemia atual, este projeto não foi impactado pelas dificuldades, apesar da FATEC Franco da Rocha estar fechada, e alguns dados não relevantes como ilustrações dos ambientes, por exemplo, não foram obtidos neste momento.

Foi identificada a melhor tecnologia disponível no momento no mercado para a iluminação, que é a tecnologia LED para implantação neste projeto. Trata-se de uma mudança técnica, sustentável e economicamente viável. Com a realização do diagnóstico e análise do sistema de iluminação da FATEC Franco da Rocha foram observados os tipos de equipamentos e indicou-se um sistema de iluminação eficiente utilizando materiais de maior durabilidade, eficiência e economia, alterando apenas os equipamentos atuais com o proposto sem interferir em seu posicionamento.

O ponto que surpreendeu favoravelmente foi o cálculo da eficiência energética, pois não era esperada a economia proposta.

Sabe-se que há um longo caminho a ser percorrido e os administradores necessitam despertar e considerar os programas de eficiência energética, contando com a cooperação de acadêmicos, especialistas e empresas, pois o consumo de energia elétrica tende sempre a crescer, se não houver uma adequada gestão voltados ao combate do desperdício de recursos públicos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Coleta de resíduos sólidos. 1995. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-13463-Coleta-de-res%C3%ADuos-s%C3%B3lidos.pdf>. Acesso em: 5 de maio de 2021.

BARBOSA, Patrícia de Souza Medeiros. Verificação da ocorrência de mercúrio nos resíduos de lâmpadas trituras após processamento em equipamentos móveis. Piracicaba, 2015. 19 f. TCC (Especialização em Gerenciamento Ambiental) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, Piracicaba, 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Patricia-S-M- Barbosa.pdf>. Acesso em: 5 de maio de 2021.

BLEY, Francis Bergmann. LEDs versus Lâmpadas Convencionais Viabilizando a troca. Brasil: Especialize Revista online. IPOG, 2012. Disponível em: [https://www.academia.edu/26255040/LEDs\\_versus\\_L%C3%A2mpadas\\_Convencionais\\_LEDs\\_versus\\_L%C3%A2mpadas\\_Convencionais\\_Viabilizando\\_a\\_troca](https://www.academia.edu/26255040/LEDs_versus_L%C3%A2mpadas_Convencionais_LEDs_versus_L%C3%A2mpadas_Convencionais_Viabilizando_a_troca). Acesso em: 5 de maio de 2021.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. CBCS - 2016. Guia Prático para Realização de Diagnósticos Energéticos em Edificações. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7BB6F7573B-CB26-4363-9E8F-64F8B72018C1%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D#:~:text=Este%20Guia%20de%20Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos,na%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20di%2D%20agn%C3%B3sticos>. Acesso em: 5 de maio de 2021.

ELECTRICAL WASTE. Lamp Recycling. Disponível em: [https://www.electricalwaste.com/services/lamp\\_recycling](https://www.electricalwaste.com/services/lamp_recycling). Acesso em: 4 de abril de 2021.



EMPRESA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. NOTA TÉCNICA DEA 14/10 Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019). Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-270/20100809\\_4\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-270/20100809_4[1].pdf). Acesso em: 5 de maio de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. [s.d.]. Fontes de Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abccenergia/fontes-de-energia#TOPO>. Acesso em: 5 de maio de 2021.

INTRAL. Lâmpada Tubo LED VD. 2021. Disponível em: <https://www.intral.com.br/pt/produtos/lampadas-led/tubo-led/lampada-tubo-led-vd>. Acesso em: 15 de junho de 2021.

LOPES, Leonardo Barbosa. Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública. Rio de Janeiro, 2014. 13 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: [http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/mono\\_poli10010665.pdf](http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/mono_poli10010665.pdf). Acesso em: 5 de maio de 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. [s.d.]. Eficiência Energética em Prédios Públicos. Disponível em: [https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/344/2015/03/Eficiencia\\_energetica\\_em-predios\\_publicos.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/344/2015/03/Eficiencia_energetica_em-predios_publicos.pdf). Acesso em: 5 de maio de 2021.

MOURA, Mariangela de. ILUMINAÇÃO: análise de cenários utilizando a tecnologia LED. Niterói, 2015. 59 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015. Disponível em: [http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/dout.\\_mariangela4formatada.pdf](http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/dout._mariangela4formatada.pdf). Acesso em: 5 de maio de 2021.

OLIVEIRA, Isaac de. O que foi o apagão de 2001? A conta de luz subiu? Pode acontecer de novo?. UOL ECONOMIA, Brasil, 10, jun. 2021. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/faq/o-que-foi-o-apagao-de-2001-risco-acionamento-energia-eletrica.htm>. Acesso em: 15 de junho de 2021.

RIBEIRO, Ana Cristina Cota; ROSA, Helbert Carlos Pinto; CORREA, Joana D'arque da Silva; SILVA, Arlete Vieira da. O emprego da Tecnologia LED na Iluminação Pública. E-xacta, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 111-132. (2012). Editora UniBH. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/725/450>. Acesso em: 5 de maio de 2021.

SEBRAE. Viabilidade financeira. 2019. Disponível em: [https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/viabilidade-financeira,4e8ccd18a819d610VgnVCM1000004c\\_00210aRCRD](https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/viabilidade-financeira,4e8ccd18a819d610VgnVCM1000004c_00210aRCRD). Acesso em: 5 de maio de 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE ENERGIA. Manual de Economia de Energia Elétrica na Escola. 2019. Disponível em: <https://midiasstoragesec.blob.core.windows.net/01/2019/03/manual-de-economia-de-energia-eletrica-na-escola.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2021.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Almicar; GORINI, Ricardo. Matriz Energética Brasileira. Brasil: CEBRAP, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2021.

## FORMAÇÃO INICIAL DOCENTE EM GEOGRAFIA: A IMPORTÂNCIA DE SITUAR A ALFABETIZAÇÃO CARTOGRÁFICA NO CONTEXTO DA ALFABETIZAÇÃO ESPACIAL

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 04/11/2021

**Ronaldo Goulart Duarte**

Professor Adjunto do Instituto de Geografia  
da Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Campus Maracanã, cidade do Rio de Janeiro,  
RJ

<http://orcid.org/0000-0002-0061-6716>  
<http://lattes.cnpq.br/6490354247259778>

**RESUMO:** O presente trabalho tem a finalidade de contribuir para a formação inicial docente, através da proposta de avançar na fundamentação quanto ao uso pedagógico da Cartografia Escolar na Educação Geográfica brasileira. Com esse fim, desenvolvemos uma discussão de fundo teórico, mas de grande potência metodológica e operacional para o trabalho docente. Trata-se de situar o processo de alfabetização cartográfica nos contextos mais amplos das alfabetizações, gráfica, espacial e geográfica. Objetiva-se favorecer a consecução das mais abrangentes finalidades da alfabetização cartográfica para o ensino da Geografia, rompendo com a prática muito comum de considerá-la, explícita ou implicitamente, como um fim em si mesma. Os referenciais bibliográficos repousam tanto na Cartografia Escolar brasileira, quanto nos autores internacionais do campo de pesquisa denominado como *Spatial Thinking* (Pensamento Espacial). À luz da bibliografia consultada, apresentamos a alfabetização espacial de caráter geográfico como sendo a expressão da capacidade do indivíduo

de mobilizar os conhecimentos geográficos, associados às potencialidades do pensamento espacial e de forma articulada com as múltiplas possibilidades de representar o espaço e de se pensar com o espaço. O resultado esperado é que isso desemboque em níveis mais avançados de proficiência quanto à capacidade do discente/cidadão de compreender as formas e processos atuantes/resultantes das complexas interações que envolvem o binômio natureza-sociedade.

**PALAVRAS-CHAVE:** alfabetização espacial; pensamento espacial; alfabetização cartográfica; alfabetização geográfica.

### GEOGRAPHY TEACHER EDUCATION: THE IMPORTANCE OF PLACING CARTOGRAPHIC LITERACY IN THE CONTEXT OF SPATIAL LITERACY

**ABSTRACT:** This work is an attempt to contribute to the initial geography teacher training process, trying to fortify the foundations regarding the pedagogical use of School Cartography in Brazilian geography education. With such a goal, we have developed a theoretical discussion, but with great methodological and operational power for teaching work. It is about placing the cartographic literacy process in the broader contexts of graphic, spatial and geographical literacies. The aim is to foster the achievement of the most comprehensive purposes of cartographic literacy for teaching Geography, breaking with the very common practice of considering it, explicitly or implicitly, as an end in itself. Bibliographic references are based both on Brazilian School Cartography and on international authors from the field of research known as *Spatial Thinking*. In the

light of the consulted bibliography, we present geographic spatial literacy as the expression of the individual's ability to mobilize geographical knowledge, associated with the potential of spatial thinking and articulated with the multiple possibilities of representing space and thinking with space. The expected result is that such pedagogical approach leads to more advanced levels of proficiency in terms of the student's ability to understand the sociospatial forms and processes associated with the complex interactions involving nature-society relationship.

**KEYWORDS:** spatial literacy; spatial thinking; cartographic literacy; geographic literacy

## 1 | INTRODUÇÃO

A Cartografia Escolar brasileira vive, na avaliação de muitos, e já há algum tempo, algumas ambiguidades. Por um lado, a crescente e animadora ampliação das pesquisas e trabalhos publicados adensam a qualidade das fundamentações e práticas que subsidiam o uso pedagógico do mapa nas aulas de Geografia. Por outro lado, a persistência de problemas crônicos, já longamente denunciados: subutilização ou mesmo negligência quanto ao uso da linguagem cartográfica no cotidiano escolar, deficiência na formação inicial docente quanto à proficiência cartográfica, carência de disciplinas de graduação voltadas especificamente para o propósito de instrumentalizar o professor quanto ao uso pedagógico do mapa, uso predominantemente ilustrativo dos recursos cartográficos nas obras didáticas, apenas para citar alguns dos mais recorrentes.

Sabemos que essas problemáticas são complexas e que as soluções dependem de amplo e articulado conjunto de medidas com eficácia de médio/longo prazo. Contudo, a nosso juízo, parte do problema reside na falta de clareza do papel da Cartografia Escolar no seio da Educação Geográfica. Apesar de todos os esforços acadêmicos das últimas décadas, não é raro lermos textos e observarmos práticas nas quais a alfabetização cartográfica é encarada como um processo de ensino-aprendizagem cujo fim último se esgota no domínio da semiologia que envolve essa linguagem. Queremos neste texto nos alinhar com aqueles que entendem que, para a Educação Geográfica, a alfabetização cartográfica é um meio privilegiado para se atingir objetivos mais amplos da alfabetização espacial (com ênfase para o desenvolvimento do pensamento espacial) e da alfabetização ou letramento geográfico. E esse quadro de referência precisa ser incorporado de forma consistente ao processo de formação inicial docente e fomentado no processo de formação continuada, sob pena de continuarmos reproduzindo equívocos já há muito apontados pelos pesquisadores da área.

Com esse propósito em mente iremos, neste texto, situar o objetivo geral da Educação Geográfica, como sendo o de favorecer o desenvolvimento de um tipo de pensamento ou raciocínio de caráter geográfico, o qual é inseparável dos fundamentos da Geografia científica, ainda que distinto desta. Portanto, deixaremos claro, já de início, que o desenvolvimento do pensamento espacial ou, para alguns, o processo de alfabetização espacial e o desenvolvimento de competências vinculadas à linguagem gráfica em geral e

à cartográfica em particular, não constituem, do ponto de vista da Educação Geográfica, um fim, mas sim partes do processo mais amplo de alfabetização geográfica, isto é, do processo de construção de um pensamento geograficamente fundamentado para a interpretação da realidade.

Também é importante sublinhar que, quando falamos em pensamento espacial estamos usando o referencial do campo de pesquisas denominado internacionalmente como *Spatial Thinking* e cuja definição maior encontra-se no relatório do Conselho Nacional de Pesquisa estadunidense (*National Research Council - NRC*), publicado em 2006, com o título: *Learning to Think Spatially: GIS as a Support System in the K-12 Curriculum*. Em tradução livre: “Aprendendo a pensar espacialmente: Sistemas de Informações Geográficas como sistemas de apoio ao currículo da escola básica (ensino fundamental e médio<sup>1</sup>). Na introdução do documento, encontramos uma definição que se tornou referência para os que trabalham com o assunto e que consolidou a compreensão dos três pilares cognitivos do *spatial thinking*: “Pensamento espacial – um tipo de pensamento – é baseado na amálgama de três elementos: conceitos espaciais, instrumentos de representação e processos de raciocínio” (NRC, 2006, ix).

## 21 A EDUCAÇÃO GEOGRÁFICA E A TAREFA DE ENSINAR A PENSAR GEOGRAFICAMENTE

Como princípio geral, e considerando a produção bibliográfica na área, pensamos não haver grande discordância acerca da ideia de que a disciplina Geografia na educação básica brasileira, tem como principal propósito contribuir para a construção de uma perspectiva geográfica de análise da realidade, algo que poderíamos denominar como a busca pelo desenvolvimento de certo tipo de raciocínio marcadamente geográfico.

No entanto, se quisermos avançar para além dessa afirmativa de largo espectro em direção a uma definição mais cuidadosamente delimitada e mais operacional do que seria esse pensamento geográfico, as coisas se complicam consideravelmente. Não é à toa que John Morgan abre o capítulo de um livro britânico sobre a Educação Geográfica, fazendo referência a uma frase conhecida entre seus pares anglo-saxônicos e que expressa, de forma irônica, a frustrante dificuldade de definir o que é Geografia: “Geografia é o que os geógrafos fazem” (MORGAN, 2013, p.273, tradução nossa).

Para a construção da definição em tela, se ela for avaliada como possível, precisaríamos considerar o paradigma teórico ao qual está vinculado o pensamento geográfico que estamos buscando construir através da Educação Geográfica. Na pluralidade de paradigmas que vem marcando a era pós-moderna na Geografia essa demarcação torna-se extremamente difícil, como sabemos, pelo menos se a intenção for a de identificar

---

<sup>1</sup> Nos Estados Unidos, a expressão K-12 refere-se à ampla fase de escolarização pré-universitária que começa no jardim da infância, o Kindergarten, e vai até o décimo segundo ano, que corresponde ao terceiro ano do ensino médio no Brasil.

um paradigma francamente hegemônico no seio da comunidade geográfica.

Para não ficarmos paralisados por essa discussão, optamos por construir alguns balizamentos a partir de um artigo de Reginald Golledge (2002), o qual se alinhou muito firmemente com aqueles que advogam a existência desse pensar tipicamente geográfico. Golledge escreveu um artigo que se tornou referência na Geografia estadunidense cujo título é: “A Natureza do Conhecimento Geográfico” (*The Nature of Geographic Knowledge*). O autor abre o texto do referido artigo afirmando que: “Conhecimento geográfico é o produto do pensamento e do raciocínio geográfico acerca dos fenômenos naturais e humanos do mundo” (GOLLEDGE, 2002, p.1, tradução nossa).

Na sequência de seu texto, Golledge, baseado no exame da literatura geográfica publicada nos 50 anos anteriores ao seu artigo, realiza a compilação de uma lista (que ele define como parcial ou não exaustiva) de processos de pensamento/raciocínio que possam ajudar a responder à pergunta: O que está incluído no pensamento/raciocínio geográfico? Como esforço de síntese, faz a afirmação cristalina de que: “Em resumo, o pensamento e o raciocínio geográfico fornecem a base para o entendimento – ou a racionalização – sobre *porque* existem efeitos espaciais e não apenas descobrir *quais* são eles” (GOLLEDGE, 2002, p.6, tradução nossa, grifos do autor). Observe o Quadro 1.

| Quadro 1 – TIPOS DE RACIOCÍNIO GEOGRÁFICO                                                                                          |                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 – Compreender mudanças de escala.                                                                                                | 11 – Compreender localizações e lugares.                                                                                    |
| 2 – Estar apto a transformar percepções, representações e imagens de uma dimensão para a outra e ser capaz de reverter a operação. | 12 – Compreender densidade e declínio da densidade (gradientes de densidade populacional em diferentes conjuntos culturais) |
| 3 – Compreender relações hierárquicas e quadros de referência (cardeal, relacional, local, global).                                | 13 – Compreender orientação e direção (ex: para frente/para trás; esquerda/direita; norte/sul/leste/oeste).                 |
| 4 – Compreender problemas de alinhamento espacial.                                                                                 | 14 – Compreender formas e padrões espaciais (geometria e topologia)                                                         |
| 5 – Compreender o efeito da distância (ex: fricção da distância <sup>2</sup> ).                                                    | 15 – Compreender sobreposição e dissolução (agregação e desagregação espacial)                                              |
| 6 – Compreender associações espaciais (positivas e negativas).                                                                     | 16 – Compreender de forma integrada características geográficas representadas (como pontos, redes e regiões).               |
| 7 – Compreender classificação espacial (regionalização)                                                                            | 17 – Compreender delimitação espacial (interpolação)                                                                        |
| 8 – Compreender aglomeração e dispersão (tendência à centralização e à dispersão)                                                  | 18 – Compreender proximidade e adjacência (vizinho mais próximos) e seus efeitos (fricção da distância).                    |

<sup>2</sup> Refere-se ao conceito geográfico denominado em inglês como distance decay. Modelo que serve para avaliar os efeitos da distância sobre os fenômenos e processos geográficos

|                                                         |                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9 – Compreender mudança espacial e difusão espacial.    | 19 – Reconhecer formas espaciais (como estruturas espaciais de cidades; relacionadas a cortes ou seções transversais de blocos-diagrama e imagens tri-dimensionais). |
| 10 – Compreender hierarquias espaciais e não espaciais. |                                                                                                                                                                      |

(GOLLEDGE, 2002, pp.4-6, tradução nossa)

Ampliando o nosso escopo de argumentação, queremos advogar que na Educação Geográfica brasileira está igualmente presente essa mesma perspectiva de que existe uma forma de pensar que é tipicamente disciplinar e de que cabe à versão escolar da Geografia desenvolver esse tipo de cognição entre os estudantes que frequentam o ensino básico. Um primeiro exemplo nos é dado por Sonia Castellar:

O fundamental para a Geografia escolar é possibilitar ao aluno uma aprendizagem no sentido da consciência geográfica, entendendo a localização dos lugares e fenômenos e, a partir disso, podendo raciocinar geograficamente, compreendendo a ordenação territorial, a espacialidade e/ou territorialidade dos fenômenos, a escala social de análise. (CASTELLAR, 2011, p.134).

Na mesma linha, podemos incluir a posição da professora Lana Cavalcanti quando afirma que:

Direcionar os conteúdos por questionamento é uma abordagem peculiar, que difere daquela que apenas apresenta as características de um objeto. Nesse encaminhamento, não está a preocupação de explorar todos os aspectos do fenômeno, mas está subjacente uma abordagem, um modo de pensar a respeito de algo, um raciocínio, uma maneira de pensar geograficamente, um raciocínio geográfico (CAVALCANTI, 2012, p.135, grifo nosso).

Por tudo isso, pensamos que fica clara a necessidade de situarmos o processo de alfabetização cartográfica nessa finalidade mais ampla da Educação Geográfica, conforme procuraremos fundamentar na próxima seção.

### **3 | A ALFABETIZAÇÃO CARTOGRÁFICA COMO ELEMENTO DISTINTO, MAS CENTRAL, DA ALFABETIZAÇÃO GEOGRÁFICA**

Desejamos neste momento situar sucintamente o pensamento geográfico e o pensamento espacial, no contexto da alfabetização gráfica e no quadro mais geral daquilo que alguns autores vêm denominando como alfabetização ou letramento espacial.

Nossa primeira preocupação é fazer um breve comentário sobre esse quarteto de expressões do parágrafo anterior, os quais possuem algumas superposições semânticas. No Brasil há relativamente pouca referência aos conceitos de alfabetização ou letramento espacial, pelo menos na bibliografia referente à produção acadêmica da Educação Geográfica. Mais difícil ainda é encontrar definições e trabalhos mais elaborados sobre

o que seria a contribuição da Educação Geográfica para essa alfabetização/letramento espacial do cidadão.

Mas esse quadro mais geral não impede que haja autores que se aproximam muito da concepção que estamos abraçando neste texto. Este é o caso, por exemplo, de Sônia Castellar e Jerusa Vilhena (2010). As autoras situam claramente a Cartografia Escolar dentro do universo mais amplo do que denominam como letramento geográfico, no sentido de desenvolver uma forma geográfica de pensar ou de analisar a realidade, como discutimos na seção anterior. Dessa forma, as geógrafas encaminham-se para a nossa perspectiva de situar a Cartografia em um processo mais amplo de pensar com o uso do espaço, fugindo das afirmações frequentemente encontradas nos textos da área que, explícita ou implicitamente, advogam que o domínio dos códigos da Cartografia, por eles mesmos, conduzem o aluno/cidadão a pensar geograficamente ou espacialmente. As pesquisadoras demonstram ainda mais claramente a sua proximidade com a nossa ótica quando usam o termo letramento geográfico em sentido próximo ao de alfabetização/letramento espacial para defenderem que:

O letramento geográfico é, portanto, o *ponto de partida para estimular o raciocínio espacial do aluno* (grifo nosso), articulando a realidade com os objetos e os fenômenos que querem representar, na medida em que se estrutura a partir das noções cartográficas. (CASTELLAR e VILHENA, 2010, p.25).

Nesta altura, é bom deixarmos claro um ponto. Em primeiro lugar, ao buscarmos inscrever a Cartografia Escolar no quadro mais geral do desenvolvimento do pensamento geográfico ou daquilo que autores como Castellar e Vilhena (2010) denominam como letramento geográfico, não estamos diminuindo a relevância da alfabetização cartográfica em todo esse processo de desenvolvimento do pensamento geográfico e do pensamento espacial. Ao contrário, nosso entendimento é o de que a linguagem cartográfica é sim o principal alicerce desse letramento ou alfabetização geográfica e que deve ser um duplo de conteúdo e metodologia onipresente na Educação Geográfica. Estamos apenas tentando romper com uma visão subjacente a alguns textos de que a alfabetização cartográfica parece ser um fim em si mesma e situá-la em uma perspectiva que permita valorizar todo o seu potencial analógico e metodológico para o cotidiano escolar dos professores de Geografia.

#### **4 | UMA MACROAPRENDIZAGEM, DE CARÁTER TRANSDISCIPLINAR: A ALFABETIZAÇÃO ESPACIAL**

Podemos situar os primórdios da teorização acerca da alfabetização espacial em meados dos anos de 1960, quando os britânicos William Balchin e Alice Coleman propuseram, pela primeira vez, em um influente artigo<sup>3</sup>, o uso do termo *graphicacy*, que

3 O artigo em questão era intitulado "Graphicacy should be the fourth ace in the pack" ("A Alfabetização gráfica deveria

pode ser traduzido como proficiência gráfica ou mesmo alfabetização gráfica sendo que, neste trabalho, optaremos pela segunda tradução. Aliás, o artigo fazia justamente a defesa da equiparação do aprendizado gráfico em relação às outras alfabetizações já clássicas: *literacy* (alfabetização literária), *numeracy* (alfabetização numérica) e *articulacy* (oratória). Segundo Boardman (1983) a dupla de autores criadoras do vocábulo:

(...) notou a falta de uma palavra que descrevesse a comunicação de relações espaciais, como na planta de uma casa, o traçado de uma fazenda, o mapa de uma vila, o caminho através de uma cidade, o desenho de uma forma de relevo ou a fotografia de uma paisagem (BOARDMAN, 1983, Prefácio, tradução nossa).

De acordo com o mesmo Boardman (1983), a alfabetização gráfica (*graphicacy*) tornou-se parte do vocabulário de todo professor de Geografia do Reino Unido após o discurso de Balchin como presidente da Associação Geográfica Britânica, em 1972. Naquela ocasião, ainda de acordo com Boardman, Balchin teria definido com precisão o que entende por alfabetização gráfica: “A comunicação da informação espacial que não pode ser adequadamente transmitida por meio numérico ou verbal” (BOARDMAN, 1983, Prefácio, tradução nossa). Mas, o geógrafo britânico que, partindo do caminho apontado por William Balchin, mais avançou na busca de construir uma verdadeira *práxis* da alfabetização gráfica voltada para o ensino de Geografia foi o próprio David Boardman, notadamente em sua obra mais importante: *Graphicacy and Geography Teaching* (Alfabetização Gráfica e Ensino de Geografia, em tradução nossa), publicado em 1983.

O autor assentou os seus fundamentos acerca da alfabetização gráfica em dois pilares teóricos bastante conhecidos pelos autores brasileiros da Cartografia Escolar. O primeiro é a epistemologia genética de Piaget e particularmente as ideias desenvolvidas em seu livro (em coautoria com Bärbel Inhelder) “A concepção de espaço na criança” (1956). O segundo pilar de Boardman foi o paradigma da comunicação cartográfica, principalmente balizado pelo modelo elaborado por Christopher Board, em 1967.

Como apontam Wakabayashi e Ishikawa (2011, p.306), a concepção de alfabetização gráfica que predominou até a década de 1980 era quase que exclusivamente relacionada com as representações cartográficas. No apêndice do seu livro, Boardman apresenta uma lista com uma centena de habilidades gráficas, distribuídas entre várias faixas etárias entre 5 e 19 anos. A leitura desse cento de habilidades gráficas confirma claramente essa visão de similitude entre as duas alfabetizações.

Mas hoje sabemos que não há essa plena congruência entre as duas alfabetizações. Como nos lembram Bednarz e Kemp (2011, p.21) e Wakabayashi e Ishikawa (2011, p.306), a linguagem cartográfica é uma modalidade da linguagem gráfica, na qual precisamos incluir também, pelo menos, os gráficos e as redes, como aponta Martinelli na introdução do seu livro sobre o assunto (2014, p.5). A despeito desse fato, é inegável que, para a

---

ser o quarto *Às do baralho*”, em tradução nossa), publicado no The Times Educational Supplement, em 1965, e republicado no THE CARTOGRAPHER, Vol.3, n.1, June 1966.



Geografia, a alfabetização cartográfica representa grande parte da alfabetização gráfica e que ela é o subsídio essencial para o pensamento geográfico. A nosso juízo, ainda podemos considerar válida (com algumas ressalvas) a já mencionada afirmação de David Boardman de que “A alfabetização gráfica dá à Geografia o seu *ethos*. É a grande contribuição da Geografia ao currículo” (BOARDMAN, 1983, Prefácio, tradução nossa).

## 5 | ALFABETIZAR ESPACIALMENTE E ALFABETIZAR GRAFICAMENTE: PROCESSOS DE ENSINO-APRENDIZAGEM CORRELATOS, MAS NÃO SINONÍMICOS

Qual a diferença entre alfabetizar espacialmente e alfabetizar graficamente? Não podemos considerar esses dois processos de aprendizagem como sinônimos? A resposta, dada a partir da bibliografia consultada é claramente negativa. Bednarz e Kemp constituem uma primeira e importante referência bibliográfica que nos ajuda a fazer a distinção entre essas duas alfabetizações:

Para os propósitos deste artigo e como ponto de partida, nós conceitualizamos alfabetização espacial, de acordo com Goodchild, como uma ampla gama de perspectivas, conhecimentos, habilidades e disposições mentais. A aplicação de tudo isso pode ser caracterizado como pensamento espacial; raciocínios espaciais constituem sub-habilidades do pensamento espacial, distinguidas como processos específicos aplicados quando estamos pensando espacialmente para resolver problemas e tomar decisões. Alfabetização espacial, presumimos, é o resultado do pensamento espacial e dos raciocínios espaciais: se alguém pode pensar e raciocinar no, com e sobre o espaço, esse alguém pode ser considerado alfabetizado espacialmente. (BEDNARZ e KEMP, 2011, p.20, tradução nossa).

A citação acima é muito útil para o nosso propósito de clarificar a distinção entre alfabetizar espacialmente e graficamente. Pensamos que fica claro que a alfabetização espacial, para além do domínio das formas gráficas de representação do espaço, abarca alguma forma de cognição espacial ou pensamento espacial. É importantíssimo sublinhar que esse pensar *no*, *com* e *sobre* o espaço não é o mero resultado automático da alfabetização gráfica, e isso é apontado por diversos autores.

As habilidades referentes à alfabetização gráfica/cartográfica devem dialogar com os processos de raciocínio ou pensamento espacial para que o indivíduo possa desenvolver a alfabetização espacial. Não basta compreender a relação matemática envolvida na escala cartográfica, como funciona o sistema de representação por curvas de nível ou o que é um *raster*<sup>4</sup> em programas como o ArcView®. O indivíduo alfabetizado espacialmente precisa unir o domínio desse instrumental ao desenvolvimento do pensamento espacial para ser alfabetizado espacialmente. Se, além disso, ele agregar a mobilização articulada

4 Em um software de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) constitui a base de dados geográficos em que toda a informação cartográfica é representada em forma de quadriculas regularmente ordenadas (TEIXEIRA e CRISTO-FOLETTI, 1997, p.194)

de conhecimentos geográficos (informações, processos e teorias), ele expressará sua capacidade de pensar geograficamente.

Dito de outra forma, ao mobilizarmos a tríade composta por alfabetização gráfica, pensamento espacial e conhecimentos geográficos, colocaremos em ação aquilo que denominamos como pensamento geográfico e essa competência é uma demonstração inequívoca de uma alfabetização espacial singular. Ou seja, demonstraremos que além de alfabetizados espacialmente somos também alfabetizados geograficamente. Pensamos que uma boa ilustração é a proposta de Goodchild do que deveria constar no programa de um curso básico de alfabetização espacial (ver Quadro 2).

| <b>Quadro 2 – Ementa de um programa de curso básico de alfabetização espacial</b>                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 – Conceitos básicos do pensamento espacial: localização e lugar, distância e direção, relações topológicas, orientação, leitura de mapas, etc.                                                    |
| 2 – Fundamentos do pensamento geográfico, como os conceitos de vizinhança, interação espacial, competição por espaço, território, migração e contexto espacial.                                     |
| 3 – Visualização, cartografia e as maneiras como os seres humanos se expressam visualmente.                                                                                                         |
| 4 – Conceitos básicos dos Sistemas de Informações Geográficas: rasters e vetores, camadas e sobreposições de camadas, pontos, linhas e polígonos e o mundo dos dados e infraestrutura geoespaciais. |
| 5 – Formas como os seres humanos descrevem e registram o mundo usando sistemas de coordenadas, datums <sup>5</sup> e projeções cartográficas.                                                       |
| 6 – Propriedades especiais dos dados geográficos, particularmente dependência espacial e heterogeneidade espacial.                                                                                  |
| GOODCHILD, 2006, p.2, tradução nossa.                                                                                                                                                               |

Como se pode apreender da leitura do quadro 2, a proposta de ementa elaborada por Goodchild possui um viés explicitamente geográfico e, com certeza, a proposta seria diferente se elaborada por um arquiteto, por um psicólogo cognitivo ou por um engenheiro mecânico. A alfabetização espacial (entendida como vinculada ao pensamento espacial no seu sentido mais amplo e não apenas geográfico) não se confunde com o que poderíamos chamar de alfabetização geográfica ou, em outras palavras, com o desenvolvimento de uma forma geográfica de pensar ou analisar a realidade.

## 6 | CONCLUSÃO

À luz da bibliografia consultada, apresentamos a alfabetização espacial de caráter geográfico como sendo a expressão da capacidade do indivíduo de mobilizar os conhecimentos geográficos, associados à potência do pensamento espacial e de forma articulada com as múltiplas possibilidades de representar o espaço e de se pensar com

<sup>5</sup> Qualquer quantidade numérica ou geométrica, ou conjunto de tais quantidades que podem servir como referência ou base para o cálculo de outras quantidades; superfície de referência que contém cinco quantidades: a latitude e longitude de um ponto inicial, o azimute de uma linha partindo desse ponto e duas constantes necessárias à definição do esferoide de referência (OLIVEIRA, 1980,p.99).

o espaço, de modo a que tudo isso resulte em diferentes níveis possíveis de proficiência quanto à capacidade de compreender as formas e processos resultantes das complexas interações que envolvem o binômio natureza-sociedade.

Entendemos que essa formulação é útil para situar a temática do pensamento espacial em um quadro de referência mais amplo, que é simultaneamente articulado à dupla Geografia-Cartografia e com o amplo campo de interlocução disciplinar que é abrangido pela competência de ser alfabetizado espacialmente. Mas, neste trabalho, são os nexos entre a dupla mencionada que serão priorizados. Especialmente no que tange às contribuições da Cartografia para se pensar geograficamente com o uso da capacidade de pensar espacialmente.

## REFERÊNCIAS

BEDNARZ, Sarah; KEMP, Karen. Understanding and nurturing spatial literacy. **Procedia—Social and Behavioral Sciences**, 2011, 21, 18-23. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em: 29/05/2013.

BOARDMAN, David. **Graphicacy and Geography Teaching**. London/Camberra: Croom Helm, 1983.

CASTELLAR, Sonia. M. V. A Cartografia e a construção do conhecimento em contexto escolar. In: ALMEIDA, Rosângela Doin de. (Org.). **Novos Rumos da Cartografia Escolar: Currículo, linguagens e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Contexto, 2011. pp. 121-135

CASTELLAR, Sonia. M. V.; MORAES, J. V. **Ensino de Geografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

CAVALCANTI, Lana de S. **O Ensino de Geografia na Escola**. Campinas: Papirus, 2012.

GOLLEDGE, R. G. The nature of geographic knowledge. In: **Annals of the Association of American Geographers** 92 (1):1–14. 2002. Disponível em: <http://www.gvsu.edu/cms3/assets/B6FD1115-EC01-A2A3-30867A2784081D10/TheNatureofGeographicalKnowledge.pdf> (Acesso em 20/02/2014)

GOODCHILD M.F. The fourth R? rethinking GIS education. **Arc News Online**, 2006; **28**(3): 11. Disponível em: <http://www.esri.com/news/arcnews/fall06/articles/the-fourth-r.html> (Acesso em 28/03/2014)

MARTINELLI, Marcelo. **Mapas, gráficos e redes: elabore você mesmo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

MORGAN, JOHN. What do we mean by thinking geographically? In: LAMBERT, David e JONES, Mark (orgs). **Debates in Geography Education**. New York: Routledge, 2013. pp.273-281.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum**. Washington: National Research Council Press, 2006. ISBN: 0-309-53191-8, 332 p. Disponível em <http://www.nap.edu/catalog/11019.html> (Acesso em 03/07/2013).

PIAGET, Jean e INHELDER, Barbel. **The Child's Conception of Space**. London: Routledge & Kegan Paul, 1956.

TEIXEIRA, A. e CHRISTOFOLETTI, A. **Sistemas de Informações Geográficas – Dicionário Ilustrado**. São Paulo: Hucitec, 1997.

WAKABAYASHI, Yoshiki, ISHIKAWA, Toru. Spatial thinking in geographic information science: a review of past studies and prospects for the future. In: **Procedia—Social and Behavioral Sciences**. Vol 21 pp. 304–313, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042811013541> (Acesso em 29/05/2013).

# CAPÍTULO 10

## MATERIAL DE APOIO PARA ABORDAGEM DAS TRÊS LEIS DE KEPLER NO ENSINO MÉDIO

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data de Submissão: 27/08/2021*

**Gabriel Luiz Nalon Macedo**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/5084489836639078>

**RESUMO:** Pesquisas educacionais no Ensino de Ciência têm discutido durante as últimas décadas como alguns acontecimentos na História da Ciência podem ser abordados durante a educação científica. Nessa perspectiva, a presente pesquisa assume que a utilização da História da Ciência pode trazer benefícios para o Ensino de Física. O estudo buscou apresentar uma perspectiva histórica para as três leis de Kepler, a fim de construir o pensamento científico, desfazer concepções alternativas e proporcionar discussões com os alunos, tornando assim o Ensino de Física algo não dogmático, no qual, apenas o professor é detentor do conhecimento. Nesse contexto, considerando a relevância que a física kepleriana tem para a Física e o seu ensino, desejou-se na presente pesquisa elaborar textos, elucidando o processo de desenvolvimento das três leis do movimento planetário e, posteriormente, organizar propostas de aulas, com base nesses textos. A pesquisa foi dividida em duas etapas principais, a primeira foi a elaboração dos textos, retomando conceitos e pensamentos sobre alguns fenômenos físicos ao longo da história, partindo da concepção de

Universo na Grécia Antiga até a elaboração das três leis do movimento planetário por Johannes Kepler, a fim de compreender como se deu a sua formulação do movimento dos astros. A segunda etapa foi organizar propostas de aulas, com base nesses textos, para serem utilizadas por licenciandos e professores de Física do Ensino Médio. Para auxiliar nesse estudo de cunho qualitativo, utilizou-se alguns procedimentos metodológicos elencados na Análise Documental. Com base nessa análise, os resultados obtidos foram a construção de seis textos e a elaboração de sete propostas de aulas. Com a elaboração desses seis textos e sete propostas de aulas, foi possível construir o caminho histórico até as três leis do movimento planetário de Kepler, de forma concisa, instigadora, problematizada e contextualizada para serem utilizados no Ensino Médio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Física, História da Física, Johannes Kepler, Movimento Planetário, Propostas de Aulas.

### SUPPORT MATERIAL FOR THE ADDRESSING OF KEPLER'S THREE LAWS IN HIGH SCHOOL

**ABSTRACT:** Educational researches in Science Teaching has discussed during the last decades how some events in the History of Science can be approached during science education. From this perspective, the present research assumes that the use of History of Science can bring benefits to the Physics Teaching. The study sought to present a historical perspective for Kepler's three laws, in order to set up scientific thinking, undo alternative conceptions and provide discussions

with students, thus making the Physics Teaching non-dogmatic, in which only the teacher holds of knowledge. In this context, considering the relevance that Keplerian physics has for Physics and its teaching, the aim of this research was to prepare texts, elucidating the development process of the three laws of planetary motion and, posteriorly, to organize class proposals based on these texts. The research was divided into two main stages, the first was the preparation of texts, resuming concepts and thoughts about some physical phenomena throughout history, from the conception of the Universe in Ancient Greece to the elaboration of the three laws of planetary motion by Johannes Kepler, in order to understand how his formulation of the movement of the celestial bodies came about. The second stage was to organize class proposals, based on these texts, to be used by high school physics undergraduates and teachers. In order to assist this qualitative study, some methodological procedures listed in the Document Analysis were used. Based on this analysis, the results obtained were the elaboration of six texts and the preparation of seven class proposals. Through the elaboration of these six texts and seven class proposals, it was possible to set up the historical path to Kepler's three laws of planetary motion, in a concise, instigating, problematized and contextualized way, to be used in High School.

**KEYWORDS:** Physics Teaching, History of Physics, Johannes Kepler, Planetary Motion, Class Proposals.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Universo sempre fascinou e encantou os seres humanos, diversas sociedades como a grega, a babilônia, entre outras, buscavam entender, por exemplo, alguns mecanismos do funcionamento de nosso Sistema Solar. Como consequência, dessa observação atenta e questionadora, temos a divisão do dia terrestre em 24 horas; o ano formado por aproximadamente 365 dias e o detalhamento das especificidades de cada estação do ano, que é de suma importância para a agricultura.

Entre os filósofos gregos que se preocupavam em teorizar sobre o funcionamento do Universo, destaca-se Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.). O seu modelo cosmológico dividia o Universo em dois mundos (o “supralunar” e o “sublunar”), “[...] regrados por diferentes qualidades, no que concerne à natureza dos objetos e de seus movimentos” (ALBANESE; NEVES; VICENTINI, 2005, p. 66). Os corpos sublunares eram compostos de terra, água, ar e fogo, e os supralunares pelo éter. Para o estagirita, enquanto os movimentos dos corpos que habitam o mundo supralunar eram circulares e uniformes, pois eram perfeitos e incorruptíveis, os que se encontram no mundo sublunar dependiam da presença de terra, água, ar e fogo que compunham os objetos, havendo, desse modo, dois tipos de movimentos: o natural e o forçado ou violento (ÉVORA, 2005; ROCHA, 2015).

Apesar do esforço de muitos outros importantes personagens, durante séculos, em contrapor essas ideias aristotélicas, a primeira grande unificação, bem-sucedida, da Física terrestre e celeste é atribuída à Isaac Newton (1642 – 1727). Cento e quarenta e quatro anos depois da publicação do *Das Revoluções dos Corpos Celestes* (Copérnico); cinquenta

e cinco anos depois da publicação do *Diálogo sobre os dois Principais Sistemas do Mundo, o Ptolomaico e o Copernicano* (Galileu); sessenta e seis anos depois da duplicação do *Epítome da Astronomia Copernicana* (Kepler) e quarenta e três anos depois da publicação dos *Princípios da Filosofia* (Descartes), Isaac Newton publicou, em 1687, a primeira edição dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, mais conhecido como os *Principia* de Isaac Newton. Nessa obra, o britânico demonstrou, por exemplo, que a Lua está em um movimento de queda livre constante em torno da Terra. Em suas palavras, “Que a Lua gravita em direção à Terra e que é desviada continuamente de um movimento retilíneo e mantida em sua órbita pela força da gravidade” (NEWTON, 2012, p. 197).

Apoiando-se sobre os ombros de seus antecessores, Newton teve o caminho aberto para dar a sua contribuição para o desenvolvimento da Física, formulando assim a Lei da Gravitação Universal. Para Newton chegar a este grande feito no estudo da dinâmica, ele recorreu à Lei dos períodos, também conhecida como a 3ª Lei de Kepler. Os estudos de Kepler foram de suma importância para Newton concluir a Lei da Gravitação Universal.

Desta forma, o presente trabalho traz a elaboração de textos e propostas de aulas para iniciar o conteúdo de Gravitação no Ensino Médio, com base nas três leis do movimento planetário formulada por Kepler no século XVII. Pois, devido ao pouco tempo de hora-atividade que os professores têm nos dias de hoje, é difícil para os educadores terem que buscar materiais em diferentes meios para prepararem aulas que envolva um desenvolvimento das ideias a serem estudadas de forma ampla e contextualizada. Tornando, assim, as aulas lecionadas tradicionalistas.

Ao longo dos últimos anos, o ensino tradicional tem recebido críticas de diversos pesquisadores (CARVALHO, 1989; CARVALHO, 2010; MATTHEWS, 1995). Nesse modelo de ensino, “[...] a atividade de ensinar está centrada no professor, que expõe e interpreta a matéria [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 64), expressando a ideia de que o conhecimento é algo a ser transmitido, sendo o aluno um agente passivo do processo. Dessa forma, os alunos são sobrecarregados de conhecimentos que são apenas decorados sem questionamento. O ensino tem como objetivo somente a execução de exercícios repetitivos, que não passam de mera manipulação de equações, reduzindo-se a pura memorização.

Essa prática é reforçada pelos livros didáticos, que trazem uma ciência fragmentada, criada por “mentes brilhantes”, não havendo mais nada para ser inventado ou descoberto, pois se encontra pronta e acabada. Essa visão leva os alunos a concluir que são incapazes de fazer ciência, aumentando seu desinteresse pelas aulas. Faz-se então necessário que o aluno compreenda que a ciência não é algo linear e fragmentado, da forma como é abordada tradicionalmente. Pelo contrário, sendo resultado da construção humana, não é imune a erros e está marcada por contradições e dúvidas (CARVALHO, 2016).

A utilização de forma adequada da história da ciência possibilita tornar o aluno um agente mais ativo e consciente da verdadeira natureza da ciência. Por consequência,

aumentam as chances de um maior e mais eficaz desenvolvimento do pensamento crítico, tornando possível um entendimento mais integral e significativo dos conceitos estudados (MATTHEWS, 1995). Além disso, os textos históricos auxiliam o professor na compreensão da estrutura e desenvolvimento dos conteúdos que leciona, o que o capacita a compreender com mais profundidade as dificuldades e resistências dos discentes, pois o aluno precisa passar por um processo semelhante ao processo ocorrido no desenvolvimento histórico da ciência.

Assim, a pesquisa se justifica por propor a elaboração de textos sobre as três leis do movimento planetário de Johannes Kepler (1571 – 1630) e propostas de aulas, com base nesses textos. O estudo construído servirá como um material didático adequado para abordar historicamente os conceitos keplerianos do movimento planetário, sendo muito útil para licenciandos e professores de Física do Ensino Médio.

Nesse contexto, considerando a relevância que a física kepleriana tem para a Ciência e o seu ensino, o *objetivo principal* da pesquisa foi *elaborar textos apresentando o desenvolvimento das três leis do movimento planetário de Kepler e, com base nesses textos, organizar propostas de aulas.*

## 2 | METODOLOGIA

A pesquisa de cunho qualitativo, buscou alcançar de forma significativa o objetivo formulado, a partir do estudo de livros e artigos de especialistas em Kepler.

O trabalho foi dividido em duas etapas principais, na primeira fez-se uso de alguns procedimentos metodológicos elencados na Análise Documental, pois neste tipo de pesquisa, busca-se em documentos as informações que se necessitam (ROSA, 2013). A Análise Documental é utilizada como técnica de coleta de registros para um trabalho de pesquisa baseado na interpretação de documentos, segundo Rosa (2013):

“[...] a análise documental é utilizada para que o pesquisador tenha noção do estado da arte no seu campo de pesquisa: o que já foi realizado? Quais os principais resultados que já foram obtidos por outros pesquisadores? Que metodologias já foram utilizadas para estudar este assunto? [...]”.

Dessa forma, a primeira etapa elencou as seguintes fontes secundárias para serem utilizadas como documentos na análise: *O homem e o Universo* (KOESTLER, 1989), *Astronomia Nova: a história da guerra contra Marte como exposição do método astronômico de Kepler* (ITOKAZU, 2006), *A Força que Move os Planetas: Da noção de Species Immateriata na Astronomia de Johannes Kepler* (ITOKAZU, 2006), *A descoberta das Leis do Movimento Planetário* (MOURÃO, 2003), *The Music of Heavens: Kepler's Harmonic Astronomy* (STEPHESON, 1994), *O método da Astronomia segundo Kepler* (TOSSATO, 2010), *Apenas um lado do jogo: Kepler condicionado por seu tempo?* (TOSSATO, 2006), *Carta de Tycho Brahe a Johannes Kepler em Graz* (TOSSATO, 2004), *Copernicanismo e realismo: rumo à unificação entre astronomia e cosmologia* (TOSSATO, 2003), *Discussão*



*cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler* (TOSSATO, 2004) e *Mysterium Cosmographicum: Os Antecedentes das Duas Primeiras Leis Keplerianas dos Movimentos Planetários* (TOSSATO, 1999).

A partir da análise desses documentos, foram elaborados textos, realizando uma retomada de conceitos e pensamentos sobre alguns fenômenos físicos ao longo da história, partindo da concepção de Universo na Grécia Antiga até a elaboração das três leis do movimento planetário por Johannes Kepler, a fim de compreender como se deu a sua formulação do movimento dos astros.

Por fim, na segunda etapa, foram construídas propostas de aulas, embasadas nos textos elaborados. As propostas de aulas foram estruturadas a fim de englobar a participação ativa do estudante e a utilização de temas geradores, simuladores, construção de maquete e júri/simulado para o desenvolvimento das aulas, visando romper com o ensino tradicional e dogmático.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com a pesquisa na primeira etapa foram a construção de seis textos e, na segunda etapa, a elaboração de sete propostas de aulas embasadas nos textos.

Os textos elencam as principais ideias e conceitos que antecederam as três leis do movimento planetário e o desenvolvimento das três leis propriamente dito. Os seis escritos construídos foram intitulados da seguinte forma: *As influências milenares*, *O começo da mudança*, *O pai da Astronomia moderna: Johannes Kepler*, *A precisão nos dados de Tycho Brahe: Caminho às leis do movimento planetário*, *A reinterpretação das órbitas dos planetas* e *A música kepleriana*.

O primeiro texto, *As influências milenares*, aborda os principais pensamentos e conceitos físicos e astronômicos elaborados por Pitágoras, Platão e Aristóteles e traz as principais ideias do modelo ptolomaico. As principais características desse texto são: apresentar o pensamento pitagórico sobre a matemática ser a base de tudo o que existe e a harmonia dos astros; expor a ideia platônica sobre o mundo sensível e o mundo inteligível, a fim de alcançar o dogma da circularidade de Platão; mostrar a concepção de universo aristotélica e enunciar os mecanismos do modelo geostático de Ptolomeu.

Dando continuidade à linha histórica, o segundo texto, *O começo da mudança*, apresenta os principais mecanismos e fundamentos do modelo heliostático de Copérnico. Em seguida, o terceiro escrito elaborado, *O pai da Astronomia moderna: Johannes Kepler*, traz um pouco sobre a vida de Kepler e apresenta a sua primeira obra *Mysterium Cosmographicum* de 1596, elencando os pensamentos essenciais da obra, como o modelo planetário kepleriano embasado nos sólidos platônicos.

O quarto texto, *A precisão nos dados de Tycho Brahe: Caminho às leis do movimento*

*planetário*, traz a importância dos dados de Tycho Brahe, o maior astrônomo observacional da era pré-telescópica, para Kepler construir as três leis. Em seguida, no mesmo texto, é abordado a obra *Astronomia Nova* de 1609 e o desenvolvimento da lei das áreas ou, como é conhecida atualmente, a Segunda Lei de Kepler, elaborada três anos antes da Primeira Lei, conforme consta nos registros da *Astronomia Nova*.

O quinto escrito, *A reinterpretación das órbitas dos planetas*, mostra, ainda no livro *Astronomia Nova*, o dificultoso trabalho de Kepler para chegar à lei das órbitas, em que estabelece que as órbitas dos planetas são elípticas em torno do Sol. Por fim, o sexto texto, *A música kepleriana*, apresenta a obra *Harmonice Mundi* de 1619 e a construção da terceira lei do movimento planetário de Kepler, destacando a forte influência pitagórica sobre a harmonia dos astros.

As sete propostas de aulas elaboradas, proveniente dos textos, são estruturadas da seguinte forma. Para a contextualização dos alunos, a proposta de aula para o primeiro texto deve ser uma aula de introdução às ideias que influenciaram Kepler no desenvolvimento das três leis do movimento planetário. O tema da aula deve abordar as ideias de concepção de Universo desenvolvidas por alguns dos grandes estudiosos antigos. O objetivo principal dessa primeira aula é construir com os alunos as ideias e concepções que predominaram antes de Kepler para contextualizar o aluno, deixando claro a ideia da harmonia dos astros de Pitágoras, o dogma da circularidade de Platão, a divisão de mundo de Aristóteles e a essência do modelo geostático de Ptolomeu.

A proposta de aula para o segundo texto, caracteriza-se por ter a possibilidade de ser abordada de duas maneiras distintas. A primeira de forma expositiva, debatendo com os alunos o conteúdo para atingir o objetivo da aula que é apresentar o modelo heliostático de Copérnico e deixar evidente a rejeição por parte da comunidade da época. Para o auxílio dessas discussões sobre os fenômenos questionáveis do modelo copernicano, o professor pode utilizar simuladores do modelo geostático e heliostático que mostram, por exemplo, a explicação do movimento retrógrado dos planetas. A segunda opção seria o professor organizar uma espécie de tribunal, um júri simulado, para julgar o modelo heliostático e geostático.

A proposta de aula para o terceiro texto apresenta o seguinte objetivo geral: introduzir aos alunos o modelo dos sólidos platônicos apresentado por Kepler na obra *Mysterium Cosmographicum*. Para que os alunos não fiquem passivos na aula, propomos que para iniciá-la o professor faça uma pergunta aos alunos na qual a mesma servirá como um tema gerador da aula. Assim como Kepler se perguntou o porquê o Universo era formado por precisamente seis planetas, a pergunta a ser feita aos alunos seria o porquê nosso sistema solar é formado por oito planetas e não mais ou menos do que isso. Conforme as respostas dos alunos é papel do professor construir a dinâmica da aula com base nas respostas, a fim de direcionar o caminho da aula aos objetivos.

O texto quatro apresenta duas propostas de aula. A primeira proposta é apresentar

aos alunos a história de Tycho Brahe, a fim de justificar a sua devoção à astronomia e de como obteve dados observacionais excelentes antes mesmo da invenção do telescópio. E descrever a relação entre Kepler e Tycho Brahe, que levará Kepler a ter acesso aos dados de Brahe e assim desenvolver as leis do movimento planetário. A segunda proposta é mostrar o caminho e as ideias que levaram Kepler a determinar a lei das áreas. Optou-se por apresentar a Segunda Lei de Kepler antes da Primeira Lei para respeitar a ordem cronológica de desenvolvimento e mostrar aos alunos que o desenvolvimento científico não acontece de forma linear como é mostrado geralmente. O professor poderá utilizar o simulador Planetary Orbit Simulator, para desenvolver os conceitos da lei com os alunos e avaliá-los de forma formativa.

A proposta de aula para o quinto texto é caracterizada por demonstrar o processo kepleriano para a obtenção da órbita elíptica de Marte. Em seguida, é proposto para o professor trabalhar algumas propriedades matemáticas da elipse e explicar a ocorrência das estações do ano na Terra, visto que é uma concepção alternativa pensar que a órbita elíptica da Terra é a responsável por esse fenômeno. Sugere-se também, a utilização de simuladores para trabalhar com a questão das excentricidades das órbitas. Por fim, é proposto a elaboração de um trabalho em que os alunos deverão construir uma maquete que represente a órbita de alguns corpos celestes do sistema solar.

A última proposta de aula elaborada está relacionada com o sexto texto. O professor poderá iniciar a aula questionando os alunos sobre a possibilidade de relacionar o movimento dos planetas em torno do Sol com a música, de forma a elucidar a ideia metafísica que está por trás da terceira lei. Após promover o debate, é proposto enunciar o caminho que Kepler percorreu para elaborar a lei da harmonia. Ao fim, o professor poderá estar mostrando o vídeo Giovanni Keplero – Harmonices Mundi, em que, através dos dados obtidos por Kepler, é composta a melodia de cada planeta devido ao seu movimento em torno do Sol.

Por meio dos textos e das propostas de aulas apresentadas acredita-se que, o conteúdo das três leis de Kepler, pode ser abordado com a inserção da história da física. Porém, é claro que há diversas realidades dentro de uma sala de aula em todo o Brasil, portanto, essas propostas de aulas elaboradas podem ser adaptadas conforme a necessidade do professor, a fim de atingir o objetivo principal dessa obra que é a construção histórica das três leis do movimento planetário de Kepler.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das propostas de aulas apresentadas acredita-se que o conteúdo de Gravitação, que é deixado em segundo plano e muitas vezes não é trabalhado pelo professor no Ensino Médio, pode ser iniciado com os estudos de Kepler sobre o movimento planetário, uma vez que esses estudos foram significativos para Isaac Newton concluir seu trabalho sobre a Gravitação Universal.

Devido ao pouco tempo de hora-atividade que os professores têm nos dias de hoje, é difícil terem que buscar materiais em diferentes meios para prepararem aulas que envolva um desenvolvimento das ideias a serem estudadas de forma ampla e contextualizada. Diante disso, apresenta-se no trabalho textos para que os professores possam se embasar e, assim, aplicar as propostas de aulas apresentadas no fim de cada texto, com a finalidade de terem como resultado final uma sequência histórica do desenvolvimento das três leis de Kepler.

Enfatizando o processo histórico de desenvolvimento das ideias keplerianas, apresenta-se aos alunos que a ciência não é construída de forma linear como na maioria das vezes é passado devido a aulas tradicionais. Pois, como por exemplo, diz o epistemólogo Thomas Kuhn, a ciência é formada por descontinuidades que ocorrem devido a revoluções científicas que rompe com algum paradigma científico.

Além do mais, ao apresentar visões alternativas de ideias para um mesmo fenômeno físico e como é construído argumentos racionais sobre o mesmo, desenvolve-se nos alunos um pensamento crítico que refletirá em todas as áreas do conhecimento.

Sendo assim, acredita-se que ao apresentar essa visão histórica aos alunos os mesmos desconstruirão o olhar conturbado de ciência que é passado para eles durante a vida escolar e, até mesmos, inspirara-os a terem ideias, desenvolverem raciocínios, buscar respostas por meio de argumentos e questionar as coisas ao se redor, ao invés de simplesmente aceitar o que é dito.

## REFERÊNCIAS

ALBANESE, A.; NEVES, M. C.D.; VICENTINI, M. **Concepções de estudantes sobre equilíbrio, atrito e dissipação**. In: NEVES, M. C. D.; SAVI, A. A. (Orgs.). De Experimentos, Paradigmas e Diversidades no Ensino de Física. Maringá, PR: Massoni, 2005. P. 65-84.

CARVALHO, A. M. P. **Física: proposta para um ensino construtivista**. São Paulo: EPU, 1989.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. **Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas**. In: CARVALHO, A. M. P. de (Coord.). Ensino de Física. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 107-139.

CARVALHO, B. C. de. **Análise histórica do conceito de calor nos trabalhos de Joule e a Transposição Didática do equivalente mecânico do calor nos livros didáticos de Física**. 2016. 176. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência e a Matemática), Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR.

ÉVORA, F. R. R. **Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas**. Cad. Hist. Fil. Ci., v. 15, n. 1, p. 127-170, 2005.

ITOKAZU, A. G. **Astronomia Nova: a história da guerra contra Marte como exposição do método astronômico de Kepler**. 2006. 249. Tese (Doutorado em Filosofia), Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP.

ITOKAZU, A. G. **A Força que Move os Planetas: Da noção de *Species Immateriali* na Astronomia de Johannes Kepler** / Anastasia Guidi Itokazu – Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 3, v. 16, n. 2, p. 211-231, jul-dez. 2006.

KOESTLER, A. **O homem e o Universo**, São Paulo: IBRASA, 1989.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.

MATTHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação**. Tradução: Claudia Mesquita de Andrade. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MOURÃO, R. R. de F. K. **A descoberta das Leis do Movimento Planetário** / Ronaldo Rogério de Freitas Mourão – São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

NEWTON, I. **Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural – Livro II e III**. 1 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

ROSA, P. R. da S. **Uma introdução à pesquisa qualitativa em ensino de ciências**. Campo Grande: UFMS, 2013.

ROCHA, J. M. **A descoberta da Teoria da Gravitação Universal: Uma análise desde Aristóteles aos Principia**. 2015. 52f. Monografia (Licenciatura em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ.

STEPHENSON, B. **The Music of Heavens: Kepler's Harmonic Astronomy** – Princeton University, 1994.

TOSSATO, C. R. **Mysterium Cosmographicum: Os Antecedentes das Duas Primeiras Leis Keplerianas dos Movimentos Planetários** – Cadernos Espinosanos V, p. 35-63, 1999.

TOSSATO, C. R. **Copernicanismo e realismo: rumo à unificação entre astronomia e cosmologia** – Scientiae studia, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 553-564, 2003.

TOSSATO, C. R. **Carta de Tycho Brahe a Johannes Kepler em Graz** – Scientiae studia, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 567-574, 2004.

TOSSATO, C. R. **Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler** – Scientiae studia, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 537-565, 2004.

TOSSATO, C. R. **Apenas um lado do jogo: Kepler condicionado por seu tempo?** – Scientiae studia, São Paulo, v. 4, n. 4, p. 627-640, 2006.

TOSSATO, C. R.; MARICONDA, P. R. **O método da Astronomia segundo Kepler** – Scientiae studia, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 339-366, 2010.

# CAPÍTULO 11

## IMPACTO DO USO DA DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM APLICADO À FENÔMENOS DE TRANSPORTE

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Data de submissão: 16/11/21*

### **Vitor Pancieri Pinheiro**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Mecânica, Universidade Federal do Espírito  
Santo  
Vitória – ES  
<http://lattes.cnpq.br/2723699428881346>

### **Carlos Friedrich Loeffler Neto**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Mecânica, Universidade Federal do Espírito  
Santo  
Vitória – ES  
<http://lattes.cnpq.br/3102733972897061>

### **Natan Sian das Neves**

Programa de Engenharia Civil – PEC/COPPE,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Cidade Universitária – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/3669643833173206>

### **Roger da Silva Rodrigues**

Colegiado do Curso Técnico em Mecânica –  
CCTM, Instituto Federal do Espírito Santo  
São Mateus – ES  
<http://lattes.cnpq.br/1971264945962410>

**RESUMO:** A área de fenômenos de transporte está presente na matriz curricular de praticamente todos os cursos de Engenharia do país. É tradicionalmente conhecida por discentes e docentes pela complexidade que marca sua modelagem matemática. Tal área compõe um desafio para o aprendizado dos estudantes, no

que tange ao real entendimento dos conceitos e visualização dos fenômenos físicos, nem sempre triviais. Por outro lado, as modernas técnicas computacionais de simulação numérica, criadas para superar as limitações dos métodos analíticos de solução e oferecer soluções adequadas às demandas da engenharia moderna, também podem atuar como eficientes ferramentas didáticas, dinamizando o processo de aprendizagem dos alunos. Este artigo propõe a solução de um escoamento laminar no interior de um duto cilíndrico através dos recursos da Dinâmica dos Fluidos Computacional (DFC), com intuito de mostrar os efetivos ganhos ligados ao domínio conceitual dos fenômenos físicos, pela facilidade de reprodução dos fenômenos e controle sobre suas variáveis de estado.

**PALAVRAS-CHAVES:** Dinâmica de Fluidos Computacional; Ensino e Aprendizagem; Fenômenos de Transporte.

**ABSTRACT:** The area of Transport Phenomena, present through various sciences in the curriculum of virtually all the country's engineering courses, is traditionally known by students and teachers for the complexity that marks their mathematical modeling. This field of study comprises a challenge for student learning, with respect to the real understanding of the concepts and visualization in physical phenomena not always trivial. This paper proposes a solution to a laminar flow inside a cylindrical duct via Computational Fluid Dynamics (CFD), in order to analyze the influence of computational tools of numerical simulation in the improvement of student's learning process. The computational analysis

enables effective gains linked to the conceptual domain of physical phenomena, being an important teaching tool.

**KEYWORDS:** Computational Fluid Dynamics; Teaching and Learning; Transport Phenomena.

## 1 | INTRODUÇÃO

A seara de fenômenos de transporte contempla uma série de problemas de interesse prático e científico na engenharia contemporânea. Tal linha de pesquisa apresenta modelagem matemática robusta e alta exigibilidade no que tange ao correto entendimento físico de seus fenômenos associados, compondo um desafio técnico-educacional para discentes e docentes.

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (DFC) apresenta-se como uma importante ferramenta potencializadora de ensino-aprendizagem, na medida que insere o conceito de experimentação numérica no processo de aprendizagem gerando uma maior compreensão dos conceitos associados ao comportamento dos fluidos (Versteeg; Malalasekera, 2007).

## 2 | EQUAÇÕES GOVERNANTES

Os problemas puramente hidrodinâmicos na área de dinâmica dos fluidos são governados de forma completa por equações diferenciais que modelam princípios conservativos (Slattery, 1999). A priori temos a conservação da massa para um fluido considerado incompressível em regime permanente de escoamento. Por sua vez a conservação de momento linear pode ser escrita ao desprezar as forças de campo em uma forma mais geral, conforme mostrado na Eq. (1).

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

Ao considerar o modelo constitutivo de um fluido newtoniano sem efeitos de compressibilidade modela-se o tensor viscoso como tal.

$$\tau_{ij} = \eta \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (2)$$

O uso do modelo constitutivo (Eq. (2)) na equação conservativa (Eq. (1)) dá origem a conhecida equação de Navier-Stokes.

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \eta \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (3)$$

Por fim é possível mostrar que existe um agrupamento adimensional com importância ímpar quando se trata de hidrodinâmica, responsável por ponderar a magnitude das forças

inerciais em detrimento das forças viscosas, denominado adimensional de Reynolds ( $R_e$ ). Segue a forma adimensionalizada da equação de Navier-Stokes.

$$u_{j^*} \frac{\partial u_{i^*}}{\partial x_{j^*}} = - \frac{\partial p^*}{\partial x_{i^*}} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u_{i^*}}{\partial x_{j^*} \partial x_{j^*}} \quad (4)$$

A partir da Eq. (4), nota-se a importância do número de Reynolds no contexto da hidrodinâmica do escoamento, uma vez que ele surge na forma adimensionalizada compondo produto com o termo difusivo ou viscoso do escoamento (Schlichting; Gersten, 2003). Entre outras palavras é possível mostrar a relevância dos termos viscosos com uma simples análise limítrofe, ou seja, quando  $R_e \rightarrow 0$  e  $R_e \rightarrow \infty$ .

### 3 | MODELAGEM NUMÉRICA

A aplicação do conceito de dinâmica dos fluidos computacional é implementada neste desenvolvimento através do software ANSYS por conta da sua grande difusão no meio acadêmico e profissional. Tal pacote comercial utiliza o método dos volumes finitos (MVF) como técnica aproximada para a solução numérica dos modelos físicos-matemáticos de escoamentos.

#### 3.1 PROBLEMA FÍSICO DE ENGENHARIA

O fenômeno físico a ser solucionado é um escoamento de Hagen-Poiseuille, que corresponde a um escoamento completamente desenvolvido através de um duto circular em regime laminar de fluxo (Schlichting; Gersten, 2003). A escolha de tal escoamento foi motivada pela relativa simplicidade de sua modelagem e conhecimento geral de sua existência pelos estudantes, facilitando desta forma uma posterior análise de ganhos educacionais.

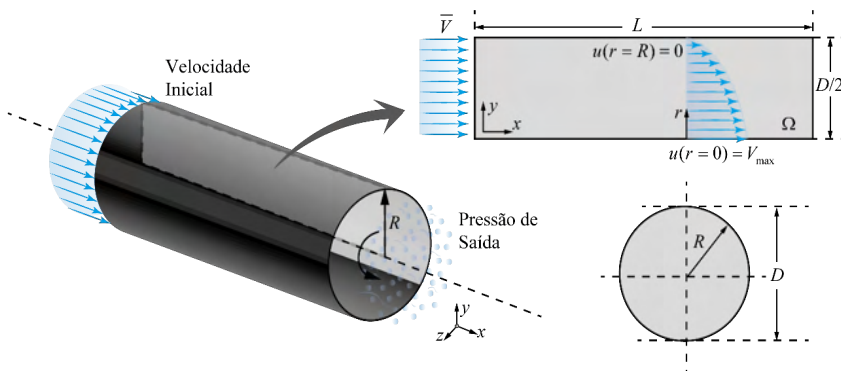


Figura 1. Geometria e condições de contorno do problema físico estudado.

Considere o escoamento por meio de um duto de diâmetro  $D$  e comprimento  $L$



com condição hidrodinâmica de em sua entrada e de pressão em sua saída, conforme esquematizado na Figura 1. Além disso, os parâmetros físicos adotados ao longo da simulação computacional do escoamento de ar em um duto circular são apresentados na Tabela 1.

| Tipo               | Valor | Unidade           |
|--------------------|-------|-------------------|
| Velocidade Inicial | 1,00  | m                 |
| Diâmetro           | 0,20  | m                 |
| Viscosidade        | 0,002 | Ns/m <sup>2</sup> |
| Massa Específica   | 1,00  | kg/m <sup>2</sup> |
| Comprimento        | 8,00  | m                 |
| Pressão de Saída   | 1,00  | atm               |

Tabela 1: Dados utilizados na simulação computacional.

No âmbito da hidrodinâmica certos adimensionais merecem relevância diferenciada. O número de Reynolds, tem o importante papel de caracterizar o regime de fluxo no qual se encontra o escoamento, podendo este ser laminar ou turbulento. Para um duto cilíndrico modela-se:

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\eta} \tag{5}$$

Um segundo adimensional essencial é o fator de atrito, que tem por função principal contabilizar o gradiente de pressão de escoamentos internos em qualquer condição de regime de fluxo ou rugosidade de parede (Engel; Cimbala, 2015).

$$f = \frac{8 \tau_w}{\rho \bar{V}^2} \tag{6}$$

A tensão de cisalhamento de parede pode ser facilmente modelada por um balanço de forças de pressão e cisalhantes na região desenvolvida do escoamento e é dada por:

$$\tau_w = -\frac{R}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \tag{7}$$

A solução da Eq. (3) com condições apropriadas de não-deslizamento na parede do duto e gradiente de velocidade nulo na linha de centro resultam em um perfil de velocidade parabólico.

$$u(r) = -\frac{R^2}{4\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \tag{8}$$

Este perfil de velocidade tem seu formato constante ao logo do avanço do escoamento a partir de um comprimento de entrada definido empiricamente (Kays *et al.*, 1980).

$$\frac{L_e}{D} \approx 0,05 Re \quad (9)$$

A modelagem analítica do problema de Hagen-Poiseuille é utilizada como diretriz para análise de convergência de malha.

### 3.2 CONVERGÊNCIA DE MALHA

A fase de teste da malha deve preceder qualquer tipo de geração de resultado por ser tratar de procedimento padrão para certificar-se de que os resultados gerados por determinada simulação estejam corretos (Fortuna, 2000). A validação é executada sempre que possível via parâmetros analíticos por questão de confiabilidade (ver Tabela 2).

| Malha    | ×     | Erro (%) |
|----------|-------|----------|
| 5 × 100  | 61,41 | 4,05     |
| 10 × 100 | 63,23 | 1,20     |
| 20 × 100 | 63,71 | 0,45     |
| 40 × 100 | 63,83 | 0,27     |
| 80 × 100 | 63,88 | 0,18     |

Tabela 2: Convergência de malha da simulação computacional.

No caso do escoamento laminar em dutos na região desenvolvida, a malha utilizada é do tipo estruturada e o parâmetro mais adequado recai sobre o produto  $f \times R_e$ , que representa um balanço de quantidade de movimento na região desenvolvida, ou mais simploriamente um balanço de forças (Soares, 1999). Dessa forma, garantindo a calibragem do produto  $f \times R_e$  com o resultado clássico da literatura ( $f = 64/R_e$ ), pode-se afirmar que a região desenvolvida como um todo do escoamento está convergida.

### 3.3 POTENCIAL DIDÁTICO DO DFC

As simulações computacionais fornecem a estudantes, pesquisadores e profissionais ferramentas potencializadoras no intuito do entendimento de fenômenos físicos de interesse, seja para investigação científica ou aplicações.

A abrangência da experimentação numérica comporta a manipulação de problemas físicos de ordens de complexidade diversa, se comportando bem em casos mais simples ou mesmo em fenômenos mais exigentes do ponto de vista matemático-comportamental (Clóvis, 2013). Entretanto, o potencial didático implícito no uso de recursos computacionais revela-se de forma mais clara na manipulação de um problema físico simples tal como é o escoamento laminar de um duto cilíndrico.

A interação do fluido com superfícies sólidas em qualquer escoamento interno é marcada pela presença de uma região próxima a superfície na efeitos viscosos são significantes, denominada região de camada limite. O entendimento do processo de desenvolvimento da camada limite em um tubo é fundamental para posterior estudo da região desenvolvida do escoamento. Entretanto a correta visualização deste processo nem sempre é tão trivial, dando ensejo ao uso de novas ferramentas potencializadoras de aprendizado, como é o caso do DFC.

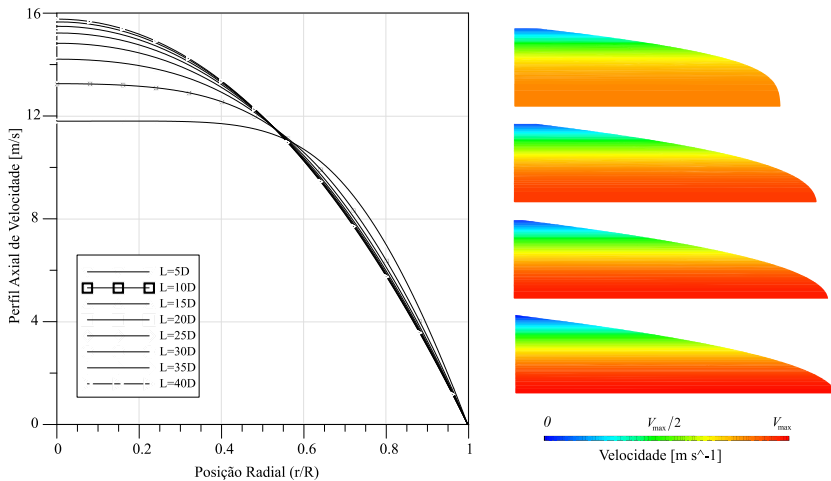


Figura 2. Desenvolvimento do perfil de velocidade axial.

A Figura 2 representa de forma clara a mudança no perfil de velocidade ao longo de várias posições axiais diferentes. A ideia central da camada-limite é elucidada ao comparar o perfil em  $L = 5D$ , que apresenta um formato achatado representativo de uma grande região de escoamento com gradiente nulo, portanto fora da camada-limite, com o último perfil de velocidade em  $L = 40D$  cuja característica parabólica ilustra um formato na região desenvolvida invariante com a direção axial, no qual o escoamento apresenta efeitos viscosos em toda sua extensão. Os resultados das simulações numéricas são extraídos com facilidade nos ambientes de DFC mostrando a versatilidade e o dinamismo presentes nesse conceito.

É possível também a confirmação de modelos analíticos e empíricos através do DFC, consolidando o entendimento de diversos comportamentos físicos por mais de uma ótica de análise. Um exemplo peculiar é do comprimento hidrodinâmico de entrada dado pela Eq. (9). O comprimento de entrada nessa expressão empírica é função, de forma geral, do número de Reynolds. Há diversas formas de analisar este parâmetro de desenvolvimento, tal como acompanhar a aceleração da linha de centro do escoamento, como ilustra a Figura 3.

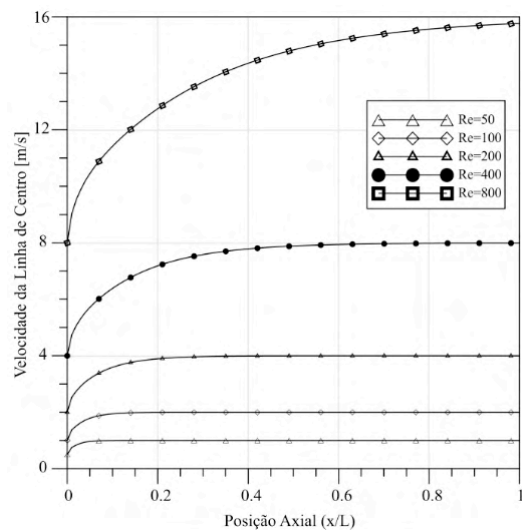


Figura 3. Velocidade da linha de centro em função da posição axial.

A manutenção de uma mesma geometria à medida que o número de Reynolds é consecutivamente dobrado relevam um comportamento parecido ao da Figura 3, onde o comprimento de entrada coincide com o ponto das curvas onde a velocidade de centro estabiliza-se próxima ao seu patamar máximo, equivalente ao dobro da velocidade média no sobre o eixo das ordenadas.

Se por um lado o comprimento de entrada foi determinado pela linha de centro, de forma análoga poderia ser estimado pelo fator de atrito ou mesmo pela queda de pressão ao longo da tubulação, processo este que seria extremamente trabalhoso numa coleta experimental, em detrimento a experimentação numérica que pode também ser rápida e precisa num problema de natureza tão simples. Tais recurso empíricos e computacionais não se portam em concorrência e sim em mutualismo, ou seja, é importante retirar o melhor do potencial de cada um deles.

Mais um dos importantes ganhos gerados pelo DFC caracteriza-se pela facilidade na execução de análises paramétricas. Após a convergência e geração de uma malha de qualidade é possível testar o comportamento de uma variável de interesse em relação a várias outras, configurando-se uma ferramenta interessante na exploração e entendimento dos pormenores do um fenômeno em estudo.

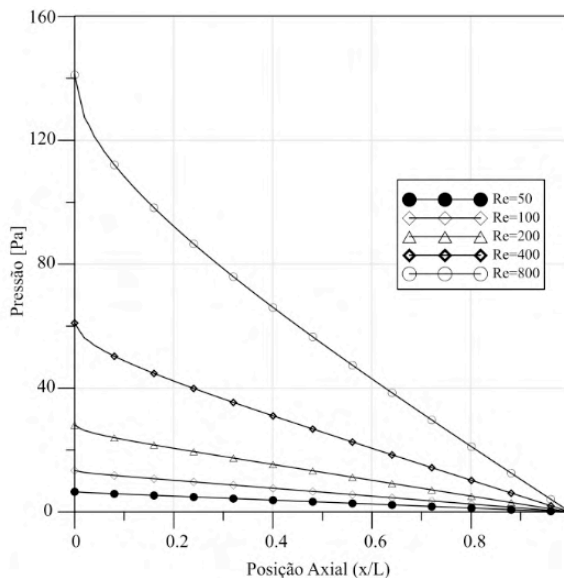


Figura 3. Queda de pressão ao longo da direção axial.

O comportamento mostrado na Figura 5 representa uma análise da queda de pressão a medida do avanço do escoamento pela tubulação em função do adimensional de Reynolds. Tal análise revela a queda de pressão não linear na região de entrada, e posterior queda de pressão com gradiente constante na região desenvolvida. Tal comportamento deve-se ao fato de atrito que se estabiliza a um valor constante na região desenvolvida, o que seria facilmente observável como um gráfico de sensibilidade do mesmo ao longo da direção axial.

As vantagens e motivações aqui apresentadas ao uso do conceito DFC são extremamente contundentes em todas as vertentes de ensino, a saber, em nível de graduação e pós-graduação. Graduandos em contato com ferramentas computacionais geram para si um novo horizonte de aprendizado, análise e visualização dinâmica de fenômenos físicos, ampliando um escopo antes restrito a modelagem matemática. Em linhas paralelas, pesquisadores, estudantes de mestrado e doutorado utilizam-se do DFC e seus recursos na investigação e solução de tópicos complexos tais como turbulência, combustão, comportamento reológicos complexos que nem sempre apresentam a disposição, soluções analíticas ou mesmo dados experimentais. Em tais situações a experimentação numérica figura como única opção para análise, o que mostra sua importância vital na ciência contemporânea.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No passado, a ausência de recursos computacionais fazia com que os testes de laboratório através de protótipos e modelos em escala reduzida dominassem o cenário tecnológico. Nos dias atuais, a simulação computacional oferece a oportunidade de realizar projetos de engenharia e otimizá-los através de modelos numéricos eficientes e pouco custosos. Essa mesma ferramenta pode ser usada com o intuito de catalisar o processo de aprendizado, pela agilidade na reprodução fenomênica e no controle e alteração das múltiplas variáveis de estado, que estão presentes, sobretudo, na área de fenômenos de transporte.

Nesse contexto, as técnicas computacionais são imprescindíveis na seara educacional servindo como um versátil meio de investigação científica para docentes e discentes, permitindo uma dinamização do ensino-aprendizado de diversos fenômenos, uma vez que viabilizam praticidade na execução de múltiplos testes ou mesmo possibilitam a simulação de problemas cuja experimentação é inviável.

## REFERÊNCIAS

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method**. Pearson Education, 2007.

SLATTERY, J. C. **Advanced Transport Phenomena**. Cambridge University Press, 1999.

SCHLICHTING, H.; GERSTEN, K. **Boundary Layer Theory**. Springer Science, 2003.

CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2015.

KAYS, W. M.; CRAWFORD M. E.; WEIGAND, B. **Convective Heat Transfer**. McGraw Hill, 1980.

SOARES, E. J. **Transferência de calor em escoamento laminar de materiais viscoplásticos através de espaços anulares**. 80f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1999.

FORTUNA, A. O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos: conceitos básicos e aplicações**. São Paulo: Edusp, 2000.

CLÓVIS, R. M. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

## METODOLOGÍA SUPERFICIE DE RESPUESTA: TRES APLICACIONES A CONJUNTOS DE DATOS REALES

*Data de aceite:* 01/11/2021

*Fecha de envío:* 18/09/2021

### **René Castro Montoya**

René Castro Montoya. Facultad de Ciencias  
Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de  
Sinaloa  
<https://orcid.org/0000-0002-6746-7559>

### **José Vidal Jiménez Ramírez**

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas,  
Universidad Autónoma de Sinaloa  
<https://orcid.org/0000-0001-6747-0144>

### **Mario Castro Flores**

Preparatoria Guasave Diurna, Universidad  
Autónoma de Sinaloa  
<https://orcid.org/0000-0001-7752-402X>

### **Ana Gabriela Osuna Páez**

Universidad Autónoma de Occidente  
Campus Culiacán, Sinaloa  
<https://orcid.org/0000-0001-6747-0183>

**RESUMEN:** La Metodología Superficie de Respuesta (MSR) puede definirse como una estrategia que engloba los siguientes puntos: elegir un diseño experimental que permita medir adecuadamente el comportamiento de la respuesta de interés; determinar un modelo que describa el comportamiento de los datos obtenidos mediante el diseño experimental, lo que implica hacer algunas pruebas estadísticas para verificar si el modelo es adecuado. Una vez que se tiene un modelo adecuado se procede a

encontrar la combinación de los niveles de los factores de entrada que producen la respuesta óptima. La MSR tuvo su origen en los años 30's en trabajos realizados por Sisar, Yates, y otros, sin embargo, ésta fue desarrollada formalmente por Box y Wilson (1951). El objetivo del presente trabajo es describir tres aplicaciones de MSR a conjuntos de datos reales: el primero es un experimento realizado en una industria electrónica mexicana; cuyo objetivo es disminuir el número de dispositivos electrónicos que se rompen en cierta etapa de su proceso de fabricación, debido a los cambios bruscos de temperatura que allí ocurren, el problema es que algunas obleas no resisten dichos cambios de temperatura y se rompen (Castro Montoya, 1995). Una oblea de silicio es un dispositivo electrónico en el que vienen integrados microcircuitos para ser procesados juntos, es decir, la oblea es el medio que permite procesar al mismo tiempo cientos de dados o chips, lo cuales deben cumplir ciertas propiedades eléctricas. El segundo conjunto de datos es sobre el cultivo de esporas de hongo entomopatógeno *Paecilomyces Fumoso* que han sido utilizadas exitosamente en el control de diversos insectos plaga.

**PALABRAS-CLAVE:** Diseño y análisis de experimentos, Modelos, Metodología superficie de respuesta y Pruebas de hipótesis.

### RESPONSE SURFACE METHODOLOGY: THREE APPLICATIONS TO REAL DATA SETS

**ABSTRACT:** The Response Surface Methodology (RSM) can be defined as a strategy

that encompasses the following points: choosing an experimental design that allows to adequately measure the behavior of a response of interest; determine a model that describes the behavior of the data obtained through the experimental design, which implies doing some statistical tests to verify if the model is adequate. Once we have an adequate model, we proceed to find the combination of the levels of the input factors that produce the optimal response. The RSM had its origin in the 1930s in works by Sisar, Yates, and others, however, it was formally developed by Box and Wilson (1951). The objective of this work is to describe three applications of the RSM to real data sets: the first is an experiment carried out in a Mexican electronics industry; whose objective is to reduce the number of electronic devices that break at a certain stage of their manufacturing process, due to the sudden changes in temperature that occur there, the problem is that some wafers do not resist these changes in temperature and break (Castro Montoya, 1995). A silicon wafer is an electronic device in which microcircuits are integrated to be processed together, that is, the wafer is the medium that allows hundreds of dice or chips to be processed at the same time, which must meet certain electrical properties. The second data set is on the cultive of spores of the entomopathogenic fungus *Paecilomyces Fumosoroseus* that have been used successfully in the control of various pest insects.

**KEYWORDS:** Design and analysis of experiments, models, response surface methodology and hypothesis testing.

En este trabajo se presentan los resultados de aplicar Metodología Superficie de Respuesta a tres conjuntos de datos reales. En el primer caso se presenta una aplicación del diseño de experimentos en la industria electrónica mexicana. Algunos aspectos que hacen interesante este experimento son: 1) las consideraciones de ingeniería de proceso que se hicieron previamente, 2) las diferentes alternativas de análisis estadístico, por ser la respuesta una variable binaria y 3) el ahorro económico obtenido. La compañía está interesada en determinar los niveles de los factores que minimizan el número de obleas rotas. Los factores que se controlan son temperatura de grabado, temperatura de piraña y temperatura de agua. El proceso se realizaba antes del experimento a una temperatura de grabado de  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , una temperatura de piraña de  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una temperatura de agua de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se tenía un rendimiento mecánico del 97% en la solución piranha. Puesto que no se sabe que tan cerca puedan estar los niveles usuales ( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) de los niveles que producen la respuesta óptima, los ingenieros se deciden por correr un diseño factorial  $2^3$ , con el objetivo de localizar el tratamiento mediante el cual se obtenga un mejor rendimiento mecánico. En cada tratamiento se utilizaron 500 obleas, y se obtienen solo ocho puntos. Debido a que se tienen pocos puntos no es posible detectar si los supuestos de independencia y varianza constante se cumplen, por lo que se decidió considerar sólo 250 obleas por tratamiento, se obteniendo 16 puntos, pues 250 obleas por tratamiento es suficiente para observar al menos una oblea rota por tratamiento. Un segundo caso de estudio es el análisis e interpretación de un experimento realizado en el área de biotecnología: con el objetivo de maximizar la producción de esporas por  $\text{cm}^2$



de hongo entomopatógeno *Paecilomyces Fumoso*roseus, las cuales han sido utilizadas exitosamente para el control de diversos insectos plaga, controlando tres distintos factores: nivel de glucosa, nivel de levadura y tiempo. Objetivos: Determinar condiciones óptimas bajo superficie de respuesta para reproducir en cultivo sólido al hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumoso*roseus, determinar los niveles de los factores que maximizan la producción de esporas del hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumoso*roseus, mediante un diseño de composición central. El tercero se está interesado en determinar los niveles de los factores que maximizan rendimiento y el contenido de proteínas en maíz. Los factores que se controlan son magnetismo, radiación y ozono.

## Metodología de Superficie de Respuesta

La Metodología de Superficie de Respuesta, inventada en 1951 por Box y Wilson, es un conjunto de estrategias de investigación, métodos matemáticos e inferencia estadística que permiten al investigador hacer exploración empírica eficiente en el proceso de su interés. Es un método estadístico que usa información cuantitativa de experimentos apropiados para determinar y resolver ecuaciones multivariantes, utilizado, la mayoría de las veces, para la optimización de procesos.

## Diseños y modelos para Superficie de Respuesta

La estrategia experimental y análisis en MSR se basa en el supuesto de que la verdadera respuesta  $\eta$  desconocida es una función  $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$  del conjunto de variables de diseño  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , y que la función puede ser aproximada en alguna región de las  $x_{is}$  por un polinomio de primero o segundo orden. En la práctica este supuesto es razonable si la respuesta observada es continua y suave, aunque su comportamiento no sea suave esta variable puede describirse con un polinomio de bajo orden si se escoge una región experimental lo suficientemente pequeña.

Por otra parte, un polinomio de grado  $n$  puede ser aproximado mediante una expansión en serie de Taylor de la verdadera función teórica fundamental  $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$  truncada después del término de orden  $n$ , para lo cual se tiene que:

1. Entre mayor es el grado del modelo polinomial ajustado, mejor es la aproximación que se obtiene mediante las expansiones en serie de Taylor a la verdadera función  $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$ .
2. En regiones pequeñas se obtienen las mejores aproximaciones de cierto grado dado.

En la práctica, se procede bajo la suposición de que, sobre regiones pequeñas del espacio de factores, un polinomio de primero o segundo orden puede representar adecuadamente la verdadera función. De aquí que los modelos más utilizados en MSR

sean los polinomios de primero y segundo orden dados por

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

respectivamente, donde  $\varepsilon$  es el error aleatorio y los coeficientes  $\{\beta_i\}$  que aparecen las ecuaciones anteriores deben estimarse mediante regresión lineal, a partir de las observaciones obtenidas de la realización del diseño experimental.

## Diseños de Primer Orden

Estos diseños son muy utilizados en la primera etapa de una investigación cuyo objetivo es encontrar las condiciones operación de un proceso, o cuando se tienen muchos factores, se puede utilizar un diseño de primer orden para descartar los factores que no tengan influencia significativa sobre la respuesta. Cuando se utiliza este tipo de diseño se requieren pocos puntos para ajustar un modelo polinomial a la respuesta.

Como su nombre lo indica con los diseños de primer orden se pretende ajustar un modelo de primer orden. Este modelo, como se sabe, para  $k$  factores tiene  $k+1$  parámetros a estimar, así que se requieren al menos  $k+1$  observaciones para poderlo ajustar.

Cuando se quiere ajustar un modelo de primer orden en  $k$  variables  $Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon$ , es conveniente utilizar diseños que minimizan la varianza de los coeficientes de regresión. Los diseños que satisfacen esta condición se llaman *Diseños Ortogonales*. Un diseño se llama ortogonal cuando los términos en el modelo ajustado son no correlacionados entre sí, lo que hace que los estimadores de los parámetros tampoco estén correlacionados entre sí. Esto hace posible que la varianza de la respuesta estimada en cualquier punto  $x$  en la region experimental, sea expresada como la suma de la varianza de cada parámetro estimado en el modelo. Los diseños de primer orden pueden fallar debido a que hay curvatura en la superficie de respuesta, o los experimentos se realizaron de forma incorrecta. Cuando esto sucede, el modelo debe ser mejorado mediante la adición de términos de orden mayor o a través de una transformación a las variables. Cuando el modelo de primer orden no describe adecuadamente el comportamiento de la respuesta, se propone el modelo de segundo orden.

## Diseño Factorial 2k

En este diseño se estudian  $k$  factores, en dos niveles cada uno. Se le llama diseño factorial completo en  $k$  factores cuando se seleccionan 2 niveles del primer factor, 2 niveles del segundo factor, ..., 2 niveles del  $k$ -ésimo factor, y la matriz de diseño se forma por todas

las combinaciones de los niveles, que son tantas como  $2^k$ . Por ejemplo, el diseño factorial  $2^2$  consiste de los cuatro tratamientos que resultan al combinar los dos niveles de cada factor y su matriz de diseño está dada por.

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} -1 & -1 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

Diseño Factorial para  $k = 2$

## De Segundo Orden

Los diseños de segundo orden son útiles en la etapa final de un estudio de optimización, cuando el punto estacionario está cerca o dentro de la región experimental, y permiten estudiar efectos lineales, de interacción y efectos cuadráticos o de curvatura pura.

Cuando se está cerca del punto estacionario, a veces la verdadera respuesta tiene curvatura y no puede describirse adecuadamente con un modelo de primer orden. Si la curvatura existe, se utiliza un modelo de segundo orden. Como el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

A continuación, se presentan los diseños de segundo orden más utilizados en la práctica.

## Diseño Factorial $3^k$

En este diseño es necesario que la respuesta sea observada en todas las combinaciones de las  $k$  variables del diseño, las cuales tienen 3 niveles cada una.

## Diseño de Composición Central

Box & Wilson (1951) proponen diseños más económicos, que tienen la ventaja de que se puede estudiar los efectos lineales no confundidos y efectos de interacción de segundo orden. En estos diseños cada variable anexa dos puntos, más replicas en el centro, en lugar de aumentar el número de niveles en los factores. Así, un diseño de composición central consiste de tres tipos de puntos, a saber:

1. Un diseño factorial  $2^k$  completo (o fraccionado).
2. De  $n_0$  puntos en el centro.
3. Dos puntos axiales en cada variable diseño a una distancia  $\alpha$  del centro del diseño.

El número total de puntos en el diseño es  $N = 2^K + 2K + n_0$ . El diseño central compuesto puede hacerse rotatable tomando  $\alpha = (F)^{\frac{1}{2}}$  donde  $F = 2^K(oF = 2^{k-m})$  y además el diseño de composición central puede hacerse un diseño ortogonal, caso en el cual los efectos individuales de las  $K$  variables pueden ser evaluadas independientemente. Ahora si se quiere que el diseño de composición central sea ortogonal y rotatable se toman  $\alpha = (F)^{\frac{1}{2}} y n_0 = 4\sqrt{F} + 4 - 2k$ . Esto es el número de réplicas en el centro puede escogerse de tal manera que el diseño sea rotatable.

## Técnicas de Optimización

Una vez que se tiene el modelo debidamente ajustado y validado se puede proceder a encontrar la combinación de los niveles de los factores que producen la respuesta óptima. Para localizar esta combinación de niveles, a partir del modelo ajustado, existen básicamente tres métodos, a saber:

1. Escalamiento Ascendente (o descendente)
2. Análisis Canónico
3. Análisis de Cordillera.

El uso de estos métodos depende del orden del modelo ajustado y la situación particular que se presenta con el punto óptimo que se quiere encontrar. A continuación, se describen cada uno de estos tres métodos.

### Escalamiento ascendente y descendente

Este método es utilizado con el modelo de primer orden. Su objetivo es encontrar la dirección de máximo incremento de la variable de respuesta sobre el plano. En el caso de que se busque el máximo decremento, estaremos hablando del método descendente.

Consiste en la realización secuencial de experimentos a lo largo de la trayectoria de escalamiento ascendente, es decir, en la dirección del máximo incremento de la respuesta, a partir del centro del diseño. Cuando ya se tiene la dirección en la cual la respuesta crece, se realizan los experimentos secuenciales sobre puntos espaciados adecuadamente, hasta que el valor de la respuesta cambia de tendencia. En este momento se corre otro diseño de primer orden con centro en el punto anterior al cambio de tendencia. Se procede de la misma manera hasta encontrar otro cambio en la tendencia, es decir, se localiza la dirección en la cual la respuesta crece, de igual forma, se realizan experimentos en puntos espaciados hasta encontrar un nuevo punto donde hay cambio de tendencia. Se corre un tercer diseño con centro en el punto anterior al cambio de tendencia y se encuentra la nueva dirección de crecimiento. Mediante este proceso se llega a una vecindad del punto óptimo, lo cual se detecta mediante la falta de ajuste del modelo de primer orden.

Ya que se cuenta con el modelo ajustado  $\hat{Y}(\vec{x}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i$  que describe

adecuadamente el comportamiento de la variable respuesta, el objetivo es trasladarse a una distancia de  $r$  unidades a partir el centro del diseño en la dirección de máximo incremento de la respuesta. Por consiguiente, el problema se traduce a un problema de máximos (o mínimos, en el caso de escalamiento descendente) con ciertas restricciones. La maximización de la función respuesta se lleva a cabo mediante el uso de multiplicadores de Lagrange. El problema se formula de la siguiente manera:

$$\text{Maximizar } \hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i$$

$$\text{sujeto a } r = \sqrt{\sum_{i=1}^k x_i^2}$$

Ahora supóngase que  $x=(x_1, x_2, \dots, x_k)^t$  es tal que  $r = \sqrt{\sum_{i=1}^k x_i^2}$  y  $\hat{Y}(x)$  es máximo, entonces se cumple que

$$x_i = \beta_i / (2\mu); i = 1, 2, \dots, k.$$

donde  $\mu$  es el multiplicador de Lagrange. Nótese que el cambio de las variables  $x_i$  es directamente proporcional a los coeficientes estimados  $\beta_i$ , y por consiguiente los incrementos a lo largo de la trayectoria de escalamiento ascendente son proporcionales a los coeficientes  $\{\beta_i\}$ . Cabe señalar que el tamaño de paso se elige con base en el conocimiento del proceso.

## Análisis Canónico

Los principales objetivos del análisis canónico son encontrar las coordenadas del punto estacionario, expresar el modelo en su forma canónica y encontrar la relación entre las variables canónicas y las variables codificadas. Este método es de gran utilidad, ya que es a través de él como se puede expresar e interpretar de manera sencilla el modelo de segundo orden utilizado.

El punto estacionario es aquél sobre el cual, dentro de una superficie de respuesta, el plano tangente a la superficie tiene pendiente cero. Es importante localizarlo porque en dicho punto, la variable respuesta es un máximo, un mínimo, o un punto silla, lo que significa que podría ser el punto óptimo que se busca. Puede suceder que se tenga una superficie estacionaria, en lugar de punto estacionario. La situación ideal es cuando dicho punto resulta ser del tipo que buscamos, máximo o mínimo, y que se encuentre dentro de la región experimental, pero en la práctica, lo más común es que el punto estacionario no sea el que buscamos, y se procede a encontrar el mejor punto dentro de la región, utilizando el método de análisis de cordillera.

Las coordenadas del punto estacionario,  $x_0=(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0})^t$  se obtienen derivando la respuesta ajustada con respecto a cada  $x_i$ , igualando a cero esas derivadas y resolviendo las  $k$  ecuaciones simultáneamente. Esto es, consideremos el modelo de segundo orden, dado por:

$$\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \hat{\beta}_{ij} x_i x_j$$

que en forma matricial se puede escribir como

$$\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + X^t \beta + X^t B X$$

donde  $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ,  $\beta^t = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$

Observemos que  $\hat{Y}(x): R^k \rightarrow R$  es diferenciable. Así pues, el punto estacionario de la superficie de respuesta pertenece al conjunto de puntos  $x \in R^k$  que satisfacen

$$\text{grad} \hat{Y}(x) = 0$$

Por lo tanto, el punto estacionario esta dado  $x_0 = \frac{-B^{-1}\beta}{2} = (x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0})^t$ . Nótese que el punto estacionario se puede obtener fácilmente de los coeficientes del modelo ajustado.

La forma bilineal simétrica

$$Hf(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_2 \partial x_1} & \dots & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_k \partial x_1} \\ \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_k \partial x_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_1 \partial x_k} & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_2 \partial x_k} & \dots & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_k^2} \end{bmatrix}$$

sirve para caracterizar la superficie de respuesta de la siguiente manera:

1. Si  $\det Hf(x_0) \neq 0$
2. Si  $\det Hf(x_0) > 0$  entonces mínimo local si todos eigenvalores son positivos.
3. Si  $\det Hf(x_0) > 0$  entonces máximo local si todos los eigenvalores son negativos.
4. Si  $\det Hf(x_0) < 0$  entonces es un punto silla.
5. Si  $\det Hf(x_0) = 0$

Si el eigenvalor distinto de cero es positivo entonces se tiene una variedad mínima local. Si el eigenvalor diferente de cero es negativo entonces se tiene una variedad máxima local.

## Método de Análisis de Cordillera

Durante el análisis de una superficie de respuesta puede suceder que el punto estacionario este afuera de la región experimental, pero todavía se desea encontrar el mejor punto dentro de esta región. El análisis de cordillera es parecido a un escalamiento ascendente, pero sobre una superficie de segundo orden. El método de análisis de cordillera sirve para encontrar el máximo (mínimo) de  $\hat{Y}(x)$  sobre esferas de radio variable  $r_j (j = 1, 2, \dots)$  centradas en el origen  $(x_1, x_2, \dots, x_k) = (0, 0, \dots, 0)$  y contenidas en la region experimental. El objetivo es encontrar el máximo valor de  $\hat{Y}(x)$  en la superficie de cada esfera. Como el

modelo ajustado describe el comportamiento de la respuesta se espera que el mejor punto de operación sea el máximo (o mínimo) sobre alguna esfera.

El modelo ajustado de segundo orden sobre la región de las  $\mathcal{K}$  variables codificadas  $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  y  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$  y  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$  se puede expresar en forma matricial como

$$\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + X^t \beta + X^t B X$$

y se desea maximizar  $\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + X^t \beta + X^t B X$  sujeto a la restricción  $x^t x - r^2 = 0$  supongamos que  $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  es tal que  $r = \sqrt{\sum_{i=1}^k x_i^2}$  y además  $\hat{Y}(x)$  es un máximo (o mínimo) entonces se cumple que

$$\text{grad}(\hat{Y}(x)) = \mu \text{grad}\left(\sum_{i=1}^k x_i^2 - r^2\right)$$

donde  $\mu$  es el multiplicador de Lagrange. De aquí se deduce que

$$2 \begin{bmatrix} \beta_{11} & \frac{\beta_{12}}{2} & \dots & \frac{\beta_{1k}}{2} \\ \frac{\beta_{12}}{2} & \beta_{22} & \dots & \frac{\beta_{2k}}{2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\beta_{1k}}{2} & \frac{\beta_{2k}}{2} & \dots & \beta_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} = 2\mu \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$

Así, el mejor punto sobre cada esfera debe cumplir la restricción

$$(B - \mu I)x = \frac{-\beta}{2},$$

donde el valor de  $\mu$  se elige de acuerdo a lo que se busca; si se quiere un máximo  $\mu$  debe ser mayor que el más grande valor propio de la matriz  $B$ , y si se busca un mínimo debe ser menor que el más pequeño valor propio de la matriz  $B$  (Draper N.R (1963)). Cada valor de  $\mu$  corresponde a una esfera de cierto radio, y se debe localizar aquella sobre la cual el modelo predice el mejor valor de la respuesta en la región experimental.

## Ejemplo 1: Una Aplicación de MSR en la Industria Electrónica.

La compañía está interesada en determinar los niveles de los factores que minimizan el número de obleas rotas. Los factores que se controlan son *temperatura de grabado*, *temperatura de piranha* y *temperatura de agua*. El proceso se realizaba antes del experimento a una temperatura de grabado de  $-3^\circ\text{C}$ , una temperatura de piranha de  $98^\circ\text{C}$  y una temperatura de agua de  $20^\circ\text{C}$  y se tenía un rendimiento mecánico del  $97\%$  en la solución piranha. Se utilizó un diseño factorial  $2^3$ , en cada tratamiento se utilizaron

500 obleas, y se obtienen solo ocho puntos, se decidió considerar solo 250 obleas por tratamiento es suficiente para observar al menos una oblea rota por tratamiento.

Se supone que la variable porcentaje de obleas rotas depende de los factores temperatura de grabado, temperatura de piraña y temperatura de agua, en grados centígrados respectivamente. El modelo regresión lineal múltiple a considerar está dado por

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_{12} X_{i12} + \beta_{13} X_{i13} + \beta_{23} X_{i23} + \varepsilon_i; i = 1, 2, \dots, 16,$$

donde

$Y_i$  = Porcentaje de obleas rotas

$X_{i1}$  = Temperatura de grabado

$X_{i2}$  = Temperatura de piranha

$X_{i3}$  = Temperatura de agua

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23})$ , es el vector de parámetros, y

$\varepsilon_i = N(0, \sigma^2)$ , donde  $\sigma^2$  es la varianza.

En base a la muestra y aplicando regresión lineal múltiple (mediante paquete Statistica) se obtiene el modelo ajustado siguiente:

$$\hat{E}(Y_i) = 0.015 - 0.009X_{i1} - 0.003X_{i2} - 0.004X_{i3} + 0.004X_{i13}; i = 1, 2, \dots, n.$$

De la expresión anterior se ve que el factor que más afecta a la variable número de obleas rotas (en porcentajes) es la temperatura de grabado. También se observa que mantener la temperatura de grabado en su nivel alto causa una disminución en la variable respuesta, mientras que, manteniendo la temperatura de piraña en su nivel alto y la temperatura de agua en su nivel bajo, implicando esto que se eliminen los términos correspondientes a la temperatura de piraña y el factor de interacción. Es decir, la combinación (1,1,-1) es el mejor tratamiento, debido a que esto causa que los términos correspondientes a temperatura de grabado y temperatura de piraña contribuyen a una disminución en la variable porcentaje de obleas rotas mientras que los otros factores se eliminan.

Se realizaron las gráficas de diagnóstico no se observa alguna violación seria a la suposición de normalidad, no se viola el supuesto de independencia, ni el supuesto de varianza constante.

La significancia de la regresión se prueba mediante la hipótesis

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{3vs} H_1: \beta_i \neq 0 \text{ para alguna } i$$

En la tabla siguiente aparece el análisis de varianza y se concluye que al menos una variable contribuye significativamente a la regresión porque  $F_o = 24.84 > F_{0.05,4,11} = 12.002$ .



| Efecto    | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Cuadrados Medios | Estadístico F | P <sub>valor</sub> |
|-----------|-------------------|--------------------|------------------|---------------|--------------------|
| Regresión | .002340           | 4                  | .000585          | 24.84556      | .000018            |
| Residuos  | .000259           | 11                 | .000024          |               |                    |
| Total     | .002599           |                    |                  |               |                    |

## Técnica de Optimización

Con el método de mínimos cuadrados se ajustó el modelo de segundo orden a los datos y se obtuvo el modelo dado por

$$\hat{Y} = 0.015 - 0.009X_1 - 0.003X_2 - 0.004X_3 + 0.004X_{113};$$

Considerando que el objetivo es encontrar los niveles de los factores que producen la respuesta mínima, se utiliza el análisis canónico y se obtienen los siguientes resultados el valor mínimo de los valores positivos de  $\hat{Y}$  se encuentran sobre la esfera de radio 0.8, sobre el punto con coordenadas (1.001,0.334,0.572).

Ejemplo 2: Aplicación a la Esporulación de *Paecilomyces Fumoso*roseus (Wise) Brown Ans Smith.

Los hongos entomopatógenos son usados para el control de plagas en la agricultura como parte de un Programa de Manejo Integrado de Plagas (MIP). Ellos pueden ser reproducidos en medio sólido, líquido o la combinación de líquido con sólido. El objetivo es maximizar la producción de esporas por cm<sup>2</sup> de hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumoso*roseus, las cuales han sido utilizadas exitosamente para el control de diversos insectos plaga, controlando tres distintos factores: nivel de glucosa, nivel de levadura y tiempo, así como determinar los niveles de los factores que maximizan la producción de esporas del hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumoso*roseus. Los niveles de los factores controlados en escala original y codificada se muestran en la siguiente tabla.

| Nivel    | X Glucosa (g/l) | X Extracto de levadura(g/l) | X Tiempo (días) |
|----------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
| -1       | 30              | 3                           | 12              |
| 0        | 60              | 6                           | 15              |
| 1        | 90              | 9                           | 18              |
| 1.68179  | 110.4567        | 11.0453                     | 20.0453         |
| -1.68179 | 9.5463          | 0.9546                      | 9.9546          |

# Diseño composición central

| Trat | X Glucosa (g/l) | X Extracto de levadura (g/l) | X Tiempo (días) | Esporas |
|------|-----------------|------------------------------|-----------------|---------|
| 1    | 30              | 3                            | 12              | 7.13    |
| 2    | 30              | 3                            | 15              | 8.82    |
| 3    | 30              | 3                            | 18              | 10.8    |
| 4    | 90              | 3                            | 12              | 5.41    |
| 5    | 90              | 3                            | 15              | 4.92    |
| 6    | 90              | 3                            | 18              | 7.48    |
| 7    | 30              | 9                            | 12              | 13.2    |
| 8    | 30              | 9                            | 18              | 16.1    |
| 9    | 30              | 9                            | 20.04           | 12.9    |
| 10   | 90              | 9                            | 12              | 10.6    |
| 11   | 90              | 9                            | 15              | 9.47    |
| 12   | 90              | 9                            | 18              | 14.6    |
| 13   | 9.5463          | 6                            | 12              | 3.51    |
| 14   | 110.4537        | 6                            | 12              | 6.94    |
| 15   | 60              | .9546                        | 12              | 3.24    |
| 16   | 60              | 11.04                        | 12              | 13.2    |
| 17   | 60              | 6                            | 9.9546          | 7.40    |
| 18   | 60              | 6                            | 12              | 10.4    |
| 19   | 60              | 6                            | 15              | 12.2    |
| 20   | 60              | 6                            | 20.04           | 15.4    |
| 21   | 9.5463          | 6                            | 15              | 15.3    |
| 22   | 110.4537        | 6                            | 15              | 9.12    |
| 23   | 60              | 09546                        | 15              | 2.79    |
| 24   | 60              | 11.0454                      | 15              | 13.3    |

El modelo de regresión lineal múltiple

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_{11} X_{i1}^2 + \beta_{22} X_{i2}^2 + \beta_{33} X_{i3}^2 + \beta_{12} X_{i1} X_{i2} + \beta_{13} X_{i1} X_{i3} + \beta_{23} X_{i2} X_{i3} + \beta_4 X_{i4} + \beta_5 X_{i5} + \beta_6 X_{i6} + \varepsilon_i; i = 1, 2, \dots, n$$

donde:

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| $Y_i$    | Producción de esporas por $\text{cm}^2$ |
| $X_{i1}$ | Glucosa                                 |
| $X_{i2}$ | Levadura                                |
| $X_{i3}$ | Tiempo de cosecha                       |

$X_{i4}, X_{i5}, X_{i6}$  Variables indicadoras para los niveles de la variable *Réplica*

$\varepsilon_i = N(0, \sigma^2),$

$\varepsilon_i$  's independientes

### Modelo de Segundo Orden Completo

$$\hat{Y}_i 701,484,260 - 61,667,314X_{i1} + 118,251,777X_{i3} - 61,784,249X_{i1}^2 - 71,091,915X_{i2}^2 - 23,630,759X_{i3}^2 + 6,087,048X_{i1}X_{i2} \pm 10,024,806X_{i1}X_{i3} - 20,499,488X_{i2}X_{i3} - 42,938,986X_{i4}X_{i5} + 46,484,506X_{i6};$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

## Regresión Múltiple

De acuerdo con los resultados de la prueba sobre la significancia de la regresión, la glucosa, la levadura y el tiempo de cosecha contribuyen significativamente a la regresión (producción de esporas/cm<sup>2</sup> de *Paecilomyces fumosoroseus*, Al ajustar este modelo se obtuvo una R<sup>2</sup> de 0.79, mientras que  $\phi^2$  fue  $1.54050 \times 10^{-16}$  para verificar la significancia de la regresión en el modelo de segundo orden completo.

| Efecto    | Suma de Cuadrados          | Grados de Libertad | Cuadrados Medios           | Estadístico F | P <sub>valor</sub> |
|-----------|----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------|--------------------|
| Réplica   | 2.2089<br>$\times 10^{17}$ | 3                  | 7.3732<br>$\times 10^{16}$ | 5.24          | 0.0022             |
| Regresión | 6.5713<br>$\times 10^{18}$ | 9                  | 7.3015<br>$\times 10^{18}$ | 46.07         | 0.0000             |
| Residuos  | 2.7100<br>$\times 10^{18}$ | 171                | 1.5848<br>$\times 10^{18}$ |               |                    |
| Total     | 9.5022<br>$\times 10^{18}$ | 183                |                            |               |                    |

Tabla de análisis de varianza.

Como  $F_0 = 46.07 > F_{0.05,9,171} = 1.93$ . Las variables la glucosa, la levadura y el tiempo de cosecha contribuyen significativamente a la regresión, el efecto de la variable Réplica es significativo, por lo que las respuestas de las observaciones dependen de la réplica en la que se encuentre cada una de ellas.

## Significancia de los Parámetros

| Parámetros   | Valor de la Estadística | p-valor | Criterio de Rechazo |
|--------------|-------------------------|---------|---------------------|
| $\beta_0$    | 30.7998                 | 0.0000  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_1$    | -6.0313                 | 0.0000  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_2$    | 15.1959                 | 0.0000  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_3$    | 12.4753                 | 0.0000  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_{11}$ | -5.2593                 | 0.0000  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_{22}$ | -6.0516                 | 0.0000  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_{33}$ | -2.0647                 | 0.0000  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_{12}$ | -0.5014                 | 0.6173  | No rechazo $H_0$    |
| $\beta_{13}$ | -0.8331                 | 0.4070  | No rechazo $H_0$    |
| $\beta_{23}$ | -1.6949                 | 0.0936  | No rechazo $H_0$    |
| $\beta_4$    | -2.8369                 | 0.0056  | Se rechaza $H_0$    |
| $\beta_5$    | -1.4313                 | 0.1558  | No rechazo $H_0$    |
| $\beta_6$    | 3.0712                  | 0.0028  | Se rechaza $H_0$    |

Cada uno de los términos del modelo de segundo orden completo contribuyen significativamente  $t = 1.960$  a explicar el comportamiento de la producción de esporas/cm<sup>2</sup>.

## Conclusiones

De los resultados obtenidos del análisis realizado en el presente trabajo se puede resaltar lo siguiente:

1. Se presenta una aplicación del diseño de experimentos en la industria electrónica mexicana. Algunos aspectos que hacen interesante este experimento son: 1) las consideraciones de ingeniería de proceso que se hicieron previamente, 2) las diferentes alternativas de análisis estadístico, por ser la respuesta una variable binaria y 3) el ahorro económico obtenido.
2. Los diferentes análisis que se realizaron detectaron como significativos los efectos  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_{13}$ . El análisis mediante el modelo de regresión múltiple y el modelo de regresión logística tuvieron la capacidad para detectar los mismos efectos. Esto se debe tal vez a que un número grande de obleas procedas en cada tratamiento. Antes del experimento se utilizaba la combinación de temperaturas  $(X_1, X_2, X_3) = (-1, 1, -1)$  y después de analizar los datos mediante las técnicas, se encontró que un mejor punto es  $(1, 1, -1)$ .
3. Desde el punto de vista económico, se importante mencionar que antes del experimento se rompían obleas por cada mil procesadas, lográndose este número a 15 por cada mil. Esta mejora representa un ahorro aproximado de \$ 8000.00 dólares mensuales. Esta aplicación del diseño de experimentos muestra que para tener

mejoras importantes no se requieren diseños complicados, ni análisis estadísticos sofisticados, sino experimentos bien conducidos. Aunque hubiese sido mejor haber corrido un diseño factorial  $2^3$  con puntos al centro.

4. Las coordenadas en escala original del punto crítico obtenido con el análisis canónico, así como el valor de la variable respuesta, también en su escala original, son muy cercanos a los obtenidos en el laboratorio, lo cual habla de que el modelo estadístico describe atinadamente lo que sucede en la realidad, ya que los resultados obtenidos por las dos vías son semejantes.

5. La producción de esporas por caja de 49 mm de diámetro varió de 3.43 a 9.53 x 10<sup>9</sup>. Al incrementar la glucosa de 10 a 50 g/L la esporulación aumento más del 40%. No hubo diferencia significativa en la esporulación al cosechar a los 15 y 18 días, ni al aumentar el extracto de levadura de 5 a 15 g/L. El óptimo de glucosa es superior a 50 g/L el extracto de levadura es cercano a 10 g/L y en el tiempo de incubación esta entre 12 y 18 días (Osuna Páez et al., 1999).

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Box, G. E. P. (1952). Multi-factorial designs of first orders. *Biométrica*.
- 2) Box, Ep, Box., and Draper, R. Norma (1963). *Empirical Model-Building and Response Surfaces*, John Wiley & Sons, Inc.
- 3) Castro Montoya, R. 1995. Metodología de Superficie de Respuesta: Una aplicación en la fabricación de circuitos integrados. Tesis de licenciatura. Escuela de Ciencias Físico Matemáticas, UAS.
- 4) Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2003). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Ed. McGraw Hill. México, DF.
- 5) Khuri A.I. and Cornell J.A. (1987). *Response Surfaces*. New York: Marcel Dekker.
- 6) Montgomery D.C. (1991). *Design and Analysis of Experiments*. Third edition. New York: Wiley.
- 7) Myers, R. (1971). *Response Surface Methodology*. Boston: Allyn and Bacon.
- 8) Osuna Páez, A. G. Cárdenas Cota, H. M. y Estrada Ramírez, F. J. 1999. Efecto de la fuente de carbono y nitrógeno sobre la esporulación de *Paecilomyces fumosoroseus*. *Memorias del III del Congreso Regional de Ciencias Alimentarias y Biotecnología*. PP. 107-111.

# CAPÍTULO 13

## PERCEPÇÃO DO TURISTA SOBRE HOSPITALIDADE: UM ESTUDO NA ROTA ECOLÓGICA ALAGOANA

*Data de aceite: 01/11/2021*

### **Gildo Rafael de Almeida Santanata**

Doutorando em Modelagem e Tecnologia  
para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos  
Hídricos, Instituto Federal Fluminense-IFF  
Macaé-RJ  
<https://orcid.org/0000-0001-6307-3256>

### **Marielle Cristina Silva Mendonça**

Graduada em História, Faculdade de Formação  
de Professores da Mata Sul-FAMASUL  
Maragogi-AL  
<http://lattes.cnpq.br/2510592440950169>

### **Ademar da Silva Paulino**

Técnico em Agropecuária Instituto Federal de  
Alagoas-IFAL, Maceió-AL  
<http://lattes.cnpq.br/2910027916772762>

### **Uilliane Faustino de Lima**

Tecnologa em cooperativismo, Instituto Federal  
de Alagoas-IFAL  
Maceió-AL  
<http://lattes.cnpq.br/1125751387258632>

**RESUMO:** A atividade turística ascende na economia confirmando sua relevância no cenário atual, tal afirmação pode ser constatada a partir do seu grau de participação na economia global. Esse mercado em constante crescimento exige um novo tratamento e uma correta estratégia competitiva, de forma a oferecer um serviço diferenciado visando satisfazer as expectativas do consumidor. Neste projeto, foi analisado a relação entre a qualidade dos serviços turísticos

ofertados na Rota Ecológica Alagoana e a satisfação dos turistas. Para tanto, foi realizado um estudo exploratório-descritivo, com enfoque analítico quantitativo. A coleta de dados foi através de um questionário aplicado junto aos turistas que estavam hospedados na região. Diante dos resultados obtidos, foi constatado que a maioria dos turistas ficaram satisfeitos com os serviços de hospedagem da região, considerando os serviços entre ótimo e bom.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hospitalidade, posicionamento estratégico, satisfação, turistas.

### TOURIST PERCEPTION ABOUT HOSPITALITY: A STUDY IN THE ROTA ECOLÓGICA ALAGOANA

**ABSTRACT:** Tourist activity rises in the economy confirms its relevance in the current scenario, such a statement can be seen from its level of participation in the global economy. This market in constant growth requires a new treatment and a proper competitive strategy in order to offer a unique service which aims to satisfy consumer expectations. In this project, it was analyzed the relationship between the quality of tourism services offered at Ecological Route of Alagoas and satisfaction of tourists. Therefore, we performed a descriptive exploratory study with quantitative analytical approach. Data collection was through a questionnaire applied among tourists who were staying in the region. Based on these results, it was found that most tourists were satisfied with the hosting services in the region, considering the services between great and good.

**KEYWORDS:** Hospitality, strategic positioning,

satisfaction, tourists.

## INTRODUÇÃO

O turismo assumiu um papel importante como alternativa de desenvolvimento social, econômico e cultural da sociedade. As perspectivas de exploração da atividade turística têm incentivado municípios a lançarem um novo olhar sobre seu patrimônio cultural e natural, como oportunidade de criação de atividades que proporcionem incremento de renda para a população e, também, desenvolvimento econômico e social.

No Brasil, o turismo é uma das atividades econômicas que mais vem crescendo, especialmente no Nordeste, região apontada como destino preferido pelos turistas brasileiros (MINISTÉRIO DO TURISMO, 2016). No Nordeste, Alagoas é um dos destinos mais procurados, com uma taxa de ocupação hoteleira anual em média de 72% (SETUR, 2014). Em Alagoas, a região intitulada Rota Ecológica, local de estudo desta pesquisa, localizada ao norte do Estado, se estende por somente 40 km, compreendendo os municípios de Passo de Camaragibe, São Miguel dos Milagres e Porto de Pedras, é nacional e internacionalmente conhecida pelo turismo de alto padrão aliados a ações de sustentabilidade.

Com o crescimento da atividade turística, é necessário um novo tratamento e uma correta estratégia competitiva de forma a satisfazer as expectativas do novo consumidor. Atualmente, a hotelaria é constituída de diversos tipos de hospedagem, pois o mercado hoteleiro cresceu e abriu espaço para que grandes e pequenos meios de hospedagem atuem lado a lado, aumentando a necessidade de decisões e atitudes acertadas no mercado (OLSEN et al., 2008).

Com o aumento da concorrência, as empresas estão percebendo que encantar os turistas já não é mais suficiente para a fidelização, e por isto, procuram oferecer-lhes experiências que superem suas expectativas, além de estarem sempre em busca de algo que possibilite tirar proveito em relação aos concorrentes (ABREU et al., 2010).

Neste ambiente, muitos meios de hospedagem utilizam-se do planejamento estratégico para nortear suas ações. No entanto, mesmo sendo uma importante ferramenta para a gestão de uma empresa, é realidade no setor hoteleiro, principalmente na hotelaria independente, a inexistência do Planejamento Estratégico ou a informalidade do mesmo (BOEING, 2011).

A Organização Mundial do Turismo – OMT (2003) ressalta que o planejamento do turismo deve objetivar o alcance de um caminho de desenvolvimento integrado, controlado e sustentável. A sua elaboração deve ser calcada num elenco de procedimentos sistemáticos, tais como a definição dos objetivos, o desenvolvimento de pesquisas e implantação de ações mais efetivas. Para Ignara (2003), o planejamento da atividade turística se mostra, portanto, como um poderoso instrumento de fomento ao desenvolvimento socioeconômico de uma comunidade.

Diante do exposto, fica claro que a hotelaria necessita de uma gestão cada vez mais profissionalizada e estratégica, atenta às atualizações e inovações exigidas para a sobrevivência no mercado. As empresas precisam planejar o futuro para que sobrevivam, cresçam e satisfaçam às necessidades dos clientes e da própria organização (PHILIPS; MOUTINHO, 1999).

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o tipo de pesquisa desenvolvida, utilizou-se a classificação sugerida por Vergara (2003), que pode ser considerada de caráter descritivo “expõe características de determinada população ou de determinado fenômeno”.

Os objetivos propostos visaram mapear as vantagens competitivas dos empreendimentos de hospitalidade da região estudada. Neste sentido, foi realizada uma pesquisa, descritiva bibliográfica e um estudo de caráter exploratório. O produto final deste processo é um problema mais esclarecido, passível de investigação mediante procedimentos sistematizados (GIL, 1991).

Quanto a natureza da pesquisa foi aplicada. Castilho et al. (2014) ressalta que esse tipo de pesquisa está voltada ao desenvolvimento e avaliação de produtos e métodos. Quanto à forma, a pesquisa foi quanti-qualitativa objetivando todas as inter-relações entre as variáveis pesquisadas.

Quanto a técnica de coleta de dados, foram utilizadas observações diretas e entrevistas, com a utilização de um roteiro estruturado. Foi necessário a aplicação de 385 questionários com turistas para obter um intervalo de 95% de confiança, com margem de erro de 5% em torno de uma estimativa da prevalência de 50%.

Para o cálculo da amostra foi considerada uma margem de erro de 5% e um nível de confiança de 95%, onde o  $Z = 1,96$ .

$$n = \frac{Z^2 p(1-p)}{\epsilon^2}$$

Onde;

$n$ : tamanho da amostra,  $p$ : proporção esperada,  $Z$ : Valor da distribuição normal para determinado nível de confiança,  $\epsilon$ : tamanho do intervalo de confiança (margem de erro).

Para um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 5%, o  $Z = 1,96$

$$n = \frac{Z^2 p(1-p)}{\epsilon^2} = \frac{1,96^2 \cdot 0,5^2 \cdot 0,5^2}{0,05^2} = 384,16$$

Para alcançar os objetivos pretendidos deste trabalho foi necessária a aplicação de 385 questionários com turistas para obter um intervalo de 95% de confiança, com margem



de erro de 5% em torno de uma estimativa da prevalência de 50%. Segundo Gil (1996, p.90), “o questionário constitui o meio mais rápido e barato de obtenção de informações, além de não exigir treinamento de pessoal e garantir o anonimato”. Destaque-se que não apenas rapidez e o baixo custo tornam o questionário uma excelente ferramenta de coleta de dados, mas sua real efetividade, pois é uma ferramenta aplicada em tempo real, ou seja, no momento em que ocorre o contato do turista com o local eleito para sua viagem.

Os dados obtidos foram tabulados no software estatístico SPSS. De posse dos dados coletados foi discutido os principais aspectos delineados pela observação do pesquisador e coordenador do projeto para estabelecer a análise transversal dos elementos estudados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os destinos turísticos são fortemente afetados pelas novas dinâmicas do mercado, o que reflete num aumento exponencial da competitividade. Desta forma, procuram desenvolver estratégias que lhes permitam estimular a procura turística de forma a assegurar o crescimento e a sustentabilidade da sua atividade. Eles enfrentam a necessidade de ter que repensar a sua estratégia e definir uma nova matriz de orientação que lhes permita reforçar e/ou consolidar o seu posicionamento estratégico e obter novas vantagens competitivas. Para a construção dessa vantagem competitiva é essencial que a organização realize a avaliação do grau de satisfação do cliente.

Para Horner e Swarbrooke (2002) a compreensão do comportamento do consumidor é crucial para a eficácia das atividades mercadológicas realizadas pelas organizações. Ainda segundo os mesmos autores pesquisar sobre comportamento do consumidor é ao mesmo tempo fácil e difícil, pois uma aquisição por parte de um consumidor tem um significado emocional, isto pode ser muito relevante principalmente para a área de turismo.

Analisando o perfil dos turistas da Região, podemos observar que um pouco mais da metade (53%) dos entrevistados são do sexo feminino e, as demais características do perfil dos mesmos podem ser observadas na Figura 1. A faixa etária da maioria (54,6%) está entre 32 e 50 anos (Figura 1a) e, 60,8% dos entrevistados são casados (Figura 1b). Em relação a renda mensal familiar, a maior parte (59,5%) ganham mais que 10 salários mínimos. Quanto ao grau de instrução (Figura 1d), 54,1% têm pós-graduação e 41,8% têm graduação.

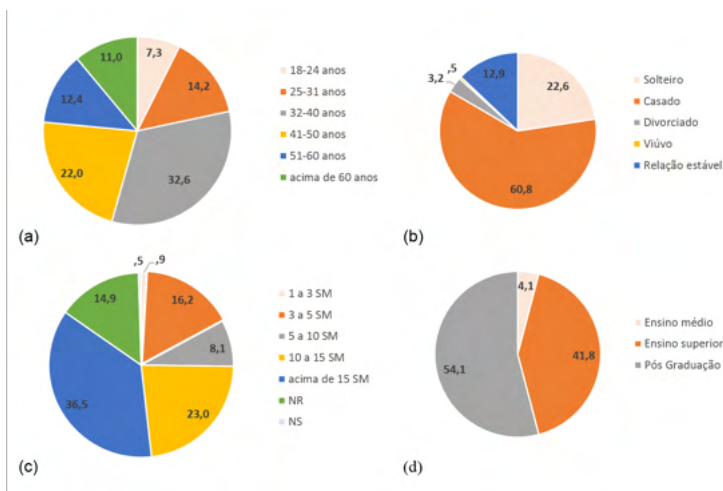


Figura 1: Perfil dos entrevistados: (a) Faixa etária, (b) Estado civil, (c) Renda mensal familiar e (d) Grau de instrução. SM - Salário Mínimo, NR - Nenhuma das Respostas e NS - Não Sei.

Fonte: Pesquisa de campo

A região da Rota Ecológica é rica em belezas naturais, com praias quase desertas, águas claras e mornas e um ambiente costeiro marinho bastante preservado. Por causa da proximidade com as barreiras de coral é possível chegar às piscinas naturais a pé ou de jangadas. Devido à pouca exploração dessas piscinas é possível encontrar ambientes marinhos ricos em biodiversidade e espécies ameaçadas de extinção como o coral de fogo (*Millepora alcicornis*). Nessa região, dentre os serviços turísticos ofertados, destaca-se os hotéis e pousadas à beira-mar com estrutura e serviços diferenciados, que proporcionam conforto, tranquilidade e descanso. A gastronomia também é um dos pontos fortes da região, com uma culinária criativa e saborosa. Além desses serviços, o artesanato local, como os móveis e objetos de decoração feitos de coqueiro e jaqueira, as pelúcias de Peixes-boi e o passeio de visitação ao peixe-boi marinho (*Trichechus manatus*), também vem dando visibilidade e desenvolvimento para a região.

O passeio de observação do peixe-boi, espécie ameaçada de extinção, é um atrativo-chave da região. Apesar de não ter sido criado pelas pousadas da Rota Ecológica, há uma interação com as mesmas, o projeto é coordenado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e consequentemente dos passeios de visitação. Esses passeios são realizados pela Associação peixe-boi, que tem um trabalho direcionado ao serviço de condução de visitantes e às ações socioambientais para gestão ambiental e compartilhada.

Segundo uma pesquisa feita por Carvalho (2014), as pousadas da Rota Ecológica também afirmam comprar produtos e serviços locais, como frutos do mar, artesanato, passeios de jangada, entre outros. Ou seja, há interações entre as pessoas e os serviços

locais.

Para uma análise geral da região, foi solicitado aos turistas uma avaliação dos serviços, levando em consideração a qualidade das instalações, qualidade dos serviços, preço, acessibilidade, sustentabilidade, dentre outros. Para tanto, deveria ser atribuída uma nota de 0 a 10 para a região da Rota Ecológica Alagoana. Na Figura 2, pode-se notar que 70,8% dos entrevistados atribuíram nota entre 8 e 10. Vale ressaltar que, a Rota Ecológica possui em suas características naturais, seu principal atributo de atratividade.

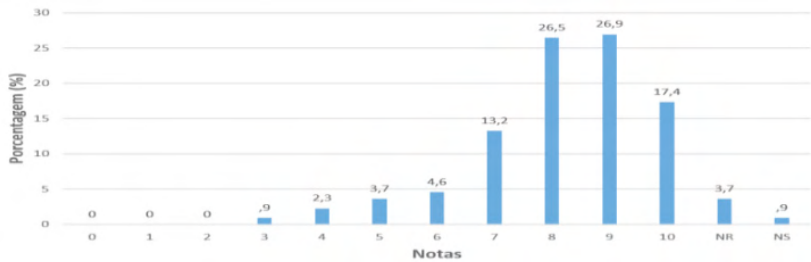


Figura 2: Notas que os entrevistados atribuíram a Rota Ecológica Alagoana.

NR - Nenhuma das Respostas e NS - Não Sei. Fonte: Pesquisa de campo

Em relação as condições das hospedagens, de acordo com os resultados obtidos, as instalações, os serviços e à acessibilidade são bons/ótimos (Figura 3). Mais de 97% dos entrevistados consideraram entre ótimo e bom a qualidade das instalações e dos serviços (Figura 3a e 3b). Quanto a acessibilidade (Figura 3c), 83,5% consideraram entre ótimo e bom. Vale frisar que, apesar dessa região ter se beneficiado com o desenvolvimento do turismo em seus povoados, as melhorias geradas para o turismo nem sempre traz benefícios diretos para a população local. Segundo Camêlo (2016), uma das consequências do turismo na Rota Ecológica é a chegada de loteamentos que tem fechado vários acessos das pessoas à praia, ou seja, os cidadãos estão sendo impedidos de usufruir a determinadas áreas do seu próprio lugar.

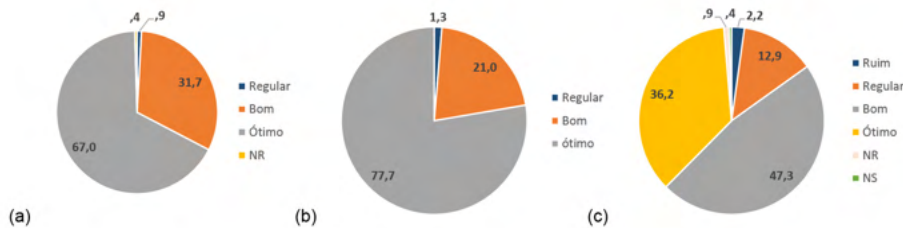


Figura 3: Avaliação das condições das hospedagens: (a) Qualidade das Instalações, (b) Qualidade dos serviços e (c) Acessibilidade. Fonte: Pesquisa de campo

Ainda sobre as condições das hospedagens, 90,6% dos entrevistados consideraram as hospedagens como sendo ótimo/bom em relação a sustentabilidade (Figura 4a), 96% consideraram a alimentação entre ótimo e bom (Figura 4b) e, 82,6% indicaram que os preços foram ótimo/bom (Figura 4c). Vale destacar que, as pousadas da região em sua maioria, buscam valorizar ações ligadas a conceito de sustentabilidade, como compostagem de material orgânico, reciclagem do lixo etc. (CAMÊLO, 2013). Outro fator que influencia na distinção das pousadas locais é a fina gastronomia. Ademais, segundo Ruschmann (1997), o turismo sustentável incrementa ao preço cobrado dos turistas os custos do seu desenvolvimento, favorecendo assim, o turista de elite e impedindo que os turistas de massa tenham acesso a esses espaços.

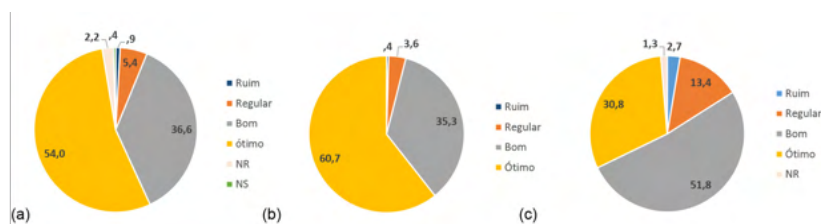


Figura 4: Avaliação das condições das hospedagens: (a) Sustentabilidade, (b) Alimentação e (c) Preço. Fonte: Pesquisa de campo

Diante dos resultados obtidos, fica claro que a maioria dos turistas ficaram satisfeitos com os serviços oferecidos. Em consequência disso, quando perguntados se voltariam a visitar a região da Rota Ecológica, 92,9% dos turistas responderam que sim.

Segundo a Lei nº 7.231, de 7 de janeiro de 2001, a região da Rota Ecológica de Alagoas, abrange uma área especial de interesse turístico, que tem entre seus pressupostos, promover o turismo sustentável, fortalecer a cadeia produtiva do turismo e incentivar práticas sustentáveis pelos empreendimentos turísticos. Portanto, ao avaliarem positivamente a região, os turistas estão contribuindo para a manutenção do atual padrão estabelecido pelo setor turístico local.

## CONCLUSÕES

Este projeto teve como objetivo analisar a percepção dos turistas que frequentam a Rota Ecológica Alagoana. Diante dos resultados obtidos, foi possível constatar que, de forma geral, os serviços de hospitalidade foram bem avaliados, uma vez que, a maioria dos entrevistados consideraram as condições de hospedagens entre ótimo e bom.

Importante destacar que a maioria dos entrevistados possuem alto poder aquisitivo, formando um perfil diferenciado dos turistas que compõem o turismo em outras regiões do Estado. Apesar das limitações com relação a obtenção de informações, este estudo

estimula a realização de estudos que busquem analisar a percepção do turista de uma forma socioambiental.

## REFERÊNCIAS

ABREU, H. J. L. F. M. et al. **Percepção dos serviços prestados: uma pesquisa sobre os serviços de hospitalidade em Alagoas**. XXX Encontro nacional de engenharia de produção. São Carlos, 2010. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_TN\\_STP\\_125\\_809\\_16695.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_125_809_16695.pdf). Acesso em janeiro de 2016.

BOEING, R. **Formalização do planejamento estratégico no setor hoteleiro: um estudo nos meios de hospedagem conveniados junto ao Costa Esmeralda Convention & Visitors Bureau**. In: V Encontro de Estudos em Estratégia - 3E's, 2011, Porto Alegre. Anais, p. 1-17, 2011.

CAMÊLO, A. R. S. **Gestão institucional do turismo no polo costa dos corais nos municípios de Passo de Camaragibe, São Miguel dos Milagres e Porto de Pedras – Alagoas**. Monografia (Bacharelado de Geografia). Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2013.

CAMÊLO, A. R. S. **Percepção das comunidades locais sobre a turistificação da Rota Ecológica em Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2016.

CARVALHO, R. K. A. **Pousadas de charme como uma alternativa para o turismo sustentável em São Miguel dos Milagres AL**. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2014.

CASTILHO, A. P.; BORGES, N. R. M.; PEREIRA, V. T. **Manual de metodologia científica**. ILES. 2 ed. –Itumbiara/GO – ULBRA. 2014. Disponível em: <http://www.ulbra.itumbiara.com.br/manumeto.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2015.

GIL, A C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991. 207 p.

HORNER, S.; SWARBROOKE, J. O comportamento do consumidor no turismo. São Paulo: Aleph, 2002.

IGNARRA, L.R. **Fundamentos do turismo**. 2 ed. São Paulo: Pioneira, 2003.

MINISTÉRIO DO TURISMO. **Feira de turismo do Nordeste terá apoio do MTur**. 2016. Disponível em: <http://www.turismo.gov.br/component/content/article.html?id=5902>. Acesso em janeiro de 2016.

OLSEN, M. D.; SHARMA, A.; ECHEVESTE, I.; CHING-YICK TSE, E. Strategy for Hospitality Businesses in the Developing World. **Hospitality Review**, v. 26, p. 32-46, 2008.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO TURISMO. Guia de desenvolvimento do turismo sustentável. Porto Alegre: Bookman, 2003.

PHILIPS, P.; MOUTINHO L. Measuring strategic planning effectiveness in hotels. **International Journal of Contemporary Hospitality Management**, v. 11, p. 349-358, 1999.

RUSCHMANN, D. V. M. **Turismo e planejamento sustentável: a proteção do meio ambiente**. 10 ed. Campinas: Papirus, 1997.

SECRETARIA DE TURISMO DE ALAGOAS - SETUR. **Anuário Estatístico do Estado de Alagoas**. Ano 20, n. 20. Maceió: Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico, 2014. Disponível em < <http://dados.al.gov.br/dataset/anuario-estatistico-do-estado-de-alagoas> > acesso em 09 de junho de 2015.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 4. Ed. São Paulo, Atlas, 2003.

# CAPÍTULO 14

## REAÇÕES DE CETONAS E POLIÁLCOOIS PARTE 1: AUTO-ALDOLIZAÇÃO E CETALIZAÇÃO PROMOVIDAS PELO CATALIZADOR HIDROFÍLICO E AMORFO $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$ , SOB IRRADIAÇÃO DE MICRO- ONDAS

Data de aceite: 01/11/2021

Data de Submissão: 06/09/2021

**Sandro Luiz Barbosa dos Santos**

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
Diamantina - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/1838900365016581>

**Stanley Ivair Klein**

Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho  
Araraquara - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/254590487742>

**Myrlene de Oliveira Ottone**

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
Diamantina - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/1437872928324349>

**Milton de Souza Freitas**

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
Diamantina - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/4614662823212517>

**Maria Luiza Pereira e Oliveira**

Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri  
Diamantina - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/5287309339838547>

**RESUMO:** O catalisador amorfo e mesoporoso  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$  tem a área superficial de  $115\text{m}^2\text{g}^{-1}$ , que ajuda a sustentar o teor prótonico de 1,32

$\text{mmol H}^+\text{g}^{-1}$ , é muito eficiente para a protonação de cetonas na proporção m/m de 10%; os intermediários protonados, ligados ao catalisador, podem ser capturados por poliálcoois para produzir cetais em altos rendimentos, ou sofrer condensação aldólica em minutos, tudo sob irradiação de micro-ondas em baixas potências. O mesmo catalisador pode facilmente reverter a reação de cetalização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cetonas protonadas; auto-aldolização; cetalização; hidrólise de cetais; 1-3 dioxolanas; sílica sulfonada.

REACTIONS OF KETONES AND  
POLYALCOHOLS PART 1: SELF-  
ALDOLIZATION AND CETALIZATION  
PROMOTED BY THE HYDROPHILIC  
AND AMORPHIC CATALYST  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$ ,  
UNDER MICROWAVE IRRADIATION

**ABSTRACT:** The amorphous and mesoporous catalyst  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$  has a surface area of  $115\text{m}^2\text{g}^{-1}$ , which helps to support the proton content of 1.32  $\text{mmol H}^+\text{g}^{-1}$ , is very efficient for the protonation of ketones in the m/m ratio 10%; the catalyst-bound protonated intermediates can be captured by polyalcohols to produce ketals in high yields, or undergo aldol condensation in minutes, all under microwave irradiation at low power. The same catalyst can easily reverse the ketalization reaction.

**KEYWORDS:** Protonated ketones; self-aldolization; ketalization; ketal hydrolysis; 1-3 dioxolanes; sulphonated silica.

### INTRODUÇÃO

Os grupos carbonilas de aldeídos

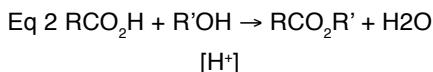
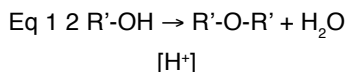
e cetonas são bastante reativos e devem ser protegidos se os compostos que contêm tais grupos forem submetidos a transformações químicas onde as funções aldeído ou cetona possam ser destruídas. Normalmente, essa proteção é realizada pela reação do composto carbonílico com etilenoglicol na presença de um catalisador ácido (SARTORI et al., 2004). Os produtos são geralmente referidos como acetal, se preparados a partir de um aldeído, ou cetal, se formados a partir de uma cetona. Eles contêm a espinha dorsal do anel 1-3-dioxolano de cinco membros. Este anel deve ser hidrolisado na presença de um catalisador ácido, para liberação do etilenoglicol e do composto carbonílico após a transformação desejada. Além da grande importância de tais reações de proteção e desproteção, alguns cetais são úteis por si próprios, como os do glicerol; esses cetais podem ser usados como precursores para a síntese de monoglicerídeos, como emulsificantes de alimentos (PEROSA et al., 2016; PINYAPHONG; SRIBURI; PHUTRAKUL, 2012; YANG et al., 2012; YU et al., 2003; CORMA et al., 1998; SHOWLER; DARLEY, 1967) como blocos quirais de construção em síntese orgânica (PAWONGRAT et al., 2007) como aditivos de combustível para biodiesel (PRIYA et al., 2017; MALLESHAM; RAO; REDDY, 2016; TRIFOI; AGACHI; PAP, 2016), e segundo (MOTA et al., 2009) como princípios ativos na medicina moderna, como, por exemplo, o 1,3-dioxolano-4-metanol, apresenta uma estrutura que é utilizada para a síntese de um potente inibidor da proteína GSK-2 $\beta$ , utilizado no tratamento da osteoporose quinase. Os anéis 1,3-dioxolanos também demonstraram exibir atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, além de que, podem ser usados como anti-sépticos para esterilização de superfícies de trabalho e instrumentos (OVSYANNIKOVA et al., 2013). Os cetais de anel de seis membros, ou m-dioxanos, são também de interesse para as indústrias farmacêutica e de combustível (PAWAR; JADHAV; BAJAJ, 2014).

O ácido sulfúrico pode ser considerado o ácido padrão para maioria das reações orgânicas que são catalisadas por ácidos de Brønsted-Lowry fortes, como as cetalizações, mas sua natureza anti-Química Verde prejudica seu uso generalizado: seus resíduos são altamente ácidos e sua corrosividade é amplamente evitada. Por outro lado, ácidos sólidos tais como sílicas sulfonadas mostraram ter um suficiente número de sítios ácidos, com pouca tendência para lixiviação (HUANG et al., 2016; HASAN; JHUNG, 2014; HELWANI et al., 2009) para torná-los candidatos versáteis para a substituição do ácido sulfúrico homogêneo.

Os catalisadores SiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>H podem ser preparados de várias maneiras. Os exemplos variam de adição simples de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a pastas de sílica e éter (BEHROOZ et al., 2012; RAJPUT; ROY; MUKHOPADHYAY, 2006), ou o tratamento de sílica com ácido clorossulfônico (ZOLFIGOL; MADRAKIAN; GHAEMI, 2002) até sínteses mais complexas de materiais mesoporosos onde o grupos sulfônicos são separados da superfície da sílica por cadeias de carbono (TESTA; LA PAROLA; VENEZIA, 2010). Este método também é uma forma de diminuir a hidrofobicidade do catalisador (SHIMIZU et al., 2005).



Recentemente, nós desenvolvemos uma sílica mesoporosa sulfonada cuja alta hidrofiliçidade a torna ideal para catálises de transformações orgânicas assistidas por prótons, em que ocorre a formação de água, como nas condensações de formação de éteres a partir de álcoois, e as esterificações de ácidos carboxílicos, equações 1 e 2 (BARBOSA et al., 2015).



O preparo desse catalisador envolve duas etapas simultâneas, onde areia fina de construção, amplamente disponível, é convertida a silicato de sódio pela reação com carbonato de sódio a quente, que é então neutralizado com ácido clorídrico aquoso para a precipitação da sílica gel, que é então tratada com ácido sulfúrico concentrado. Por ser de interesse geral, o procedimento detalhado da obtenção do catalisador é descrito abaixo. As demais reações de transformações orgânicas discutidas neste trabalho foram executadas em presença de ar atmosférico; todas foram irradiadas em um forno de micro-ondas de 900 GHz não modificado usando apenas 360 W de potência, e foram acompanhadas por cromatografia em camada delgada (CCD) e CG-MS. A identificação dos produtos envolveu também as técnicas de espectroscopia no infravermelho e ressonância magnética nuclear [Barbosa et al 2018 (JBCS)].

### Preparação da sílica gel e da sílica sulfonada, $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$

Uma mistura de 300,0 g de areia e 600,0 g de carbonato de sódio foi homogeneizada e transferida para cadinhos de porcelana, os quais foram aquecidos a 850 °C por 4 h. A mistura sólida foi transferida para um funil de vidro com placa sinterizada e lavada com 600-900 mL de água fervente. A solução filtrada foi acidificada a pH = 1 com ácido clorídrico, o precipitado branco foi filtrado e seco a 400 °C. A sílica resultante foi passada por um tamis de 24 mesh para padronização. Em seguida, 10,0 g da sílica preparada foi misturada com 10,0 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e agitada à temperatura ambiente por 12 h, filtrada e seca a 150 °C por 4 h, resfriada e armazenada em um dessecador. A força do ácido de 1,32 mmol de  $\text{H}^+$  por grama de catalisador foi determinada por titulação potenciométrica BARBOSA *et al.*, 2018).

Os estudos de caracterização da sílica sulfonada foram realizados usando os métodos de adsorção de nitrogênio de Brunauer-Emmett-Teller (BET), difração de raios-X (DRX), espectrometria dispersiva de energia (EDS), infravermelho (IV), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e termogravimetria (TGA/DTA), que foram discutidos em detalhes em outro local (Barbosa *et al.* (2018).

## Resultados e discussão

Foi relatado que  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$  (CHÁVEZ; SUÁREZ; DÍAZ, 1994) e  $\text{SiO}_2\text{-(CH}_2\text{)}_3\text{-SO}_3\text{H}$  (SHIMIZU *et al.*, 2005) tinham a capacidade de catalisar a formação de cetais do etilenoglicol, uma reação de condensação em que também ocorre a formação de água, e, portanto, uma candidata em potencial para ser testada com o novo catalisador feito a partir de areia. Nossos estudos mostram que o catalisador não só é eficiente para a conversão de diferentes cetonas em cetais de vários polióis na ausência de solventes, como na hidrólise daqueles polióis de volta às cetonas e polióis originais; também mostramos que, na ausência dos álcoois, as cetonas foram rapidamente protonadas e subsequentemente formaram condensados de aldol, exceto, é claro, no caso da benzofenona, que não participa normalmente de equilíbrios aldol, tudo em condições de irradiação por micro-ondas. Inicialmente  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$  foi utilizado com sucesso na preparação do cetal, 1,4-dioxaspiro[4.5]decano em 99.9% de rendimento, empregando dietilenoglicol e ciclohexanona como reagentes, sob irradiação de micro-ondas (360 W), 3 minutos de tempo reacional, 70 graus de temperatura final do meio reacional e livre do emprego de solventes. No entanto, essas condições experimentais renderam apenas cerca de 50% do cetal, 2-methyl-2-(p-tolyl)-1,3-dioxolane, a partir do emprego da acetofenona.

A formação de cetais de seis membros parece ser favorecida em relação à formação de 1-3-dioxolanas, em particular aqueles oriundos da benzofenona aparentemente menos reativa. Desta forma, ao empregarmos o etileno glicol em uma reação com a benzofenona, rendimentos de 28.9% em foi obtido em 2,2-diphenyl-1,3-dioxolane, após 5 minutos de irradiação de micro-ondas. Porém, rendimentos superiores em cetais foram obtidos, quando utilizamos o 2,2-Dimetilpropano-1,3-diol (Neopentyl Glycol), 49.3% em 5 minutos e o 2-Etil-2-(hidroximetil)propano-1,3-diol (trimetilolpropano), 53.5%, 8 minutos, respectivamente em reações de cetalização com a benzofenona.

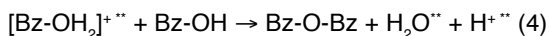
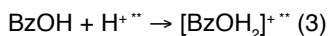
Não foi possível a síntese dos cetais, 2,2-diphenyl-1,3-dioxan-5-ol (isômero de 5 membros) e 2,2-diphenyl-1,3-dioxolan-4-yl)methanol (isômero de 6 membros), isômeros oriundos da cetalização da benzofenona com o glicerol, pois o glicerol não reagiu com a benzofenona em nossa condição livre de solvente. Assim como, não foi observada a formação dos isômeros de seis membros dos cetais envolvendo o glicerol em reações com cetonas, tais como, hexanona, acetofenona e p-metil acetofenona. Isômeros contendo anel 1,3-dioxolana (anel de 5 membros) foram obtidos em bons rendimentos empregando sob as mesmas condições reacionais e glicerol e hexanona, em um processo que deu origem ao (1,4-dioxaspiro[4.5]decan-2-yl)methanol, após 5 minutos e 70.5% rendimento. Ao utilizarmos glicerol e acetofenona foi produzido o (2-methyl-2-phenyl-1,3-dioxolan-4-yl)methanol em 58.9% após 2 minutos e glicerol e p-metil acetofenona originou o ((2-methyl-2-(p-tolyl)-1,3-dioxolan-4-yl)methanol) em 55.6% de rendimento e em 5 minutos de processo reacional.

Durante estudos prévios das reações de cetalização através de aquecimento convencional empregando manta térmica, ficou claro que reações concorrentes, ou seja, esterificação e condensação de aldólica, ocorreram na presença do catalisador,  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$ . Como já havíamos notado, a forte tendência de nosso catalisador em catalisar a formação de éteres a partir do álcool benzílico (BARBOSA et al., 2015), decidimos realizar um estudo detalhado da interação de ciclohexanona e etilenoglicol em diferentes proporções de cetona e álcool, assim como, em diferentes proporções do catalisador, em processos realizados sob irradiação de micro-ondas a 360 W. As proporções do catalisador utilizadas variaram de 7 a 20% (m/m) e tiveram apenas um efeito mínimo na distribuição do produto da reação, que era muito dependente da razão álcool: cetona.

Os resultados obtidos, mostraram que a ciclohexanona prontamente se auto-condensa na presença do catalisador sulfonado, mas esta reação torna-se desprezível na proporção de 2:1 (ciclohexanona: etilenoglicol) ou em concentrações mais altas de etilenoglicol para ciclohexanona. No entanto, nessas proporções mais altas de etilenoglicol, a condensação do álcool (esterificação) torna-se importante. Na ausência de ciclohexanona, o etilenoglicol é convertido em bis-etilenoglicol com 96% de rendimento. Deve-se notar que o catalisador após recuperação pode ser usado em até três processos consecutivos, com muito pouca perda de atividade (sob condições de irradiação de micro-ondas).

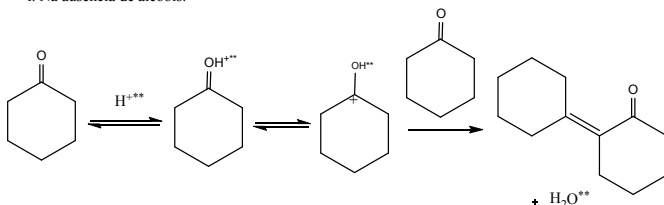
Em trabalho realizado pelo nosso grupo de pesquisa em 2015 (BARBOSA et al., 2015), ao examinar a esterificação do ácido benzóico com álcool benzílico, observamos que, em concentrações mais elevadas, o catalisador  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$  tinha uma afinidade aumentada para álcoois orgânicos versus ácidos orgânicos, e propusemos a existência de uma espécie ligada ao catalisador do tipo  $[\text{Bz-OH}_2]^+{}^{**}$  ( $\text{Bz-OH}$  = álcool benzílico;  ${}^{**}$  = espécies ligadas ao catalisador) como importantes intermediários, de modo que reações como as equações 3 e 4 podem resultar na formação exclusiva de éter dibenzílico a partir de uma mistura de álcool benzílico e ácido benzóico.

Equações 3 e 4

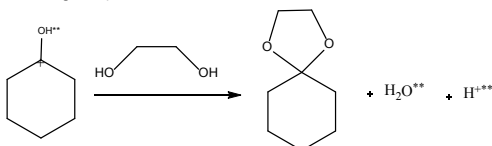


Neste trabalho, propomos que o catalisador é ainda mais seletivo para a protonação de cetonas sobre álcoois e, portanto, a seguinte sequência de reações pode ser aplicada, onde  ${}^{**}$  representa a espécie ligada ao catalisador, esquema 1.

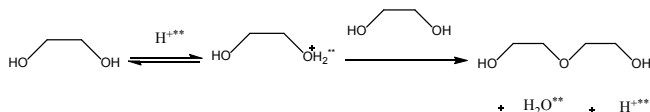
i. Na ausência de álcoois.



ii. Na presença de álcoois.



iii. Na ausência de cetonas.



Um exame dos rendimentos mostra que, conforme a estabilidade dos intermediários  $[\text{R}_2\text{C}^+-\text{OH}]^{+}$  aumenta de  $[\text{Cy}^+-\text{OH}]$  para  $[\text{Ph}_2\text{C}^+-\text{OH}]$ , os rendimentos dos cetais diminuem. Esta observação provavelmente indica que o catalisador mantém essas espécies estáveis mais firmemente. Esse efeito, juntamente com a difícil difusão do glicerol pelo  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$  em reações realizadas na ausência de solvente, também explica a falta de produtos na reação entre a benzofenona e o glicerol. Os cetais de anel de seis membros pareceram ser preferidos aos derivados de etilenoglicol de 5 membros quando as espécies  $[\text{R}_2\text{C}^+-\text{OH}]^{+}$  são estabilizadas por anéis aromáticos, mas esta regra não foi seguida pelo glicerol, que deu exclusivamente o cetal derivados do anel 1,3-dioxolanas. Esta é provavelmente outra evidência da dificuldade de difusão do terceiro grupo  $\text{CH}_2\text{-OH}$  do glicerol através dos poros hidrofílicos do catalisador  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$ . Parece, portanto, que a sílica mesoporosa sulfonada utilizada como catalisador neste e em trabalhos anteriores (BARBOSA et al., 2015) apresentou maior afinidade por substratos na seguinte ordem: ácidos orgânicos < álcoois < cetonas. Os resultados sugerem que as reações promovidas por esses catalisadores altamente hidrofílicos são dependentes da concentração do catalisador e assim como, da proporção dos reagentes.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho relatamos que a sílica mesoporosa sulfonada,  $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$  por nós sintetizada e que apresenta uma pequena área de superfície, grandes diâmetros de poros e alta hidrofiliçidade, apresentou uma maior afinidade para cetonas do que para álcoois

e facilmente promoveu condensações aldólicas quando usada em concentrações de 7 a 24% (m/m) em relação às cetonas. Na presença dos poliálcoois, tais como, o etilenoglicol, glicerol, trimetilolpropano e neopentilglicol, as cetonas, acetofenona, p-metilacetofenona e benzofenona foram convertidas nos respectivos cetais com rendimentos variando de razoáveis a bons. No entanto, a benzofenona não reagiu com o glicerol, sendo que, alquil cetonas puras, como cicloexanona, foram mais facilmente condensadas e cetalizadas. Na ausência de cetonas, o etilenoglicol foi suavemente convertido em bis-etilenoglicol. Todas as reações ocorreram em minutos sob condições livres de solvente usando irradiação de micro-ondas a 360 W.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, S. L. *et al.* Benzyl benzoate and dibenzyl ether from of benzoic acid and benzyl alcohol under microwave irradiation using a  $\text{SiO}_2\text{--SO}_3\text{H}$  catalyst. *Catalysis Communications*, v. 68, p. 97-100, 2015.

BARBOSA, S. L. *et al.* **Dehydration of d-fructose to 5-hydroxymethyl-2-furfural in DMSO using a hydrophilic sulfonated silica catalyst in a process promoted by microwave irradiation.** *Scientific reports*, v. 11, n. 1, p. 1-5, 2021.

BARBOSA, S. L. *et al.* **Oxygenated biofuels: Synthesis of fatty acid solketal esters with a mixture of sulfonated silica and  $(\text{Bu}_4\text{N})(\text{BF}_4)$  catalyst.** *Catalysis Communications*, v. 120, p. 76-79, 2019a.

BARBOSA, S. L. *et al.* **Synthesis of Phenyl Esters Using  $\text{SiO}_2\text{--SO}_3\text{H}$  Catalyst in Conventional Heating and Microwave-Irradiated Esterification Processes.** *Journal of nanoscience and nanotechnology*, v. 19, n. 6, p. 3663-3668, 2019b.

BEHROOZ, M. *et al.* **Sulfuric acid immobilized on silica gel as highly efficient and heterogeneous catalyst for the one-pot synthesis of 2, 4, 5-triaryl-1H-imidazoles.** *International Journal of Organic Chemistry*, v. 2012, 2012.

CHÁVEZ, F.; SUÁREZ, S.; DÍAZ, M. A. **Sulfuric acid adsorbed on silica gel. a multipurpose acid catalyst.** *Synthetic communications*, v. 24, n. 16, p. 2325-2339, 1994.

CORMA, A. *et al.* **Catalysts for the production of fine chemicals: production of food emulsifiers, monoglycerides, by glycerolysis of fats with solid base catalysts.** *Journal of Catalysis*, v. 173, n. 2, p. 315-321, 1998.

HAGEN, J. **Industrial Catalysis: A Practical Approach**, 2nd Ed.; Wiley-VCH Verlag, 2006.

HASAN, Z.; JHUNG, S. H.. **Facile in situ Syntheses of Highly Water-Stable Acidic Sulfonated Mesoporous Silica without Surfactant or Template.** *European Journal of Inorganic Chemistry*, v. 2014, n. 21, p. 3420-3426, 2014.

HELWANI, Z. *et al.* **Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: a review.** *Applied Catalysis A: General*, v. 363, n. 1-2, p. 1-10, 2009.

- HUANG, Y. *et al.* **Design of sulfonated mesoporous silica catalyst for fructose dehydration guided by difructose anhydride intermediate incorporated reaction network.** Chemical Engineering Journal, v. 283, p. 778-788, 2016.
- MALLESHAM, B.; RAO, B. G.; REDDY, B. M. **Production of biofuel additives by esterification and acetalization of bioglycerol.** Comptes Rendus Chimie, v. 19, n. 10, p. 1194-1202, 2016.
- MOTA, C. J. A.; SILVA, C. X. A.; GONÇALVES, V. L. C. **Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel.** Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 639-648, 2009.
- OVSYANNIKOVA, M. N. *et al.* **Antibacterial activity of substituted 1, 3-Dioxolanes.** Pharmaceutical Chemistry Journal, v. 47, n. 3, p. 142-145, 2013.
- PAWAR, R. R.; JADHAV, S. V.; BAJAJ, H. C. **Microwave-assisted rapid valorization of glycerol towards acetals and ketals.** Chemical Engineering Journal, v. 235, p. 61-66, 2014.
- PAWONGRAT, R. *et al.* **Synthesis of monoacylglycerol rich in polyunsaturated fatty acids from tuna oil with immobilized lipase AK.** Food Chemistry, v. 104, n. 1, p. 251-258, 2007 e referências citadas por eles.
- PEROSA, A. *et al.* **Synthesis of the fatty esters of Solketal and glycerol-formal: Biobased specialty chemicals.** Molecules, v. 21, n. 2, p. 170, 2016.
- PINYAPHONG, P.; SRIBURI, P.; PHUTRAKUL, S. **Synthesis of monoacylglycerol from glycerolysis of crude glycerol with coconut oil catalyzed by Carica papaya lipase.** International Journal of Chemical and Molecular Engineering, v. 6, n. 10, p. 926-931, 2012.
- PRIYA, S. S. *et al.* **Solvent-free microwave-assisted synthesis of solketal from glycerol using transition metal ions promoted mordenite solid acid catalysts.** Molecular Catalysis, v. 434, p. 184-193, 2017.
- RAJPUT, V. K.; ROY, B.; MUKHOPADHYAY, B.. **Sulfuric acid immobilized on silica: an efficient reusable catalyst for selective hydrolysis of the terminal O-isopropylidene group of sugar derivatives.** Tetrahedron letters, v. 47, n. 39, p. 6987-6991, 2006.
- SARTORI, G. *et al.* **Protection (and deprotection) of functional groups in organic synthesis by heterogeneous catalysis.** Chemical Reviews, v. 104, n. 1, p. 199-250, 2004.
- SHIMIZU, K. *et al.* **Acidic properties of sulfonic acid-functionalized FSM-16 mesoporous silica and its catalytic efficiency for acetalization of carbonyl compounds.** Journal of Catalysis, v. 231, n. 1, p. 131-138, 2005.
- SHOWLER, A. J.; DARLEY, P. A. **Condensation products of glycerol with aldehydes and ketones. 2-Substituted m-dioxan-5-ols and 1, 3-dioxolane-4-methanols.** Chemical reviews, v. 67, n. 4, p. 427-440, 1967.
- SING, K. S. W. **Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984).** Pure and applied chemistry, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.
- SMITH, G. V.; NOTHEISZ, F.; **Heterogeneous Catalysis in Organic Chemistry**, 1st Edition; CHEMISTRY IN BRITAIN, Vol. 35, No. 12, December 1999.

TESTA, M. L.; LA PAROLA, V.; VENEZIA, A. M.. **Esterification of acetic acid with butanol over sulfonic acid-functionalized hybrid silicas**. *Catalysis Today*, v. 158, n. 1-2, p. 109-113, 2010.

TRIFOI, A. R.; AGACHI, P. Ş.; PAP, T.. **Glycerol acetals and ketals as possible diesel additives. A review of their synthesis protocols**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 62, p. 804-814, 2016.

YANG, D. *et al.* **Preparation of 1-monoacylglycerols via the Suzuki-Miyaura reaction: 2, 3-dihydroxypropyl (Z)-tetradec-7-enoate**. *Organic syntheses; an annual publication of satisfactory methods for the preparation of organic chemicals*, v. 89, p. 183, 2012.

YU, C. *et al.* **Synthesis of glycerol monostearate with high purity**. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, v. 24, n. 8, p. 1229-1231, 2003.

ZOLFIGOL, M. A.; MADRAKIAN, E.; GHAEMI, E.. **Silica sulfuric acid/ $\text{NaNO}_2$  as a novel heterogeneous system for the nitration of phenols under mild conditions**. *Molecules*, v. 7, n. 10, p. 734-742, 2002.

## SIMULAÇÃO DE COMPLEXOS $\text{Fe(III)}$ E $\text{Cr(III)}$ POR SIDERÓFOROS

Data de aceite: 01/11/2021

**Leonardo Konopaski Andreani**

Universidade Estadual de Ponta Grossa,  
Departamento de Química, Brasil

**Sérgio Ricardo de Lázaro**

Universidade Estadual de Ponta Grossa,  
Departamento de Química, Brasil

**RESUMO:** Hidroxamatos são sideróforos produzidos tanto por bactérias quanto por plantas para captura de metais do tipo Fe utilizado em seu metabolismo. Todavia, esta captura é baseada em uma estrutura molecular do tipo complexo-metal para sua assimilação. O presente trabalho de simulação estrutural baseada na Teoria do Funcional da Densidade investigou a interação de quatro enantiômeros de hidroxamato com os íons  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{3+}$ . A estes enantiômeros foram realizadas modificações em grupos químicos para estudar possíveis perturbações nas ligações Fe – O e Cr – O essenciais para um favorecimento de formação de complexos entre metal e ligantes hidroxamatos modificados. Os complexos mais estáveis foram os de estrutura  $D_1$  tanto para o  $\text{Fe}^{3+}$  quanto para o  $\text{Cr}^{3+}$ ; enquanto que, a maior energia de ligação foi encontrada para os complexos de  $\text{Fe}^{3+}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** DFT, B3LYP, Química computacional, sideróforo, ferro (III), cromo (III), ambiental, planta, agricultura

**ABSTRACT:** Hydroxamates are siderophores produced by both bacteria and plants to capture

Fe-type metals used in their metabolism. However, this capture is based on a complex-metal molecular structure for its assimilation. The present work of structural simulation based on Density Functional Theory investigated the interaction of four hydroxamate enantiomers with  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$  ions. Modifications to these enantiomers were carried out in chemical groups to study possible perturbations in the Fe – O and Cr – O bonds, essential for favoring the formation of complexes between metal and modified hydroxamate ligands. The most stable complexes were those with a  $\Delta_1$  structure for both  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Cr}^{3+}$ ; while, the highest binding energy was found for the  $\text{Fe}^{3+}$  complexes.

**KEYWORDS:** DFT, B3LYP, computational chemistry, siderophore, iron (III), chrome (III), environment, plant, agriculture

### INTRODUÇÃO

O Ferro é um importante elemento, sendo essencial em diversos processos biológicos, pois tem uma grande capacidade de aceitar ou doar elétrons a partir da interconversão do  $\text{Fe}^{3+}$  em  $\text{Fe}^{2+}$ . Os seres humanos obtêm Fe a partir da alimentação, sendo fundamental no organismo para o transporte de  $\text{O}_2$  por meio da hemoglobina. No caso das plantas e micro-organismos a absorção de Fe do solo é dificultada devido a baixa solubilidade do Fe; Este problema é contornado utilizando-se de moléculas especializadas na captura de metais,



chamadas de sideróforos.<sup>1</sup>

Sideróforos (do grego sideros = ferro e foros = transportador) possuem uma grande afinidade pelo Fe, e por meio delas o metal é solubilizado e transportado. A bactéria excreta o sideróforo no ambiente ao seu redor, formando um composto solúvel com o metal que em seguida é absorvido e transportado a região que onde há demanda de Fe.<sup>2</sup>

Sabendo a importância dos sideróforos para as plantas, uma aplicação, seria adicionar sideróforos no solo para que as plantas tenham maior absorção do metal, agindo como um suplemento para as plantas. Outra possibilidade de aplicação seria no sequestro de metais pesados em áreas contaminadas, devido a grande afinidade do sideróforo pelo metal, por meio da formação de quelatos (fitorremediação).<sup>3, 4</sup>

Uma categoria de sideróforos são os hidroxamatos, sendo estes o objeto de estudo do presente trabalho. A estrutura base do hidroxamato é uma carbonila ligada a uma cadeia lateral e a uma hidroxilamina conectada a um radical (figura 1). O complexo investigado apresenta três sideróforos ligados ao metal de transição (Fe, Cr). Para o estudo das propriedades estruturais e eletrônicas do complexo foi utilizado a Teoria do Funcional da Densidade (TDF ou DFT). Esta teoria pode ser entendida como uma reformulação da mecânica quântica, pois não é operada sob a função de onda ( $\psi$ ) mas sim sobre a densidade eletrônica ( $\rho$ ). Para representar um sistema na DFT é necessário um termo de troca e correlação (funcional) e um conjunto de funções para descrever os elétrons (conjuntos de bases).<sup>5</sup>

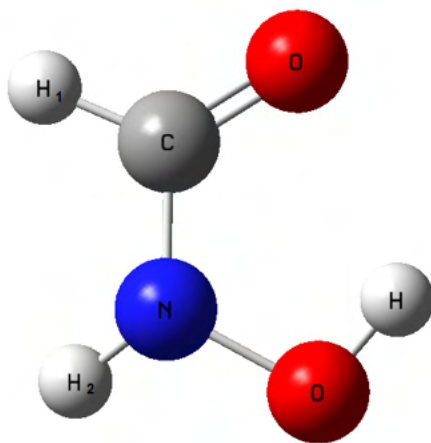


Figura 1. Estrutura do hidroxamato, ligante base dos complexos octaédricos de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{3+}$ , onde  $\text{H}_{1,2} = \text{H}, \text{CH}_3, \text{C}_6\text{H}_5$  em diferentes combinações.

Na teoria DFT surge o termo de troca e correlação (*exchange-correlation*). Este termo representa as interações entre elétron-elétron, é possível descrever de forma aproximada o termo de diversas maneiras, esta descrição é o maior dos problemas da metodologia DFT,

existem diversos estudos para se encontrar o funcional que melhor descreva este termo para determinados sistemas. Um dos funcionais mais utilizados atualmente é o funcional B3LYP, que é descrito pela equação 1.<sup>6, 7, 8, 9</sup>

$$E_{XC}(B3LYP) = (1 - \alpha)E_X(LDA) + \alpha E_X(HF) + b\Delta E_X(B88) + (1 - c)E_c(VWN3) + cE_c(LYP) \tag{1}$$

Os valores de a, b e c são 0,2; 0,72 e 0,81 respectivamente, estes são valores experimentais obtidos com o ajuste dos valores experimentais das energias de atomizações moleculares. O B3LYP utiliza-se de três parâmetros determinados por Becke, o último parâmetro mistura os termos de correlação de LYP com aqueles projetados por Vosko, Wilk e Nusair “VWN”.<sup>10</sup>

Em Química Computacional, Conjuntos de Base são um conjunto de funções matemáticas que representam combinações lineares de orbitais atômicos, e o comportamento da distribuição dos seus elétrons, ou seja, cada átomo em uma molécula precisa conter seu Conjunto de Base para ser simulado por método HF ou TFD. A partir das Equações de Roothaan-Hall, podemos construir os orbitais moleculares utilizando a combinação linear dos orbitais atômicos, e em seguida obter as propriedades do sistema. Um dos tipos de funções de base são as funções Gaussianas, estas funções têm um perfil melhor para realizar-se múltiplas operações matemáticas pelo computador em um curto espaço de tempo, comparado com os demais tipos de funções de base. A Base 6-31+G(d, p) é uma base difusa e com polarização, ou seja, esta base consegue descrever interações a longa distância de modo satisfatório, e as funções de polarização dos orbitais, com um custo computacional acessível.<sup>11</sup>

**METODOLOGIA COMPUTACIONAL**

Utilizou-se do software comercial GAUSSIAN09 para as simulações realizadas, descreveu-se as propriedades dos sistemas a partir do funcional B3LYP, e todos os elétrons dos sistemas foram representados pelo conjunto de base 6-31+G(d, p). Foram realizadas simulações dos complexos de Fe<sup>3+</sup> e Cr<sup>3+</sup> com 3 ligantes hidroxamato em diferentes arranjos e conformações, em seguida realizou-se diferentes substituições para formação dos ligantes nos dois Hidrogênios terminais H1 e H2 (figura 1) pelos grupos químicos metil e fenil. A Tabela 1 mostra as respectivas substituições realizadas.<sup>12</sup>

| Ligantes | Substituinte do H1 | Substituinte H2 |
|----------|--------------------|-----------------|
| 1        | -H                 | -H              |
| 2        | -CH3               | -H              |
| 3        | -H                 | -CH3            |
| 4        | -C6H5              | -H              |

|   |       |       |
|---|-------|-------|
| 5 | -H    | -C6H5 |
| 6 | -CH3  | -CH3  |
| 7 | -CH3  | -C6H5 |
| 8 | -C6H5 | -CH3  |

Tabela 1. Combinações de substituições para formação dos ligantes realizadas sobre o átomo de N e C.

Inicialmente as estruturas foram relaxadas diante da Energia Total do Sistema ( $E_{\text{tot}}$ ), para a validação e obtenção da correção da Energia do ponto zero da estrutura ( $E_{\text{zero}}$ ) de menor energia realizou-se o respectivo cálculo de frequência. Para o estudo das energias de ligação foi necessário realizar cálculos dos átomos de  $\text{Fe}^{3+}$  no estado duplete e  $\text{Cr}^{3+}$  no estado quadruplete. Também foi necessário o cálculo dos ligantes desprotonados em uma conformação onde a orientação dos oxigênios da ligação -cis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, por meio do estudo da estrutura dos complexos notou-se a presença de atividade óptica por aplicação de simetria gerando um complexo Delta ( $\Delta$ ) e seu enantiômero Lambda ( $\Lambda$ ). Todavia, existe a possibilidade de um segundo arranjo estrutural para novos isômeros (figura 2). Essas estruturas foram denominadas  $\Delta 1/\Lambda 1$  e  $\Delta 2/\Lambda 2$ .

O complexo de  $\text{Fe}^{3+} / \text{Cr}^{3+} \Delta 1$  (Fig. 1a) é enantiômero do complexo de  $\text{Fe}^{3+} / \text{Cr}^{3+} \Lambda 1$  (Fig. 1b), já para o complexo de  $\text{Fe}^{3+} / \text{Cr}^{3+} \Delta 2$  (Fig. 1c) o seu enantiômero é o complexo de  $\text{Fe}^{3+} / \text{Cr}^{3+} \Lambda 2$  (Fig. 1d). A Energia total de  $\Delta 1$  é igual a energia total de  $\Lambda 1$  com um valor de -1997,0187 hartree, e a energia total do complexo  $\Delta 2$  é igual ao de  $\Lambda 2$  com um valor de -1997,0159 Hartree. Portanto, as estruturas mais estáveis são a de  $\Delta 1/\Lambda 1$  apresentando uma diferença de energia de 0,0028 Hartree em relação ao complexo  $\Delta 2$  e seu enantiômero  $\Lambda 2$ . As diversas propriedades de  $\Delta 1$  e  $\Delta 2$  são semelhantes podendo serem consideradas iguais. Portanto todos cálculos foram realizados utilizando-se como base os complexos  $\Delta 1/\Lambda 1$ . Os resultados para cargas baseadas no cálculo de Natural Bond Orbital (NBO) mostram que a distribuição de carga do átomo de Fe e C é mais localizada nos elementos mais eletronegativos (O, N), demonstrando uma maior polarização na ressonância em relação à característica do grupo substituinte.

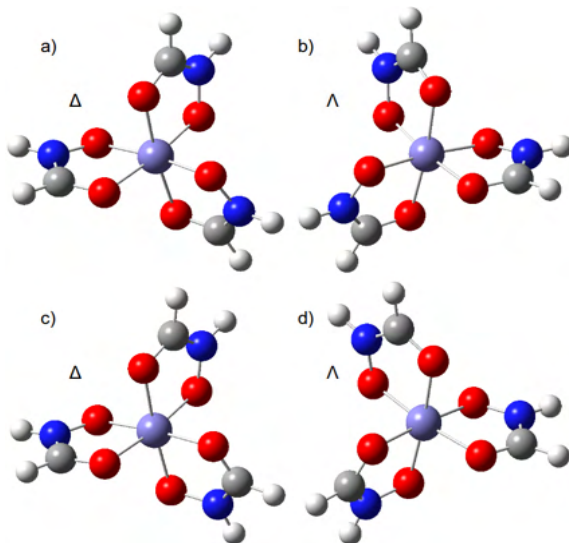


Figura 2. Possíveis isômeros com os ligantes hidroxamato e os metais Fe ou Cr em uma simetria octaédrica. As esferas nas cores púrpura, vermelha, azul, cinza e branco representam os átomos de Fe ou Cr, O, N, C e H; respectivamente.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de Energia total, orbitais de fronteira HOMO e LUMO e *Gap* para as estruturas enantioméricas simuladas. O *Gap* ( $E_{gap}$ ) é definido como a Energia do orbital LUMO ( $E_{LUMO}$ ) menos a Energia do Orbital HOMO ( $E_{HOMO}$ ) como mostrado na Equação 2 abaixo:

$$E_{gap} = E_{LUMO} - E_{HOMO} \quad (2)$$

Tabela 1. Valores da Energia total do sistema ( $E_{tot}$ ), em hartree, corrigidos pela energia do ponto zero, e os autovalores (hartree) relacionados aos orbitais de fronteira para os complexos de  $Fe^{3+}$  e  $Cr^{3+}$ . Os valores do *Gap* (eV) são predominantemente do canal de spin  $\beta$ . para o complexo de  $Fe^{3+}$  e ao canal de spin  $\alpha$  para o complexo de  $Cr^{3+}$ .

| Complexo de $Fe^{3+}$ | $E_{tot}$ ( | HOMO    | LUMO    | <i>Gap</i> |
|-----------------------|-------------|---------|---------|------------|
| $\Delta_1$            | -1997,0187  | -0,2033 | -0,0734 | 3,53       |
| $\Lambda_1$           | -1997,0187  | -0,2033 | -0,0734 | 3,53       |
| $\Delta_2$            | -1997,0159  | -0,2001 | -0,0766 | 3,36       |
| $\Lambda_2$           | -1997,0159  | -0,2001 | -0,0766 | 3,36       |
| Complexo de $Cr^{3+}$ | $E_{tot}$ ( | HOMO    | LUMO    | <i>Gap</i> |
| $\Delta_1$            | -1777,8866  | -0,2044 | -0,0313 | 4,71       |
| $\Lambda_1$           | -1777,8866  | -0,2044 | -0,0313 | 4,71       |
| $\Delta_2$            | -1777,8878  | -0,2076 | -0,0255 | 4,96       |
| $\Lambda_2$           | -1777,8878  | -0,2076 | -0,0255 | 4,96       |

Nenhuma das estruturas moleculares apresentou valores de frequência de vibração negativa, logo as estruturas são realmente a estrutura de menor energia. Podemos notar que as energias dos enantiômeros ( $\Delta_1\Lambda_1$ ) são muito próximas, porém, é esperado mudança na atividade óptica. Notamos que os enantiômeros  $\Delta_1\Lambda_1$  são os mais estáveis para o complexo de Fe com uma diferença de 1,78 kcal/mol entre o arranjo mais estável e o de maior energia (Tabela 1). Não notamos o mesmo para o complexo de Cr onde os enantiômeros 2 ( $\Delta_2\Lambda_2$ ) são os de menor energia, com uma diferença de 0,74 kcal/mol (Tabela 1).

Tabela 2. Valores da Energia total do sistema ( $E_{tot}$ ) corrigidos pela energia do ponto zero, energias dos orbitais de fronteira HOMO e LUMO para os ligantes desprotonados e *Gap* (eV).

| Substituição nº | $E_{tot}$ (Hartree) | HOMO (Hartree) | LUMO (Hartree) | <i>Gap</i> (eV) |
|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|
| s1              | -244,4607           | 0,0179         | 0,1409         | 3,35            |
| s2              | -283,7465           | 0,0163         | 0,1254         | 2,97            |
| s3              | -283,7547           | 0,0198         | 0,1231         | 2,81            |
| s4              | -475,4567           | -0,0107        | 0,0999         | 3,01            |
| s5              | -475,4587           | -0,0036        | 0,0919         | 2,59            |
| s6              | -323,0346           | 0,0199         | 0,1168         | 2,63            |
| s7              | -514,7357           | 0,0004         | 0,0921         | 2,49            |
| s8              | -514,7415           | -0,0048        | 0,0992         | 2,83            |

Com o objetivo de estudar a energia de ligação entre o metal e os diferentes ligantes com variados substituintes, foi necessário fixar uma única estrutura para que possamos comparar os efeitos dos ligantes, a estrutura escolhida foi a tanto para o Fe quanto Cr, devido a menor Energia total encontrada (Tabela 2).

Tabela 3. Valores da Energia total do sistema ( $E_{tot}$ ) e energias de HOMO e LUMO, em hartree, obtidas das estruturas do complexo de  $Fe^{3+}$  ( $\Delta_1$ ) e do complexo de  $Cr^{3+}$  ( $\Delta_1$ ) com os diferentes ligantes, nenhum dos cálculos apresentou vibrações imaginárias. *Gap* (eV) de spin  $\alpha$  para o complexo de  $Fe^{3+}$  e de spin  $\beta$  para o complexo de  $Cr^{3+}$ .

| Combinação para Fe3+ | Etot       | HOMO    | LUMO    | Gap  |
|----------------------|------------|---------|---------|------|
| 1                    | -1997,0187 | -0,2032 | -0,0735 | 3,53 |
| 2                    | -2114,8904 | -0,1931 | -0,0639 | 3,52 |
| 3                    | -2114,9239 | -0,1901 | -0,0587 | 3,57 |
| 4                    | -2689,9801 | -0,2018 | -0,0747 | 3,46 |
| 5                    | -2690,0074 | -0,1922 | -0,0640 | 3,49 |
| 6                    | -2232,7843 | -0,1797 | -0,0481 | 3,58 |

| 7                    | -2807,8619 | -0,1838 | -0,0523 | 3,58 |
|----------------------|------------|---------|---------|------|
| 8                    | -2807,8677 | -0,1863 | -0,0573 | 3,51 |
| Combinação para Cr3+ | Etot       | HOMO    | LUMO    | Gap  |
| 1                    | -1777,8866 | -0,2044 | -0,0313 | 4,71 |
| 2                    | -1895,7587 | -0,1946 | -0,0218 | 4,70 |
| 3                    | -1895,7917 | -0,1904 | -0,0174 | 4,71 |
| 4                    | -2470,8466 | -0,2096 | -0,0550 | 4,21 |
| 5                    | -2470,8750 | -0,1931 | -0,0509 | 3,87 |
| 6                    | -2013,6513 | -0,1799 | -0,0102 | 4,62 |
| 7                    | -          | -       | -       | -    |
| 8                    | -2588,7348 | -0,1869 | -0,0332 | 4,18 |

Para obter o valor médio das ligações entre O e o M realizou-se o seguinte balanço de energia:

$$E_{\text{ligação}} = \frac{1}{6} [E_{\text{complexo}} - (3 * E_{\text{ligante}} + E_{\text{metal}})] \quad (3)$$

Onde  $E_{\text{complexo}}$  corresponde a  $E_{\text{tot}}$  do complexo de Fe ou Cr com os diferentes tipos de ligantes,  $E_{\text{ligante}}$  corresponde a  $E_{\text{tot}}$  dos ligantes desprotonados,  $E_{\text{metal}}$  a energia do cátion  $\text{Fe}^{3+}$  ou  $\text{Cr}^{3+}$  nos estados eletrônicos duplete e quadruplete, respectivamente. Com os valores de energia de cada componente, obteve-se os valores da energia de ligação ( $E_{\text{ligação}}$ ) para cada complexo. A tabela 4 apresenta os valores das ligações médios entre M e O em kcal/mol.

| Metal | Substituinte | $E_{\text{ligação}}$ M-O (kcal/mol) |
|-------|--------------|-------------------------------------|
| Fe    | 1            | -248,33                             |
|       | 2            | -249,83                             |
|       | 3            | -250,76                             |
|       | 4            | -245,55                             |
|       | 5            | -247,78                             |
|       | 6            | -252,93                             |
|       | 7            | -250,24                             |
|       | 8            | -249,02                             |
| Cr    | 1            | -230,53                             |
|       | 2            | -232,06                             |
|       | 3            | -232,94                             |
|       | 4            | -227,60                             |
|       | 5            | -229,94                             |
|       | 6            | -235,02                             |
|       | 7            | -                                   |
|       | 8            | -231,13                             |

Tabela 4. Energias de ligação média entre o M e O nos diferentes complexos de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{3+}$ , valores obtidos aplicando-se a equação 3.

Analisando as energias de ligação para o  $\text{Fe}^{3+}$  podemos notar que a ligação de maior energia é a com o ligante 6 com um valor de -252,93 kcal/mol; enquanto que, a menor energia de ligação com esse metal foi com o substituinte 4 com -245,55 kcal/mol. De modo geral, os substituintes não afetaram significativamente o valor médio da energia de ligação, a diferença entre a energia de maior valor e menor é de 7,37 kcal/mol, comparando esta diferença de energia com a maior energia de ligação, o valor da diferença é de somente 2,9% da maior energia.

A ligação de maior energia para a ligação Cr – O foi calculada com o ligante 6, e a menor com o ligante 4 com valores de -235,02 e -227,60 kcal/mol respectivamente. Observamos que, as substituições dos ligantes não afetam diretamente a variação de energia de ligação entre os átomos de Cr e O, a energia da ligação tem um intervalo máximo de 7,42 kcal/mol, confrontado com a ligação de maior energia este valor é de 3,2%.

Vemos que o ligante 6, o qual consiste em um grupo metílico ligado ao C e outro ligado ao N na estrutura do hidroxamato, possibilita uma maior energia de ligação entre o hidroxamato em ambos os metais. A substituição 4 que consiste em um grupo fenil ligado ao N e um H ligado ao C, promove uma menor interação do hidroxamato com os metais quando comparado com os demais substituintes.

Podemos notar que independentemente do substituinte ligado aos átomos de C e N presentes na estrutura do hidroxamato, a ligação deste é mais efetiva com o  $\text{Fe}^{3+}$  do que com o  $\text{Cr}^{3+}$ , a média da energia de ligação do  $\text{Fe}^{3+}$  com o hidroxamato em todos os substituintes têm um valor de -249,31 kcal/mol, enquanto que, o  $\text{Cr}^{3+}$  tem valor de -231,32 kcal/mol. Assim, é previsto que o  $\text{Fe}^{3+}$  tem uma interação de 17,99 kcal/mol maior do que a interação do  $\text{Cr}^{3+}$  com o hidroxamato.

## CONCLUSÃO

Concluimos que as estruturas moleculares para o hidroxamato se mostraram muito versáteis com quatro enantiômeros. As simulações indicam que o  $\text{Fe}^{3+}$  tem maior energia de ligação do que o  $\text{Cr}^{3+}$  para estes ligantes hidroxamatos.

## AGRADECIMENTOS

As agências de fomento CAPES e CNPq.

## REFERÊNCIAS

- 1- NEILANDS, J. B.. Siderophores: Structure and Function of Microbial Iron Transport Compounds. **Journal Of Biological Chemistry**, [s.l.], v. 270, n. 45, p.26723-26726, 10 nov. 1995.
- 2- PATRIARCA, E.J.; TATÈ, R.; IACCARINO, M. Key Role of Bacterial  $\text{NH}_4^+$  metabolismo in *Rhizobium*-Plant Symbiosis. **Microbiology and Molecular Bioly Review**, Washington, v.66, p.203-222, 2002.
- 3- RAJKUMAR, Mani; AE, Noriharu; FREITAS, Helena. Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction. **Chemosphere**, [s.l.], v. 77, n. 2, p.153-160, set. 2009.
- 4- BRAUD, A.; JEZEQUEL, K.; LEGER, M.A.; LEBEAU, T. Siderophore production by using free and immobilized cells of two pseudomonads cultivated in a médium enriched with Fe and/or toxic metals (Cr, Hg, Pb). **Biotechnology and Bioengineering**, new York, v.94, p.1080-1088, 2006.
- 5- BENITE, Anna Maria Canavarro; MACHADO, Sérgio de Paula; MACHADO, Bianca da Cunha. Sideróforos: uma resposta dos microorganismos. **Química Nova**, [s.l.], v. 25, n. 6, p.1155-1164, dez. 2002.
- 6- PERDEW, J. P.. Density-functional approximation for the correlation energy of the inhomogeneous electron gas. **Physical Review B**, [s.l.], v. 33, n. 12, p.8822-8824, 15 jun. 1986. American Physical Society (APS).
- 7- PARR, R. G.; YANG, W. **Density Functional Theory**. New York: Oxford University Press Inc., 1989.
- 8- BECKE, A. D.. Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. **Physical Review A**, [s.l.], v. 38, n. 6, p.3098-3100, 1 set. 1988. American Physical Society (APS).
- 9- LEE, C.; YANG, W.; PARR, R. G. Development of the Colle-Salvetti correlationenergy formula into a functional of the electron density. **Phys. Rev B**.37: 785, 1988.
- 10- VOSKO, S. H.; WILK, L.; NUSAIR, M.. Accurate spin-dependent electron liquid correlation energies for local spin density calculations: a critical analysis. **Canadian Journal Of Physics**, [s.l.], v. 58, n. 8, p.1200-1211, ago. 1980. Canadian Science Publishing.
- 11- LEWARS, E.G. **Computational Chemistry**: Introduction to Theory and Applications of Molecular and Quantum Mechanics. 2ed. Springer, 2011.
- 12- FRISCH, M.J.; TRUCKS, G.W.; SCHLEGEL, H.B.; SCUSERIA, G.E.; ROBB, M.A.; CHEESEMAN, J.R.; et al. **Gaussian 09**, Revision B.01; 2009.



## PERCEPCIÓN DE LOS SINALOENSES EN LAS ELECCIONES DEL ESTADO DE SINALOA PARA GOBENADOR, DIPUTADOS FEDERALES Y PRESIDENTES MUNICIPALES EN 2015

*Data de aceite: 01/11/2021*

*Fecha de envío: 30/08/2021*

### René Castro Montoya

René Castro Montoya. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Sinaloa  
<https://orcid.org/0000-0002-6746-7559>

### José Vidal Jiménez Ramírez

José Vidal Jiménez Ramírez. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Sinaloa  
<https://orcid.org/0000-0001-6747-0144>

### Mario Castro Flores

Mario Castro Flores. Preparatoria Guasave Diurna, Universidad Autónoma de Sinaloa  
<https://orcid.org/0000-0001-7752-402X>

**RESUMEN:** Se aplicaron encuestas a periodos de 15 días a la población sinaloense mayores de 18 años con credencial para votar con residencia en el estado de Sinaloa, la cobertura de la encuesta se aplicó en los ocho distritos electorales federales, la determinación del tamaño de la muestra se determinó con un margen de error de estimación aproximadamente del 4.5 %, con una confianza del 95 % y efecto de diseño de 2, para los ocho distritos del punto anterior, la muestra se distribuyó proporcional a éstos, y dentro de cada distrito se estratificó por municipio en los que se está dividido éste y por último dentro de cada municipio proporcional al tipo de sección (urbana, rural). Se utilizó muestreo estratificado trietápico,

estratificando por distritos federales, municipios y áreas que conforman al Estado de Sinaloa. Se realizaron los análisis Estadísticos a fin de obtener información en la toma de decisiones, a la vez: obtener, conocer la opinión y necesidades, sobre temas que son de interés a la población a nivel estado, distrito federal, por municipio y área geográfica en las que está dividido Sinaloa.

**PALABRAS-CLAVE:** Población, Muestreo, Encuestas, Tamaño de Muestra, Estratificado.

### PERCEPTION OF SINALOANS IN THE ELECTIONS IN THE STATE OF SINALOA FOR GOVERNOR, FEDERAL DEPUTIES AND MUNICIPAL PRESIDENTS IN 2015

**ABSTRACT:** Surveys were applied in periods of 15 days to the Sinaloan population over 18 years of age with a credential to vote with residence in the state of Sinaloa, the coverage of the survey was applied in the eight federal electoral districts, the determination of the sample size was determined with a margin of estimation error of approximately 4.5%, with a confidence of 95% and a design effect of 2, for the eight districts from the previous point, the sample was distributed proportionally to these, and within each district it was stratified by municipality in which it was divided and finally within each municipality, proportional to the type of section (urban, rural). A three-stage stratified sampling was used, stratifying by federal districts, municipalities and areas that make up the State of Sinaloa. Statistical analysis was carried out in order to obtain information in decision-making, at the same time: to obtain, know the opinion and needs, on topics that are of interest to the population at the state level, federal district, by

municipality and geographical area in those in which Sinaloa is divided.

**KEYWORDS:** Population, Sampling, Polls, Sample size, Stratification.

## INTRODUCCIÓN

El propósito de la teoría del muestreo es que éste sea más eficiente. Su objetivo es desarrollar métodos de selección de muestras y de estimación, que proporcionen, al menor costo posible, estimaciones con la suficiente exactitud para nuestros propósitos. Una buena muestra estará a salvo de presentar un sesgo de selección. Una buena muestra tiene respuestas precisas para los puntos de interés. El sesgo de medición ocurre cuando el instrumento con el que se mide tiene una tendencia a diferir del valor verdadero en alguna dirección, éste sesgo en todas las encuestas se busca sea mínimo. La obtención de respuestas precisas es un reto en todo tipo de encuestas, pero en particular en las que se trabaja con personas: a veces las personas no dicen la verdad, no siempre comprenden las preguntas, olvidan, dan distintas respuestas a diferentes entrevistadores, pueden decir lo que piensan que un entrevistador quiere escuchar, un encuestador puede afectar la precisión de la respuesta, al leer mal las preguntas, al registrar las respuestas de manera equivocada o al polemizar con el entrevistado, ciertas palabras significan cosas distintas para personas diferentes, la formulación y el orden de las preguntas tiene un gran efecto sobre las respuestas obtenidas, un excelente análisis de estos problemas aparece en Groves, et. al (1989) y Asher (1992).

Una parte esencial en toda encuesta es el diseño del cuestionario, daremos una introducción muy breve al planteamiento y verificación de las preguntas, se proporcionan ciertas guías y ejemplos generales. Por ejemplo:

- Decida lo que quiere descubrir.
- Siempre verifique sus preguntas, antes de realizar la encuesta.
- Elabore las preguntas de manera sencilla y clara.
- Utilice preguntas específicas en vez de preguntas generales, de ser posible.
- Relacione las preguntas que elabore con el concepto de interés.
- Decida si debe utilizar preguntas abiertas o cerradas.
- Informe sobre la pregunta que se planteó realmente.
- Evite preguntas que induzcan o motiven al entrevistado a decir lo que usted quiere escuchar.
- Utilice preguntas de opción forzosa, en vez de a favor/en contra.
- Plantee sólo un concepto en cada pregunta.
- Preste atención al efecto del orden de las preguntas.

## TERMINOLOGÍA EN MUESTREO

**Población.**- Colección de individuos u objetos que tienen una característica en común.

**El Marco de Muestreo.**- Es el medio físico que identifica a todos los elementos de la población: Planos (mapa), listas, registros, directorio

**Población infinita.**-En algunos casos no se tiene una población finita con ubicación en tiempo y espacio. Por ejemplo, la población de todos los casos de úlcera que hay en el mundo (o en México) y los que puede haber.

**Muestra.** -Es simplemente una parte de la población.

**Muestreo.** - Es el proceso de seleccionar una muestra de la población, a fin de realizar inferencia acerca de la población.

**Aleatorización.** - Elección aleatoria de la muestra, equivale a una partición de la población en dos, la parte muestreada y la que no. La parte no muestreada tiende a ser semejante a la muestreada.

**Tamaño de la población y tamaño de muestra.** -Al número total de unidades en la población se le llama tamaño de la población y se denota por  $N$ . Al número total de unidades en la muestra se le llama tamaño de muestra y se denota por  $n$ .

La población inicial que se desea investigar se denomina población objetivo, ésta es una parte importante, y con frecuencia difícil, del estudio. Por ejemplo, en una encuesta política, ¿la población objetivo deberían ser todos los adultos que pueden votar? ¿Todos los votantes registrados? ¿Todas las personas que votaron en la última elección? La elección de la población objetivo afectará profundamente a las estadísticas resultantes.

Una muestra es un subconjunto de una población.

El marco de muestreo es la lista de las unidades de muestreo.

**Ventajas del muestreo:** Economía, mayor rapidez, conveniencia administrativa, precisión de los resultados e imposibilidad de censo. Estas ventajas son posibles únicamente cuando: Las unidades de muestreo se seleccionan mediante una técnica apropiada de muestreo y el tamaño de muestra es adecuado.

**Desventajas del muestreo:** Posibilidad de sesgo, requerimiento de conocimiento especializado e imposibilidad de muestreo.

### Muestreo aleatorio simple sin reemplazo

Este es un método de seleccionar  $n$  unidades de las  $N$  unidades de tal manera que cada muestra tiene la misma probabilidad y es igual a

$$\frac{N!}{n!(N-n)!}$$

Este esquema de muestreo es el más usado cuando se tiene la manera de identificar cada unidad en la población Cochran (1989). Además, no se tiene conocimiento a priori sobre los posibles valores de  $y_i$  ni otras mediciones asociadas a  $y_i$ .

Efecto de diseño (DEFF). -Mide el grado de distorsión que sufren las varianzas debido al diseño muestral empleado. Si,  $DEFF=2$ , la estimación de la encuesta tiene el doble de varianza muestral que una muestra aleatoria simple del mismo tamaño.

## Determinación del tamaño de muestra

Supóngase que **Var (y)** no es más grande que un valor preespecificado  $V$  Cochran (1989).

$$n = \frac{1}{\left(\frac{V}{S^2} + \frac{1}{N}\right)}.$$

Cuando  $S^2$  no se conoce  $S^2$  se estima seleccionando una primera muestra de tamaño  $n_1$

$$s_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - \bar{y})^2$$

para esta situación Cox (1952) sugiere que

$$n = \frac{\frac{s_1^2}{V}}{1 + \frac{2}{n_1}}$$

Para un margen de error dado

$$n = \frac{1}{d^2 S_1^2 Z_{\alpha/2}^2 + \frac{1}{N}}.$$

## Muestreo aleatorio estratificado

Mientras se muestrea una población, generalmente se supone que esta es homogénea con respecto a la característica de interés. Cuando esto no se tiene, se sugiere utilizar muestreo estratificado, el cual consiste en dividir una población heterogénea en  $k$  subpoblaciones relativamente más homogéneas y entonces utilizar muestreo en cada una de las subpoblaciones Cochran (1989). Las subpoblaciones no se traslapan y juntas integran la población completa,  $N$  denota el tamaño de la población.

$N = N_1 + N_1 + N_2 + \dots N_k$ , donde  $N_i$  = el tamaño del  $i$  – ésimo estrato,  $i = 1, 2, \dots, k$ .

Si obtenemos una muestra de tamaño  $n$  mediante muestreo estratificado, entonces una muestra de tamaño  $n_i$  se selecciona del  $i$ -ésimo estrato.

## Determinación del tamaño de muestra

Cuando se quiere determinar el tamaño de muestra, a partir de un estrato, deben considerarse los siguientes factores: El tamaño del estrato  $N_i$  la variabilidad dentro del estrato  $S_i^2$  y el costo involucrado en obtener una medición en el  $i$ -ésimo estrato.

## Igual tamaño de muestra

Si no se tiene información a priori acerca de la población, el mismo tamaño de muestra se toma para todos los estratos, es decir

$$n_i = \frac{n}{k}, i=1, 2, \dots k.$$

## Proporcional al tamaño del estrato

$$n_i = \frac{nN_i}{N}, i=1, 2, \dots k.$$

## Tamaño de muestra óptimo

$$n_i = \frac{(nN_i)}{NS_i c_i \sum_{i=1}^k \left(\frac{N_i}{N}\right) \frac{S_i}{c_i}}$$

## Tamaño de muestra para un margen dado de error

Si se quiere realizar una asignación de tal manera que la estimación  $y_{st}$  tenga error menor o igual que  $d$  con una confianza del  $100(1-\alpha)$ , el tamaño de muestra  $n$  está dado por

$$n = \frac{Np(1-p)}{(N-1) \frac{d^2}{z^2_{1-\frac{\alpha}{2}}} + p(1-p)}$$

donde

$p$  = Valor de la proporción a estimar

$n$  = Tamaño de muestra

$N$  = Número total de unidades en la población

$d$  = Error de estimación

$z^2_{1-\frac{\alpha}{2}}$  = Valor de tablas al nivel de significancia

## Muestreo sistemático

Generalmente cuando se selecciona una muestra de tamaño  $n$  de una población de tamaño  $N$ .

Una manera de realizar esta selección es elegir un intervalo apropiado y seleccionar los individuos a intervalos iguales a lo largo de una lista.

Algunas razones para recurrir a muestreo sistemático: Es fácil de llevar a cabo, a diferencia de otros tipos de muestreo está expuesto a menos errores del entrevistador, además es útil cuando se desconoce el tamaño de la población, por ejemplo, seleccionar la muestra  $i, i+k, i+2k, \dots, i+(n-1)k$ . Se extiende más uniformemente sobre toda la población, y por tanto, puede proporcionar más información, acerca de la población que una cantidad equivalente de datos obtenidos mediante muestreo con reemplazo o sin reemplazo Thompson (2012).

## Percepción de los Sinaloenses en las elecciones para diputado federal del 2015.

La población en estudio estuvo constituida por los votantes mayores de 18 años con credencial de votar con residencia en el estado de Sinaloa, la muestra estuvo conformada por 2,288 votantes encuestados, en 572 secciones electorales, la cobertura de la encuesta fué en todo el Estado, los ocho distritos electorales federales y en los 18 municipios.

La datos aquí utilizados proviene de la 9<sup>na</sup> encuesta realizada por el Centro de Estudios de Opinión Social y Económicos de México (CEOSEM), el Diseño de la Encuesta, las salidas parte de la captura lo realizaron los Autores René Castro, el tesista Mario Castro, bajo el Liderazgo del Ing. Arnoldo Valle, José Rosario Angulo, así como los compañeros jefes de equipo en la aplicación de la encuesta: Sandra Reyes, Rosario Zatarain, Maurilio Hernández, Omar Mancera, Fernando Arce, todos aquellos compañeros que aplicaron y finalmente participaron en el proceso de captura de las encuestas, esto es fruto de trabajo de quienes formamos parte del equipo del CEOSEM, a quienes agradezco infinitamente por permitirme utilizar la base de datos para realizar éste trabajo, así como dirigir una tesis de Maestría en Matemáticas Aplicadas, en el programa que ofrece la Universidad de Occidente Campus Guasave, Sinaloa.

El tamaño de la muestra se estimó con un margen de error de estimación del 4.5 %,

con una confianza del 95 % y efecto de diseño de 2, para los ocho distritos del punto anterior, la muestra se distribuyó proporcional a éstos, y dentro de cada distrito se estratificó por municipio en los que se está dividido éste y por último dentro de cada municipio proporcional al tipo de sección (urbana, rural). Se utilizó muestreo estratificado estratificando por distritos federales, municipios y áreas que conforman al Estado de Sinaloa. Se realizaron los análisis Estadísticos a fin de obtener información en la toma de decisiones, a la vez: obtener, conocer la opinión y necesidades, sobre temas que son de interés a la población a nivel estado, distrito federal, por municipio y área geográfica en las que está dividido Sinaloa Castro-Flores (2016).

La muestra estuvo conformada por 2,288 Sinaloenses en edad de votar de los cuales 52 % son del género femenino y 48% son del género masculino.

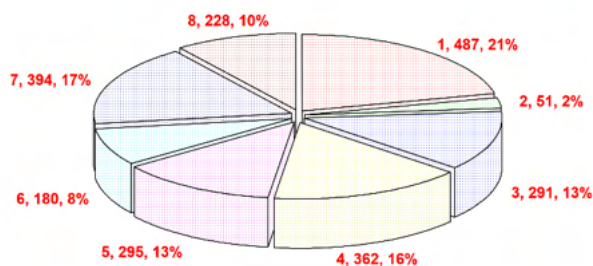
Los porcentajes para la variable nivel de escolaridad (último grado de estudios) se muestran en la siguiente tabla

| <b>Categoría</b>         | <b>Conteos</b> | <b>Porcentaje</b> |
|--------------------------|----------------|-------------------|
| 1 Primaria Trunca        | 357            | 15.6031469        |
| 2 Primaria terminada     | 381            | 16.6520979        |
| 3 Secundaria trunca      | 182            | 7.95454545        |
| 4 secundaria terminada   | 248            | 10.8391608        |
| 5 Prepa trunca           | 177            | 7.73601399        |
| 6 Prepa terminada        | 422            | 18.4440559        |
| 7 Licenciatura trunca    | 192            | 8.39160839        |
| 8 Licenciatura terminada | 248            | 10.8391608        |
| 9 Posgrado               | 18             | 0.786713287       |
| Ns/Nc                    | 63             | 2.7534965         |
| Faltantes                | 0              | 0                 |

Los resultados de la encuesta arrojan la siguiente “opinión de la acción de que algunas personas intercambian el voto por algún tipo de apoyo”

| <b>Categoría</b>              | <b>Conteos</b> | <b>Porcentaje</b> |
|-------------------------------|----------------|-------------------|
| 1 Completamente en desacuerdo | 193            | 8.43531469        |
| 2 En desacuerdo               | 1320           | 57.6923077        |
| 3 De acuerdo                  | 504            | 22.027972         |
| 4 Ns/Nc                       | 271            | 11.8444056        |

En la siguiente gráfica se muestran los porcentajes y número de secciones encuestadas por distrito federal para el estado de Sinaloa.



DISTRITOFEDERAL

Los resultados de la encuesta arrojan que la percepción de los votantes sobre los partidos políticos, el 15 % de los encuestados manifiestan que nunca votarían por el PRI, mientras que el 14 % nunca votaría por el PRD.

En la carrera por la gubernatura entre los más reconocidos o que identifican al candidato, el Maestro Héctor M. Cuén Ojeda (PAS) alcanza un 64 % de los encuestados lo identifican como la figura más reconocida por la gubernatura, a su vez el 62% de los entrevistados reconocen e identifican al empresario Sinaloense de la Sukarne Agroindustrial, Jesús Vizcarra (PRI), el 41% obtiene Heriberto Félix Guerra (PAN), Sergio Torres (PRI) con un 33%.

Por otra parte, si hoy fueran las elecciones para elegir a Diputado Federal, las preferencias son las siguientes

| Distrito | Candidatos (%)           | Partido       |
|----------|--------------------------|---------------|
| I        | Gloria Imelda (26%)      | PRI           |
| II       | Bernardino Antelo (33%)  | PRI           |
| III      | Evelio Plata (40%)       | PRI           |
| IV       | Diana Armenta (21%)      | PRI           |
| V        | Manuel Clouthier (32%)   | INDEPENDIENTE |
| VI       | Víctor A. Corrales (38%) | PAS           |
| VII      | Rosa Elena Millán (31%)  | PRI           |
| VIII     | Quirino Ordaz (19%)      | PRI           |

## CONCLUSIONES

En este trabajo se determinó la percepción de los Sinaloenses, mediante encuestas, en las elecciones para diputado federal 2015.

De los resultados obtenidos del análisis realizado en el presente trabajo se puede resaltar lo siguiente.



1. Para las encuestas se utilizó un muestreo estratificado trietápico por distritos federales, municipios y áreas que conforman al Estado de Sinaloa con sus análisis estadísticos para tomar decisiones; además conocer la opinión y necesidades en temas de interés de la población.
2. El tamaño de muestra que asegura una cobertura tuvo un nivel de significancia 0.05 %, una confianza 95%, un margen de error 0.048 y efecto de diseño de 2.
3. En el trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias del Lic. Mario Castro, se realizaron cruce de variables y algunas pruebas de hipótesis
4. En esta encuesta se eligieron las secciones electorales con probabilidad por proporcional al tamaño de esta en número de votantes. En encuestas anteriores las unidades (secciones electorales) se eligieron con igual probabilidad de elección. La ventaja de probabilidad de proporcional al tamaño es por lo práctico al momento de la aplicación de la encuesta y se buscaba tener evidencias donde la hubiese la mayor cantidad de votantes, pero tiene sus desventajas ya que secciones grande en número de votantes pueden aparecer más de una vez.
5. Aproximadamente un 13% de los instrumentos no se pudieron aplicar por cuestiones de seguridad de los encuestadores debido a la difícil situación que atraviesa el estado y en otras por alejado que estaba la secciones (limitaciones tiempo y lo inaccesible de los lugares en la sierra Sinaloense).
6. Actualmente se realizan de las encuestas mediante el uso de tabletas, el uso de la tecnología como es el GPS para asegurar que se encueste a los votantes en las secciones seleccionadas.
7. Se tiene contemplado complementar la metodología de la Encuesta mediante la formación de conglomerados a fin de detectar zonas con alta o baja aceptación, en cuales se requiere de atender.
8. Se está trabajando en la mejora para la determinación del tamaño de muestra, así como disminuir la tasa de no respuesta, o el número de intentos para obtener una aplicación de un instrumento.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Asher Heber B(1992). *Polling and PublicWhat every citizer shoud know*. CQ Press
- 2) Cochran William G (1989). *Técnicas de Muestreo*. Editorial Limusa.
- 3) Cox David R (1952) Estimation by double sampling. *Biometrika* 39, 217-227.
- 4) Castro-Flores Mario (2016) *Tesis de Mestría titulada "Percepción de los Sinaloenses en las elecciones para diputado federal del 2015"*, Programa que ofrece la Univeridad de Occidente, Campus Guasave, Sinaloa.
- 5) Groves Robert M, Floyd J Fowler Jr., P Couper Mick (1989). *Survey Methodology*, Ed. John Wiley.
- 6) Steve K. Thompson (2012). *Sampling*. John Wiley and Sons, New York.

# CAPÍTULO 17

## TEAM BASED LEARNING: UMA ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO COLABORATIVA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de Submissão: 08/10/2021

**Telma Vinhas Cardoso**

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba José  
Crespo Gonzales

Centro de Educação Tecnológica Paula Souza  
<http://lattes.cnpq.br/7244264147278406>

**RESUMO:** A metodologia ativa *Team Based Learning* (TBL) é uma estratégia de organização modular de conteúdos com complexidade crescente centrada no ensino colaborativo. Apresenta-se a realização de atividade TBL simplificada, nos regimes presencial e remoto para checar o grau de domínio de conceitos em Física. São propostas questões fechadas que os alunos resolvem sozinhos e, posteriormente, em equipes de trabalho, seguindo regras pré-definidas, para obter um desempenho final como a soma dos desempenhos parciais. A atividade foi avaliada a nível docente e pelos alunos, que responderam um questionário específico. Os resultados são compartilhados, juntamente com detalhes de preparo e aplicação da metodologia. Achados que permitem refinar a metodologia assim como levantar pontos positivos de sua aplicação são discutidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliação, Colaboração, Metodologia Ativa, *Team Based Learning*.

### TEAM BASED LEARNING: A COLLABORATIVE EVALUATION STRATEGY

**ABSTRACT:** The active Team Based Learning (TBL) methodology is a modular content organization strategy with increasing complexity centered on collaborative teaching. A simplified TBL activity is presented, in the presential and remote regimes, to check the degree of mastery of concepts in Physics. Closed questions are proposed that students solve on their own and, later, in work teams, following pre-defined rules, in order to obtain a final performance as the sum of the partial performances. The activity was evaluated at the teaching level and by the students, who answered a specific questionnaire. Results are shared, along with details of preparation and application of the methodology. Findings that allow to refine the methodology as well as to raise positive points of its application are discussed.

**KEYWORDS:** School Test, Collaboration, Active Methodology, Team Based Learning.

## 1 | INTRODUÇÃO

Todo professor enfrenta desafios diários em sua prática didática. Esta verdade tornou-se particularmente intensa atualmente, quando a humanidade enfrenta uma pandemia de proporções avassaladoras, levando-nos ao afastamento social e ao ensino remoto. Capacitações e criatividade têm sido as ferramentas de muitos docentes para fazer face

às exigências de um ensino síncrono, mas não presencial.

Tomando o trinômio “tema-professor-aluno”, costumava-se verificar que, muitas vezes, o assunto que estava sendo desenvolvido (tema) em aulas ou preleções por um agente gabaritado (professor) buscava o menor caminho para chegar a um receptor que deve receber, processar e aplicar corretamente o seu conteúdo (aluno). A linearidade destas relações, no entanto, tem sido quebrada, principalmente com a inserção de elementos mediadores da aprendizagem, dentre os quais estão as tecnologias digitais coroadas pelas plataformas de ensino e aprendizagem, solução adotada para permitir a continuidade de ações pedagógicas não presenciais.

Naturalmente, os momentos de avaliação da aprendizagem não poderiam ser menos desafiadores. Tradicionalmente tratada como somativa ou formativa, no dizer do Both (2012, p.25), a avaliação tem o papel de ser “a voz da consciência” tanto da aprendizagem como do ensino. Neste sentido, pode ser uma excelente ferramenta de aprendizagem para o próprio professor avaliar suas ações pedagógicas e como os aspectos trabalhados têm, efetivamente, impactado e mudado as percepções de seus alunos.

Na área de Ciências Exatas, existem diversos pré-requisitos que os ingressantes ao Ensino Superior deveriam manifestar. No entanto, e diversas são as causas para isto, muitos alunos chegam ao terceiro grau sem estes pré-requisitos, exigindo empenho de seus docentes no sentido de propiciarem situações de aprendizagem que gerem ou reprocessem estes pré-requisitos. Dentre eles, está a notação científica: a linguagem adotada universalmente para designar corretamente as grandezas físicas.

A notação científica é, pois, uma linguagem, uma forma de representação que segue um padrão acordado internacionalmente: toda grandeza física expressa desta forma contém uma parte numérica, uma certa potência de 10, positiva ou negativa, e uma unidade de medida. A notação científica faz uso, pois, das potências de 10 e da substituição de algumas delas por prefixos que são agregados às unidades de medida. Fazer uso correto dela, principalmente em textos técnicos, é um diferencial importante no mundo tecnológico e uma habilidade esperada de todos os calouros em Física I. Convém observar que a notação científica está realmente difundida em todas as áreas tecnológicas, como atestam as aplicações da nanotecnologia nos mais diversos setores da vida moderna.

É muito simples para um professor atestar que os alunos não entendem ou não dominam a notação científica. Porém, não é tão simples assim estimular e aferir o grau de absorção do seu uso. Mais ainda, deve o professor manter cada aluno motivado a superar suas dificuldades, incorporar novos conhecimentos e desenvolver novas habilidades, com a certeza de ser capaz disto.

Neste sentido, aparecem as aprendizagens colaborativas, como modalidades das metodologias ativas, entendendo-se aqui as metodologias como as diretrizes maiores que orientam todos os processos de ensino e aprendizagem (MORAN, *in* BACICH, MORAN, 2018, p.4).

As metodologias ativas apresentam características notáveis, destacando-se os seguintes aspectos (VALENTE, *in* BACICH, MORAN, 2018, p.28):

- São centradas no aluno;
- Envolver métodos e técnicas que estimulam a interação entre aluno e professor, entre aluno-aluno, entre aluno-material didático e outros recursos de aprendizagem;
- Baseiam-se em aprendizagem colaborativa e significativa;
- Estão fundadas no desenvolvimento da capacidade para a autoaprendizagem;
- Baseiam-se no desenvolvimento do senso crítico e da capacidade de refletir;
- Podem produzir melhorias no relacionamento interpessoal.

Dentre as metodologias ativas colaborativas, este trabalho volta-se para a utilização do *Team Based Learning* (TBL) que tem sido chamada Aprendizagem baseada em Equipes ou em Times. O TBL foi proposto na década de 70 do século XX na Universidade de Oklahoma por Larry Michaelsen, para melhorar a aprendizagem e desenvolver habilidades de trabalho colaborativo, tal que cada aluno se sinta tanto responsável pela sua aprendizagem como pela aprendizagem dos colegas (DE OLIVEIRA *et al*, 2016).

A metodologia TBL não está ainda bem difundida entre nós. Uma revisão de literatura, com janela temporal de 2008 a 2017 realizada por Marques *et al* (2017), levou a uma seleção de apenas seis trabalhos publicados em português. Aplicada ao ensino de Física, busca semelhante conduziu a apenas quatro trabalhos usando a data mais antiga disponível pelas plataformas de busca até setembro de 2015 (DE OLIVEIRA *et al*, 2016).

Esta prática foi usada no ensino presencial e no ensino remoto das disciplinas de Física I e de Óptica Técnica de um Curso Superior de Tecnologia de uma das Faculdades de Tecnologia (Fatec) do Centro Paula Souza (CPS), uma autarquia do Governo do Estado de São Paulo com amplo reconhecimento da qualidade de seu ensino. Será dada ênfase à aplicação do TBL à disciplina de Física I, no que toca ao planejamento da atividade.

## 2 | OBJETIVO DA AULA E COMPETÊNCIA DESENVOLVIDA

A Unidade I da disciplina Física I tem objetivos bem definidos e que são apresentados e discutidos com os alunos. Dentre eles está “criar as bases para o uso correto da notação científica”, objetivo que tem estreito laço com a competência buscada nesta unidade que é a de “expressar as grandezas físicas corretamente, com sua unidade de medida, e em notação científica sempre que se aplicar”. Buscou-se deixar bastante claro para os alunos o quanto a notação científica é usada no mundo tecnológico e como tanto as pessoas comuns como os meios de comunicação fazem mal uso delas. Alguns exemplos do dia a dia são: considerar que quilo é a unidade de peso mais usada nos açougues; usar os

“gigas” ou “teras” da internet; ouvir músicas nos “megas” da sua estação de rádio preferida ou considerar que alguns “microns” (sic!) é um tamanho muito pequeno...

Para cumprir este objetivo foram tomadas várias iniciativas, como: definir o que é uma grandeza física; revisar a origem da utilização das potências de 10 para expressar grandezas físicas grandes e pequenas; definir a lógica da notação científica em potências de 10; apresentar os prefixos definidos para substituir determinadas potências de 10 e seu uso correto; discutir mecanismos para expressar grandezas físicas em diferentes prefixos. Diversos recursos convergiram para fazer face aos desafios lançados: simulador que mostra o Universo em escala permitindo acessar dimensões interatômicas e dimensões extragalácticas; exercícios de revisão com respostas; filme de curta duração sobre a notação científica e atividades desafiadoras resolvidas dialogando com os alunos em tempo real.

### 3 | METODOLOGIA ATIVA UTILIZADA E SUA JUSTIFICATIVA

Segundo de Oliveira et al (2016), a metodologia ativa TBL é implementada a partir da estruturação de uma disciplina em módulos de modo a cumprir as duas fases ilustradas na Figura 1.

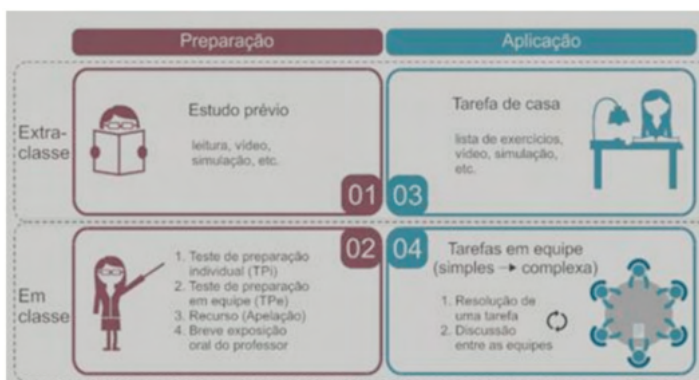


Figura 1 - Fases da metodologia TBL.

Fonte: De Oliveira, Araújo e Veit (2016).

A fase preparo pressupõe um estudo extraclasse seguido de atividades em classe, quando ocorrem testes de preparação individual e de preparação em equipe. Estão previstos recursos relacionados a questionamento quanto à correção dos testes e uma exposição oral do professor, tanto para responder a estes recursos como para sinalizar aspectos de dificuldades detectados. Na fase de aplicação, os alunos recebem tarefas de execução individual e tarefas para serem realizadas em equipe com complexidade crescente.

A metodologia TBL propõe que as equipes sejam compostas por 5 a 7 alunos,

definidos pelo professor de modo a balancear os times com alunos comunicativos e tímidos, com facilidade e com dificuldade na matéria, tornando-os o mais heterogêneos o possível. Aqui há uma diferenciação entre “equipe” de “time”, considerando que relações de confiança e, principalmente, de corresponsabilidade devem ser desenvolvidas pelos membros da equipe e por esta razão as equipes são permanentes.

Tendo considerado que a implementação das duas fases demandaria uma mudança filosófica na organização das disciplinas que as tornariam muito diferentes das abordagens adotadas nas demais que compõem a grade curricular do curso, optou-se por adaptar a metodologia TBL, aplicando-a como uma ferramenta de avaliação colaborativa. Desta forma, gerou-se a metodologia TBL simplificada, adotando-se somente a fase 1, o que propicia a realização de atividades de avaliação em regime colaborativo.

A atividade deve ser preparada cuidadosamente, observando-se os seguintes passos:

1. Seleção do conteúdo a ser estudado;
2. Disponibilização do conteúdo, com diversos recursos, como filmes, simulações, exercícios de revisão e aulas, se necessário;
3. Preparo de material para explicar a atividade aos alunos;
4. Preparo de uma avaliação com questões fechadas;
5. Preparo de gabaritos para as respostas das questões;
6. Dimensionamento temporal das etapas de execução;
7. Preparar questionário para avaliação da atividade;
8. Avaliar e ajustar.

A seleção de conteúdo foi centrada na recuperação de conceitos fundamentais: notação científica em Física (atividades presenciais e remotas) e mecanismos de formação de imagens em Óptica Técnica (atividades presenciais). Tal escolha se deu porque estes conceitos são esperados nas duas disciplinas e precisam ser harmonizados entre os alunos para que a sequência de conteúdo se dê de forma mais tranquila. Ao acenar para os alunos que este conteúdo seria avaliado, a maioria dos alunos se alinhou para estudar o material disponibilizado.

No caso do ensino presencial este material foi disponibilizado em várias mídias, como: gravação no Sistema de Gestão Acadêmica das Fatecs (SIGA); envio por email da classe, disponibilização na nuvem em aplicativos de hospedagem de conteúdo, como Dropbox ou Google Drive. Em regime remoto, o material foi disponibilizado na plataforma Microsoft Teams, nas respectivas equipes ou disciplinas.

Foi preparada uma apresentação em PowerPoint para explicar a metodologia aos alunos, enfatizando os detalhes quanto à atividade individual e quanto à atividade em equipe,

em nosso caso, uma avaliação em dois tempos. No primeiro tempo, individual, o aluno recebe cinco questões fechadas (quatro opções de resposta). Cada questão vale quatro pontos, perfazendo vinte pontos disponíveis. Ele deverá resolver as questões, sinalizando a resposta correta ou as respostas que, a seu ver, podem ser corretas, atribuindo pontos para as opções com combinações permitidas, tal que a soma dê quatro, mas não poderá atribuir um ponto para cada opção. Em regime presencial, o aluno preenche uma planilha de respostas, entregando-a após o final da atividade individual. Em regime remoto, escreve suas respostas em uma caixa de texto de um questionário do aplicativo Microsoft Forms.

No segundo tempo, em equipe, os alunos retomam as questões da avaliação. Em regime presencial, estarão com as questões anteriormente distribuídas e vão se reunir em equipes de trabalho, seguindo orientações. Em regime remoto, acessarão as questões na aba geral da plataforma Teams e serão convidados para uma reunião com a equipe de trabalho para o qual foram designados. Passarão, então, a discutir com os demais integrantes da equipe a melhor resposta para cada questão. Após a decisão por **uma** resposta, em regime presencial, o aluno designado pela equipe vai até o professor e solicita o envelope com a resposta selecionada para a questão, volta a sua equipe, abre o envelope e verifica se o selo na opção escolhida é verde. Em regime remoto, o professor visitará as equipes, colhendo as opções da primeira questão e marcando-a em sua planilha. Para a equipe, a resposta será simplesmente CERTO ou ERRADO. Em caso de selo verde ou CERTO na primeira consulta, a equipe recebe 4 pontos. Se, na resposta, estiver escrito ERRADO ou o selo for vermelho, a discussão deverá ser retomada. Ao decidir por uma nova resposta, o procedimento anterior é repetido na disputa por dois pontos. Para marcar pontos, a equipe tem três chances de acertar, sendo que marcará apenas um ponto se acertar na terceira tentativa.

A Figura 2 apresenta réplicas de opções de respostas, em regime individual e em equipe, para uma pergunta hipotética. Está sendo mostrada apenas uma questão, mas, ao final, vê-se que cada aluno obterá um *score* final que é a soma dos pontos obtidos nas duas fases do TBL simplificado.

Questão 1: A quem se atribui o descobrimento do Brasil?

- (a) Américo Vespúcio.
- (b) Cristóvão Colombo.
- (c) Pedro Álvares Cabral.
- (d) Vasco da Gama.

Opção correta: letra c.

| INDIVIDUAL                |   |   |   |        | EM GRUPO  |   |   |   |        |
|---------------------------|---|---|---|--------|-----------|---|---|---|--------|
| A                         | B | C | D | PONTOS | A         | B | C | D | PONTOS |
| 1                         | 2 | 1 | 1 | 1      |           |   | x |   | 4      |
| TOTAL = 1                 |   |   |   |        | TOTAL = 4 |   |   |   |        |
| TOTAL DE PONTOS – ALUNO 1 |   |   |   |        | 5         |   |   |   |        |

| INDIVIDUAL                |   |   |   |        | EM GRUPO  |   |    |   |        |
|---------------------------|---|---|---|--------|-----------|---|----|---|--------|
| A                         | B | C | D | PONTOS | A         | B | C  | D | PONTOS |
| 1                         |   | 4 |   | 4      |           |   | xx | x | 2      |
| TOTAL = 4                 |   |   |   |        | TOTAL = 2 |   |    |   |        |
| TOTAL DE PONTOS – ALUNO 2 |   |   |   |        | 6         |   |    |   |        |

| INDIVIDUAL                |   |   |   |        | EM GRUPO  |    |     |   |        |
|---------------------------|---|---|---|--------|-----------|----|-----|---|--------|
| A                         | B | C | D | PONTOS | A         | B  | C   | D | PONTOS |
| 1                         |   | 2 | 2 | 2      |           | xx | xxx | x | 1      |
| TOTAL = 2                 |   |   |   |        | TOTAL = 1 |    |     |   |        |
| TOTAL DE PONTOS – ALUNO 3 |   |   |   |        | 3         |    |     |   |        |

Figura 2 -Gabaritos para atividade individual e em equipe, pode ser utilizado em regime presencial e remoto. São apresentados exemplos para as atividades de três diferentes alunos em situações diversas.

Fonte: a própria autora (2021).

Observa-se que, em regime presencial, a atividade demanda um tempo relativamente longo para se preparar os gabaritos de respostas. Há uma recomendação de que as respostas para as equipes sejam disponibilizadas em cartões de correção instantânea, estilo as loterias conhecidas popularmente como “raspadinhas”. Este material é de uso único e específico para cada atividade e significaria custos nem sempre acessíveis ao docente. A solução foi criar envelopes com as respostas utilizando etiquetas coladas às opções de respostas, como mostra a Figura 3. Deve-se preparar um kit de envelopes com as etiquetas de respostas para cada equipe. Este trabalho foi feito, contudo, apenas uma vez, recuperando-se o material ao final da atividade para ser usado oportunamente. Em regime remoto, os formulários do Teams deverão ser corrigidos, de modo a se obter a pontuação de cada aluno. Para as planilhas com as respostas das equipes, utilizou-se uma planilha Excel ativa em um laptop e programada para fornecer as respostas em tempo real, facilitando a geração do *score* final de cada equipe.



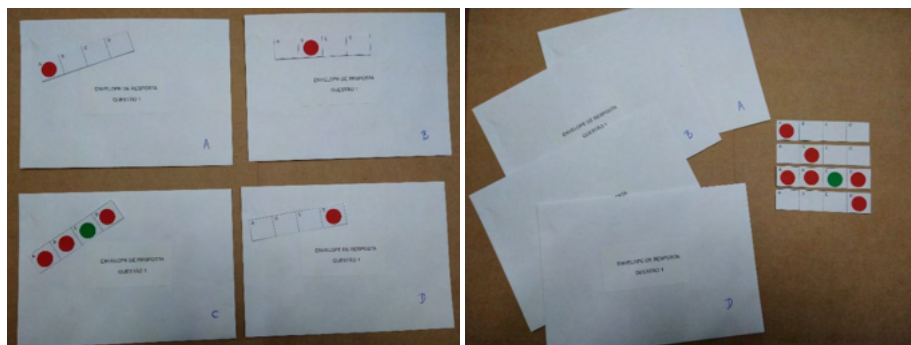


Figura 3 – Envelopes para a questão 1, com as etiquetas de respostas em duas visões, mostrando o conjunto que foi preparado e selecionado para cada equipe.

Fonte: A própria autora (2021).

O dimensionamento temporal das etapas de execução pode ser visto na Tabela 1, onde se observa que o preparo da atividade em si demanda um tempo de cerca de 30 min, dependendo do número de alunos e da desenvoltura do professor no ambiente Teams, em caso remoto. Observe também que a execução da atividade foi projetada para 60 min, incluindo abertura e fechamento.

A etapa de atividade nas equipes é, naturalmente, exigente, pois o professor deverá checar com cada equipe se a resposta acordada está correta, abrindo nova rodada de discussões, caso esteja incorreta. A estruturação das respostas em etiquetas e seu trânsito com envelopes no regime presencial revelou-se até mesmo divertida para os alunos. Enquanto o porta-voz ia buscar a resposta, a equipe se mostrou ansiosa e comemorou, ainda que discretamente, cada acerto. O docente deve considerar a ajuda de um auxiliar neste momento.

No caso remoto, o professor deverá visitar cada reunião aberta, checando as respostas em tempo real e sinalizando as respostas para seu controle. Desta forma, pelo menos em princípio, a verificação das respostas nas três possíveis rodadas é mais simples no regime remoto.

| ATIVIDADE                        | MOMENTO                                                                                   | DURAÇÃO |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Geração das equipes              | Antecede atividade remota                                                                 | 10 min  |
| Criação das salas virtuais       | Antecede atividade remota                                                                 | 20 min  |
| Explicação aos alunos            | Início da atividade                                                                       | 5 min   |
| Realização: atividade individual | Alunos respondem às questões                                                              | 20 min  |
| Formação das equipes             | Ambiente presencial: espontânea<br>Ambiente remoto: alunos são chamados para nova reunião | 5 min   |

|                                 |                                      |        |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------|
| Realização: atividade em equipe | Alunos discutem as questões          | 25 min |
| Após 15 min                     | Primeira rodada de respostas         |        |
| Após 10 min                     | Segunda rodada de respostas          |        |
| Após 5 min                      | Terceira rodada de respostas         |        |
| Encerramento                    | Finalização e avaliação da atividade | 5 min  |

Tabela 1 – Estimativa da duração de cada atividade a ser realizada antes e durante o TBL.

Fonte: a própria autora (2021).

Na etapa de encerramento, o professor deverá pedir aos alunos que preencham um questionário de avaliação da atividade previamente preparado e que, tanto em regime presencial como em regime remoto foi disponibilizado como um formulário que é chamado Questionário de Avaliação da Atividade (QAA). As perguntas do QAA estão inseridas no Apêndice 1.

O retorno com as pontuações completas de todos foi feito após a atividade, pois houve a necessidade de importar as notas da plataforma Teams, transformando-as em arquivo Excel e somá-las às notas obtidas pela respectiva equipe. Além disto, o professor poderá discutir alguma questão que tenha ficado em aberto para as equipes ou alguma questão que nenhuma equipe conseguiu resolver.

## 4 | RESULTADOS

Como o TBL simplificado foi uma modalidade de avaliação, o grau de domínio dos conceitos em foco foi, de certa forma, “medido” pelo grau de acerto nas respostas. Contudo, como se pôde aferir das respostas dos alunos à pergunta 1 do QAA, cerca de 60% dos alunos sinalizaram sentir-se inseguros na realização da atividade. Calouros fizeram uso da opção “outros” e registraram: “em choque”, “em pânico”, “aterrorizado”, o que atesta a sensação de pavor que uma avaliação gera nos alunos. Tal fato não se repetiu na disciplina de Óptica (3º semestre), pois apenas 18% dos alunos sinalizaram insegurança, enquanto os restantes se dividiram entre tranquilos (50%) e muito tranquilos (32%).

Em regime remoto, cerca de 80% dos alunos reconheceram que a metodologia foi útil para o seu aprendizado, sendo que 50% deles considerou a relação com os colegas muito produtiva e respeitosa. De fato, quando a professora percorreu as equipes, buscando respostas para conferir, foi possível acompanhar as discussões. Convém sinalizar que o assunto de todas as equipes eram as questões propostas e que lideranças virtuais naturais surgiram no sentido de gerenciar o tempo e otimizar as decisões da equipe. Em regime presencial, em uma turma de terceiro semestre, com equipes formadas espontaneamente, foi unanimidade que a interação foi muito produtiva e respeitosa, contudo, observou-se uma tendência à dispersão, com outros assuntos percorrendo as equipes paralelamente à busca por consenso para as respostas.

Quanto à colaboração de cada um nas equipes, em regime remoto, 61% dos alunos sinalizaram que colaborou um pouco, lembrando do que tinha estudado, enquanto apenas 6% disseram ter colaborado bastante, porcentagem que aumentou para 38% para a disciplina de Óptica (período mais avançado e em regime presencial).

Questionados sobre o que cada um pode fazer para se sentir mais participativo, a maioria, nas duas modalidades, sinalizou que deveria ter estudado mais sobre o tema da atividade. Contudo, 22% e 38% dos participantes em regimes remoto e presencial, respectivamente, sinalizaram aspectos de ansiedade dificultando aprender com os colegas. Isto pode nos levar a pensar qual é a visão que os alunos têm dos aspectos colaborativos em sua aprendizagem, se e como eles, de fato, consideram os pares como colaboradores próximos e não apenas o professor.

Muitos alunos, em regime presencial, embora assistam à apresentação dos passos do TBL, acabam se confundindo bastante, principalmente quanto ao fato de que não há pontuação de respostas quando se trabalha em equipe e acabam levando opções ao professor que, então, esclarece que as equipes deverão convergir para uma única resposta, com três chances de acerto. Em regime remoto, os alunos foram questionados sobre aspectos relacionados à metodologia em si, considerando a não proximidade física do professor para esclarecer dúvidas rapidamente. Metade dos alunos estabeleceu não ter tido dificuldades com a metodologia do TBL simplificado, enquanto o restante se dividiu entre um estado neutro (22%) e alguma dificuldade (28%). Uma porcentagem expressiva (44%) considerou o tempo destinado à explicação da atividade não foi o suficiente, enquanto 55% dos alunos sinalizaram que o tempo destinado à atividade individual não foi muito bom e metade dos alunos sinalizou que o tempo para as atividades em equipe foi suficiente.

A participação espontânea em novas atividades TBL e associadas a outras metodologias ativas, foi medida usando um *score* do aplicativo Forms chamado *Net Promoter Score* (NPS) e que mede o grau de satisfação dos clientes com determinado produto como “promotor = muito satisfeito, vai replicar”; “passivo = indiferente, pode até ter gostado, mas vai logo esquecer”; “detrator = nada satisfeito, vai falar mal da empresa”. Para novas atividades TBL 45% se manifestaram como “detrator”, enquanto 33% como “promotor” e 22%, “passivo”. Quanto a probabilidade de, espontaneamente, participarem de algum tipo de aprendizado ativo, 44% dos alunos se posicionaram como “passivo”, enquanto 33% ficaram como “detrator”.

Sondados quanto a recursos usados no aprendizado, a maioria dos alunos sinalizou que utiliza celular para acompanhar às aulas, que o acesso à internet é de qualidade mediana e que o uso de periféricos, como microfone e câmera, não é muito constante. Quanto ao domínio dos recursos da plataforma Teams, a maioria sinalizou que tem um domínio de bom para ótimo.

Questionados sobre sugestões, as mais citadas foram:

- Aumentar o tempo para a explicação da atividade;
- Aumentar o tempo para a atividade individual para, no mínimo, 30 min;
- Aumentar o tempo para a interação nas equipes;
- Realizar a atividade com outras equipes em momentos diferentes da disciplina.

Alguns comentários espontâneos estão registrados, seguindo a forma de comunicação dos alunos. **Aluno 1:** “Não é uma sugestão. Eu só queria parabenizar você (professora), pela iniciativa, pois vi o quanto é boa e importante essa metodologia. E de uma forma consegui compreender melhor o conteúdo e interagir com a minha equipe, conseguindo então melhorar muito a nossa somatória de pontos e conhecimento ao final. “ **Aluno 2:** “Acredito que seria interessante se a senhora passasse mais trabalho em equipe como esse do TBL, apesar de alguns alunos - pelo menos eu - ter um pouco de receio na hora de interagir com os outros estudantes, o trabalho em equipe sempre ajuda a fixar os assuntos muito melhor.” **Aluno 3:** “... talvez gastar um pouco mais de tempo explicando como funciona e frisando qual a separação das equipes ajude (tempo para realizar a tarefa tbm 😊👍).” **Aluno 4:** “Em geral, ajustando algumas coisas é possível chegarmos a algo bem legal. Muito obrigada professora! 😊❤️”

Em regime presencial, muitos alunos optaram por falar diretamente com a docente, manifestando o quanto se “divertiram” com a avaliação. Nos formulários, mas duas merecem destaque: “realizar a atividade mais vezes” e um elogio que deixaria qualquer um feliz: “Você arrasou, professora!”.

O resultado mais expressivo pode, contudo, ser sinalizado pelo gráfico mostrado na Figura 4. Observa-se que o desempenho final de 79% das equipes foi maior do que o desempenho individual dos participantes, sinalizando o aspecto extremamente positivo de que, também no aprendizado de conceitos de Física, a união faz a força.



Figura 3—Resultado para os desempenhos das equipes de Física, 1º semestre/2021.

Fonte: a própria autora (2021).

## 5 | DIFICULDADES ENCONTRADAS

A metodologia simplificada demanda, realmente, um bom planejamento, principalmente no que se refere ao dimensionamento temporal da sequência de atividades online. Observou-se que, a despeito dos alunos sinalizarem domínio na plataforma de ensino remoto, muitos deles ficaram literalmente perdidos e com dificuldades em acessar tanto o formulário de questões como o arquivo word editável para a elaboração das respostas das equipes. Vários não localizaram suas equipes de origem e ficaram, no *chat*, perguntando o que deviam fazer. A lista de formação das equipes estava, desde o início da atividade, colada na guia geral e isto foi comentado com os alunos. Outro ponto que os alunos não perceberam é que eles foram, de fato, avisados de que “teríamos uma avaliação surpresa” na próxima aula... Só não foi dito “como” seria.

A apresentação com as regras do TBL foi feita em PowerPoint e testada previamente com o monitor da disciplina para se ouvir a opinião de um aluno. Ele atestou que as etapas estavam bem claras e que era “só” os alunos prestarem atenção. Na verdade, não temos certeza se nossos alunos estão atentos a nossas colocações em ambiente remoto. Tenho chamado aleatoriamente alunos para conversarem comigo, tanto para repetirem algo muito importante que acabou de ser colocado como para resolver exercícios juntos. No entanto, muitos alegam não terem microfone disponível naquele momento.

O acompanhamento das respostas nas equipes é um momento de tensão para a professora, tanto em regime presencial como em regime remoto. Deve-se acompanhar as equipes até se esgotarem as chances de resposta. Observou-se que a maioria das

equipes não tinha chegado a um consenso em relação às respostas após 15 minutos de discussão. Quando esta atividade for replicada para a mesma classe, deve-se atentar para o gerenciamento do tempo.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia ativa de aprendizagem baseada em equipes (TBL) apresenta pontos fortes como desenvolver a capacidade para autoaprendizagem, favorecer a colaboração entre pares, propiciar reflexões críticas sobre o tema que se está discutindo, além de gerar o espírito de equipe, favorecendo e melhorando o relacionamento interpessoal com uma maior apropriação do ensinar e do aprender. Implementada plenamente, o TBL pode ainda gerar sentimentos de responsabilidade coletiva pelo processo de aprendizagem e aplicação dos conhecimentos e, assim, favorecer uma aprendizagem mais profunda e significativa para todos.

As dificuldades naturais da implementação de uma nova abordagem em sala de aula, seja presencial, seja remota, configuram-se em desafios instigadores para o professor e, com criatividade, podem ser facilmente suplantadas.

Pode-se, portanto, considerar que a experiência foi muito boa, tanto para os alunos como para a docente. Pretende-se repetir esta experiência e, mais, pretende-se implementar a metodologia TBL completa em uma unidade das disciplinas de Física I e de Óptica. Critérios preliminares de seleção apontam como temas aplicações das leis de Newton e vidros e materiais ópticos, respectivamente.

## AGRADECIMENTOS

Ao Centro Paula Souza e à Faculdade de Tecnologia de Sorocaba pelo apoio incondicional e, naturalmente, aos meus alunos que aceitam desafios pedagógicos e se lançam nas aventuras da Física.

## REFERÊNCIAS

BOTH, I. J. **Avaliação: “voz da consciência” da aprendizagem**. Curitiba: Intersaberes, 2012.

MARQUES, Ana Paula Ambrósio Zanelato; MESSAGE, Carla Plantier; GITAHY, Raquel Rosan Cristino; TERÇARIOL, Adriana Lima. Team Based Learning: uma metodologia ativa para auxílio no processo de aprendizagem. **Colloquium Humanarum**, [s. l.], v. 14, ed. Especial, p. 699-707, Jul-Dez 2017.

MORAN, J. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. In: BACICH, L., MORAN, J., orgs. **Metodologias Ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018. cap. 1, p. 2-25. ISBN 9788584291151.

DE OLIVEIRA, Tobias Espinosa; ARAÚJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Aprendizagem baseada em equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 33, ed. 3, p. 962-986, Dez 2016.

VALENTE, José Armando. A sala de aula invertida e a possibilidade do ensino personalizado: uma experiência com a graduação em midialogia. *In*: BACICH, Lilian; MORAN, José. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018. cap. 1, p. 26-44. ISBN 9788584291151.

## APÊNDICE 1

### Avaliação da Atividade TBL

1. De modo geral, como você se sentiu realizando esta atividade:
  - (a) Muito tranquilo.
  - (b) Tranquilo.
  - (c) Sob pressão.
  - (d) Inseguro.
  
2. Você considera que a metodologia foi útil para o seu aprendizado:
  - (a) Sim, bastante.
  - (b) Sim, um pouco.
  - (c) Não, muito pouco.
  - (d) Não, de jeito nenhum.
  
3. Como foi sua interação com seus colegas?
  - (a) Muito produtiva e respeitosa.
  - (b) Apenas agradável.
  - (c) Nem agradável, nem produtiva.
  - (d) Não foi uma boa interação.
  
4. Como foi sua colaboração para o sucesso da equipe?
  - (a) Colaborei bastante, pois tinha estudado o tema.
  - (b) Colaborei um pouco, lembrando do que já tinha estudado.
  - (c) Não colaborei muito, pois tenho muitas dúvidas no tema discutido.
  - (d) Não me senti apto a colaborar e, assim, fiquei em silêncio a maior parte do tempo.
  
5. Em uma atividade futura, o que você poderá fazer para ser mais colaborativo?
  - ( ) Estudar mais sobre o tema da atividade.
  - ( ) Prestar mais atenção às aulas e executar as atividades solicitadas.
  - ( ) Vencer minha timidez e mostrar minhas opiniões de modo mais claro.
  - ( ) Segurar minha ansiedade e me preparar para aprender junto com os colegas.
  
6. Considere os itens abaixo e classifique-os atribuindo notas de 1 (nada bom) a 5 (excelente)
  - ( ) Grau de dificuldade de compreender a metodologia.
  - ( ) Tempo destinado à explicação da metodologia.
  - ( ) Tempo destinado à fase individual.
  - ( ) Tempo destinado ao trabalho em equipe.



7. Qual é a probabilidade de você participar espontaneamente de uma nova atividade estilo TBL? (escala 0 a 10)

8. Considere os itens abaixo e classifique-os atribuindo notas de 1 (nada bom) a 5 (excelente).

- ☐ Minha conexão à internet
- ☐ Mídia (celular, computador)
- ☐ Domínio da plataforma.
- ☐ Periféricos (microfone, câmera)

9. Qual é a probabilidade de você participar espontaneamente de algum tipo de aprendizado ativo? (escala 0 a 10)

10. Você tem sugestões a dar? Pode escrever agora, por favor.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**FRANCISCO ODÉCIO SALES** - Bacharel em Matemática pela Universidade Federal do Ceará (2008) onde foi monitor de Cálculo Diferencial e Integral (2005) e bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) financiado pelo CNPq (2005-2008) desenvolvendo pesquisa na área de Geometria Diferencial, com ênfase em Superfícies Mínimas e Equações Diferenciais Aplicadas. Licenciado Pleno em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (2009). Especialista em Ensino de Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (2015). Mestre em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (2019). Especialista em Docência na Educação Profissional, Científica e tecnológica pelo Instituto Federal do Ceará (2020). Foi professor da rede pública estadual do Ceará entre 2009 e 2019, atuando no magistério do ensino fundamental e médio. Atuou entre 2013 e 2016 como Assessor Pedagógico na Secretaria de Educação do Ceará (SEDUC/CE) onde coordenou projetos relacionados a educação Financeira, Educação Fiscal, Educação Científica e Formação de Professores. Representou o Ceará nas reuniões iniciais para implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) na área de Matemática. Professor tutor da Universidade Aberta do Brasil (UAB/IFCE) desde de 2010 atuando na Licenciatura Plena em Matemática. Atualmente é Professor de Educação Básica, técnica e tecnológica (EBTT) do Instituto Federal do Ceará (IFCE) atuando nas licenciaturas em Matemática e Física. Tem experiência na área de Matemática, com ênfase em Geometria Diferencial. Coordena o Polo Olímpico de Treinamento Intensivo (POTI) de Crateús e o Projeto de Intervenção em Matemática (PIM). Atua nas seguintes frentes de pesquisa: Superfícies Mínimas, Geometria não euclidiana, Olimpíadas de Matemática e Equações Diferenciais Aplicadas. É membro do Laboratório de Ensino de Ciências Naturais, Matemática e Música (IFCE Campus Crateús), do Grupo de Pesquisa em Matemática e Educação Matemática do IFCE e Professor Coordenador do Grupo de Pesquisa e Estudos em Ensino de Matemática do Ceará - GEPEMAC (em reconhecimento pelo CNPq). Orientador de Graduação e pós graduação (Monografia e TCC). Membro do corpo editorial das editoras Atena, DINCE e InVivo e da Revista Clube dos Matemáticos. Autor de livros na área de Matemática e Educação.

**KARINE MOREIRA GOMES SALES** - Professora efetiva da Rede Estadual de Ensino (SEDUC-CE). Doutoranda em Sociologia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Mestre em Planejamento e Políticas Públicas pela Universidade Estadual do Ceará (UECE); Especialista em Gestão Educacional e Práticas Pedagógicas pela Universidade Cândido Mendes (UCAM); Pós-graduanda em Intervenção ABA para autismo e deficiência intelectual pelo CBI of MIAMI-Estados Unidos; Bacharel e Licenciada em Ciências Sociais pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Tem experiência na área de Políticas Públicas em Educação, com ênfase em Avaliação Educacional, atuando principalmente nos seguintes temas: Avaliação Institucional, Avaliação Ensino-aprendizagem, Sociologia, Antropologia, Gestão Escolar e Análise do Comportamento Aplicado (ABA) para autismo e deficiência intelectual. Membro do corpo editorial das editoras DINCE e InVivo. Autora de livros na área de Ciências Sociais, Políticas Públicas e Educação.

## ÍNDICE REMISSIVO

### SÍMBOLOS

1-3 dioxolanas 163

#### A

Agricultura 12, 48, 66, 93, 108, 122, 149, 172

Alfabetização espacial 5, 110, 111, 115, 117, 118

Alfabetização geográfica 110, 112, 114, 115, 118

Amazônia 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 81, 83, 93

Aprendizagem baseada em problemas; 15

Aromas; 15, 16

Auto-aldolização 6, 163

Avaliação 7, 19, 29, 38, 82, 93, 109, 111, 156, 157, 159, 160, 190, 191, 194, 195, 198, 200, 201, 202, 204, 206

#### B

B3LYP 172, 174

#### C

Cetalização 6, 163, 166, 167

Cetonas protonadas 163

Cromo (III) 172

#### D

Década do oceano 42, 48

Demanda hídrica 82

DFT 172, 173

Diagnóstico energético 94, 96, 97, 98

Dinâmica de fluidos computacional 5, 130

Diseño y análisis de experimentos 139

#### E

Electron-positron pair 4, 1, 2, 5, 7

Ensino de Física 8, 121, 128, 129, 203

Ensino de química 15, 16, 23, 24, 25

Ensino e aprendizagem 130, 191

Estratificado 181, 184, 185, 187, 189

## **F**

Fenômenos de transporte 6, 130, 131, 138

Ferro (III) 172

## **G**

Geoquímica 4, 9, 12, 13

## **H**

Hidrólise de cetais 163

História da física 121, 127

Hospitalidade 6, 154, 156, 160, 161

## **I**

Iluminação artificial 94, 96

## **J**

Johannes Kepler 121, 122, 124, 125, 128, 129

## **L**

LED 94, 95, 96, 97, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109

Lisímetros 82, 83, 84, 85, 86, 93

## **M**

Malacocultura 42, 43, 45, 46, 47, 49

Meio ambiente 33, 34, 35, 36, 38, 51, 64, 69, 70, 71, 76, 78, 94, 95, 97, 101, 102, 106, 154, 161

Metodología 6, 139, 140, 141, 153, 189

Metodologia ativa 23, 25, 190, 193, 202

Modelos 32, 82, 83, 97, 132, 135, 138, 139, 141

Movimento planetário 121, 123, 124, 125, 126, 127, 129

Muestreo 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 189

## **O**

Oceanografia 41, 42

## **P**

Pair production 1, 2, 3, 6, 7, 8

Pensamento espacial 110, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119

Piscicultura marinha 42, 44, 47, 49, 63

Planejamento 27, 31, 95, 155, 161, 162, 192, 201, 206

Población 181, 183, 184, 185, 186, 187, 189

Posicionamento estratégico 154, 157

Propostas de aulas 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128

## Q

Química computacional 172, 174

## S

Sideróforo 172, 173

Sílica sulfonada 163, 165

Superfície de resposta y pruebas de hipótesis 139

Sustentabilidade 10, 12, 13, 14, 27, 33, 34, 35, 38, 40, 42, 47, 48, 102, 155, 157, 159, 160

## T

Tamaño de muestra 181, 183, 184, 185, 186, 189

Team based learning 7, 190, 192, 202

Terras pretas 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Triplet pair production 1, 3, 6, 7, 8

## U

Uso consciente 35

## V

Vigna unguiculata L 82, 87

## W

Walp. Penman-monteith 82

# Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

Atena  
Editora

Ano 2021

# Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora

Ano 2021