



CAPACITAÇÃO

PARA A TOMADA DE DECISÕES NA ÁREA DE

ENERGIA



ENERGIA NO MEDIO RURAL



PROJETO FINEP/PNUD/UNESCO - BRA 82/004

ENERGIA NO MEIO RURAL

Editores:

Emílio Lèbre La Rovere
Marcelo Robert

As idéias expressadas pelos autores dos artigos assinados, são próprias dos mesmos e não refletem necessariamente as da Unesco. As designações usadas, as expressões e a apresentação adotada para todos os materiais desta publicação, não devem ser interpretadas por algum país ou território, como uma aproximação com seu regime político ou com a delimitação de suas fronteiras.

Impresso em 1990 pelo Escritório Regional de Ciência e Tecnologia da Unesco para a América Latina e o Caribe - ROSTLAC - Montevidéu - Uruguai.

APRESENTAÇÃO

*Marcelo Robert
Emílio Lèbre La Rovere*

A FINEP-Financiadora de Estudos e Projetos, na qualidade de agência de fomento ao desenvolvimento científico-tecnológico nacional, situada no âmbito do Ministério da Ciência e Tecnologia, vem apoiando desde 1974 os esforços de pesquisa, desenvolvimento e demonstração de fontes alternativas de energia no país. Com a colaboração do PNUD-Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento e da Unesco-Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura, a FINEP coordenou a implementação do Projeto "Capacitação para a tomada de decisões científico-tecnológicas na área de energia", executado no período de 1982 a 1987. O conjunto de documentos reunidos nesta coletânea resulta de uma das atividades promovidas por este Projeto FINEP/PNUD/UNESCO, o "Team Fellowship Programme", que consistiu no aperfeiçoamento da formação de especialistas brasileiros selecionados nesta área através da realização de visitas técnicas no exterior.

Este volume integra a coleção de publicações do Projeto FINEP/PNUD/UNESCO, contendo artigos que se referem especificamente à problemática energética no meio rural.

Dentre os motivos que levaram os coordenadores do Projeto a estabelecer que a energia no meio rural seria uma de suas áreas prioritárias de atuação, pode-se citar:

a) De um ponto de vista global, o meio rural aparece no balanço energético principalmente através de dois setores, o

doméstico rural e a agricultura, que são relativamente pouco consumidores de energia: a lenha, principal energético utilizado no meio rural, teve nos últimos anos seu consumo global praticamente estabilizado no mesmo nível, vindo decrescer sua participação percentual no balanço energético nacional. Deve-se, no entanto, superar essa perspectiva global, que de certa forma é um indicador da deterioração relativa do meio rural, para visualizar alguns aspectos essenciais dessa problemática:

i) A generalização do fornecimento de energia comercial, sob a forma de derivados de petróleo e de energia elétrica da rede, não pode se estender ao setor rural sem a concessão de importantes subsídios que cubram seus elevados custos de transporte e distribuição. A grande dispersão dos consumidores no meio rural e seu baixo nível de consumo unitário fazem com que sua incorporação à rede de distribuição de energia seja altamente anti-econômica.

ii) Em contraposição com a observação acima, a economia do setor rural é altamente sensível a aportes de energia, ainda que de pequena monta, podendo melhorar os rendimentos das colheitas, eliminar perdas de transporte e armazenagem e até mesmo adicionar importante valor agregado a seus produtos através de etapas iniciais do processamento industrial (operações de beneficiamento agroindustrial, etc.). A energia necessária para uma importante transformação do meio rural, acarretando sensível melhoria da qualidade de vida de sua população, praticamente não seria muito significativa a nível do consumo energético global do país.

b) A necessidade de melhorar as condições de vida no campo, juntamente com a melhoria de sua produtividade econômica, não é apenas uma das maiores prioridades nacionais de ordem social; é também uma grande prioridade econômica e estratégica: a produção de alimentos depende totalmente do meio rural, de onde também se originam boa parte das exportações brasileiras e algumas importantes matérias-primas para o setor industrial. Por outro lado, a ocupação efetiva do território nacional depende da fixação do homem à terra, e a migração do campo para as grandes cidades deverá atingir seus limites, precisando mesmo ser revertida. Um dos principais requisitos para a viabilização da melhoria da produtividade econômica e da qualidade de vida no meio rural é precisamente o fornecimento de energia, e em particular energia em forma pobre (mecânica ou elétrica).

c) O isolamento em regiões remotas dos consumidores de energia do meio rural faz com que as soluções mais adequadas para seu abastecimento energético sejam bem diversificadas, de acordo com as características de cada ecossistema. Assim, as fontes energéticas ditas alternativas, que hoje começam a despertar interesse também no meio urbano, são em muitos casos soluções tradicionais no meio rural: a energia solar para secagem e conservação de produtos agrícolas, a energia eólica utilizada para bombeamento d'água, irrigação a até mesmo geração de eletricidade, a energia hidráulica de pequenos e médios cursos d'água usada em moinhos, a compostagem dos resíduos animais para a produção de adubo, etc., são apenas alguns dos exemplos que podem ser citados.

d) O meio rural oferece condições, para a viabilização e conômica de algumas das fontes de energia novas e renováveis muito antes do que no meio urbano, fornecendo mercados pequenos mas importantes para a penetração gradativa dessas alternativas no quadro energético nacional. Por exemplo, as células solares fotovoltaicas já estão sendo usadas como a melhor opção para gerar energia elétrica em estações de telecomunicações, na energização de cercas eletrificadas e até em bombeamento d'água e irrigação de pequenos lotes.

A coletânea de artigos aqui reunidos procura justamente discutir os aspectos técnicos e econômicos das diversas alternativas de energização do meio rural a partir da valorização dos recursos disponíveis localmente. Este volume apresenta sete trabalhos elaborados por alguns dos melhores especialistas nacionais em cada tema, que incorporaram importantes informações atualizadas em suas visitas técnicas realizadas no exterior.

Três trabalhos são de caráter geral, e tratam da energia no meio rural de forma global. Os artigos restantes analisam em seus aspectos técnicos e econômicos, quatro tecnologias específicas: a geração elétrica em centrais térmicas a lenha, o aperfeiçoamento da produção de carvão vegetal com a recuperação de produtos químicos, a digestão anaeróbica de efluentes e as pequenas centrais hidrelétricas.

Como já foi especificado em outras coletâneas, voltamos a enfatizar que os coordenadores das atividades do Projeto não têm a responsabilidade pelas opiniões e recomendações conti-

das em cada um dos artigos apresentados, que cabe exclusivamente aos autores correspondentes. Contudo, afirmamos que essas opiniões e recomendações estão solidamente fundamentadas e são, portanto, muito respeitáveis. Elas ficam à disposição de todos aqueles interessados na problemática energética do setor rural, não somente no Brasil, mas certamente em muitos outros países em desenvolvimento.

* * *

ÍNDICE

Sistemas agro-energéticos integrados de produção e consumo de alimentos e energia Reinaldo I. Adams	1
Digestão anaeróbica de efluentes - uma comparação entre as experiências brasileira e chinesa Geraldo Lippel Sant'Ana Jr.	33
As pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) nos cenários presente e futuro Affonso Henriques Moreira Santos	47
A geração elétrica a madeira James Bolívar Luna de Azevedo	79
Aperfeiçoamento da produção de carvão vegetal: a recuperação de produtos químicos Mauro Rodriguez de Almedia Maria Emília Antunes de Rezende	121
A análise ecológica-energética aplicada à agricultura Angela C. Macedônio	145
Planejamento energético regional e transferência de tecnologia energéticas apropriadas para o meio rural Maria Solange Moroni Vidal.	177

* * *

SISTEMAS AGRO-ENERGÉTICOS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS E ENERGIA

Reinaldo I. Adams ()*

-
- (*) *Ph.D em Agricultura Econômica
Universidade do Estado de OHIO-COLUMBUS - Estados
Unidos da America*
 - (*) *Professor do Centro de Estudos e Pesquisas Econômicas
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS*

INDICE

Introdução	5
O enfoque do sistema	7
Análise de sistemas	8
Sistemas agro-energéticos	9
Métodos	13
Resultados de análises de sistemas	17
Comentários finais	27
Bibliografia	30

* * *

INTRODUÇÃO

A crise do petróleo está apontando para mudanças crescentes no processo econômico-social. A disponibilidade fácil da energia líquida, a preços em baixa, orientou, no passado, os ganhos de tecnologia, a baixa dos custos de produção e o estabelecimento da estrutura social vigente. Entretanto, após 1974 iniciou-se o questionamento dessa organização técnico-econômico-social, que insere alto nível de dependência e risco. Formas alternativas passaram a ser estudadas. A valorização dos recursos naturais renováveis para fins energéticos passou a despertar crescente interesse de pesquisa. Os países tropicais onde a incidência solar é mais intensa, passaram a concentrar as atenções dos pesquisadores e dos políticos.

A exploração desses recursos desenvolveu uma nova concepção da questão sócio-econômica e do processo de desenvolvimento desses países. A possibilidade de exploração dos recursos próximo a sua base de consumo, sugere que o uso de energia renovável seja o mais próximo possível de sua fonte. Aliado a este fator, a perspectiva de aumento do preço da energia líquida deverá onerar cada vez mais o transporte, pondo em discussão os ganhos de escala da centralização urbana e industrial. Com isso se valoriza a vida nas pequenas comunidades e a descentralização do sistema produtivo e da estrutura econômica, política e social. O desenvolvimento auto-sustentado dessas comunidades redimensiona o processo de desenvolvimento, sendo a participação de todos, estímulo para trabalho e bem-estar pessoal e social.

A correta exploração desses recursos permitirá, não só, o auto-suprimento energético mas um desenvolvimento mais uniforme e descentralizado. A exploração dos recursos em cada comunidade e em cada unidade produtiva, segundo a sua vocação ecológica, física, econômica e social, num sistema integrado de soluções, permitirá uma nova forma de desenvolvimento harmônico e auto-sustentado, também na agricultura.

Isso implica na criação de um plano global alternativo e uma ação participativa da comunidade na definição de seus anseios e dos projetos específicos, o que depende de treinamento, pesquisa e extensão voltados para esse objetivo.

O princípio da descentralização em todos os níveis é importante na implementação desse processo de conhecimento. A tomada de decisão sobre o investir e produzir deve ser transferida às comunidades. Para tanto é preciso conhecer as fontes alternativas disponíveis e os usos exigidos e aplicar os critérios de decisão que levem à maximização dos benefícios.

O Governo Brasileiro vem dando ênfase ao desenvolvimento de tecnologia orientada para o estabelecimento de sistemas de auto-suprimento energético no meio rural, como meio de levar energia ao campo e assim aumentar a produtividade, reduzir a dependência e o risco na produção e levar o nível de bem-estar dos agricultores e das comunidades do meio rural, garantindo sua permanência nesse meio.

"Atualmente todas as unidades da EMBRAPA estão envolvidas em pesquisas de produção de biodigestores, gasogênios, álcool e subprodutos, óleos vegetais, máquinas e equipamentos e energia solar. Em cinco unidades já está se procurando desenvolver diferentes sistemas integrados de produção de alimentos e energia". (Richter, 1985). Estudos dessa ordem são estimulados e desenvolvidos também nas universidades, nos órgãos de pesquisa e extensão estaduais, e mesmo em entidades particulares com aplicação na agricultura. Este trabalho está em consonância com uma das prioridades da "Ação Programa da em Ciência e Tecnologia" (SEPLAN, CNPq, 1982), onde se afirma textualmente:

"A pesquisa terá de ser orientada, muito mais, no sentido de gerar sistemas de produção para a unidade de produção, integrando todos os produtos. Serão sistemas de produção de aproveitamento máximo de recursos, buscando a combinação mais econômica das diferentes atividades e fatores, no decorrer do ano agrícola. Terão que ser pesquisados sistemas que melhorem substancialmente o desempenho econômico dos vários produtos combinados, não esquecendo suas características sociais de ocupação de mão-de-obra disponível durante todo ou maior parte do ano".

O objetivo básico desses estudos é o de diversificar as fontes energéticas locais, visando, sempre que possível, substituir os derivados de petróleo e outras fontes externas de energia. Isso pode levar ao desenvolvimento auto-sustentado do setor rural, dando-se ênfase ao auto-suprimento energético através da implantação de sistemas de produção de alimentos e energia. Para levar a termo esse objetivo decorrem duas fases de trabalho: a pesquisa e a difusão dos sistemas.

Este trabalho visa, pois, analisar alternativas de modificar a produção e o consumo de alimentos e energia no meio rural. Especificamente pretende-se estudar sistemas que permitam ampliar a produção e o consumo de energia com mínimo de dependência das fontes externas e sem reduzir a produção de alimentos.

O ENFOQUE DO SISTEMA

Para uma melhor compreensão do problema é necessário definir o que se entende por sistema. Spedding define sistema como sendo "um grupo de componentes que interagem entre si e que trabalham em conjunto para um mesmo fim, sendo capazes de reagir em comum a estímulos externos; o sistema não é afetado diretamente pelo seu próprio produto e tem claramente definidos seus próprios limites, baseados na inclusão de todos os processos de retroalimentação significativos". (Spedding, 1979).

Um sistema sempre deve ser abordado no seu todo. O tratamento de partes pode, em primeiro lugar, não ter resultado pois esbarra na resistência do sistema como um todo; em segundo lugar pode desestabilizar e desorganizar o sistema vigente com prejuízos irrecuperáveis. Assim, a difusão de tecnologia deve estudar, antes de mais nada, o sistema em que esta nova tecnologia será implantada e as mudanças que ela introduzirá sob pena ineficiente ou ainda destruir uma organização em funcionamento.

Imaginemos, pois, estudar diferentes partes do corpo humano como os braços, as pernas, etc., separadamente sem contato com o corpo. Não poderíamos nunca entender com clareza, a partir daí, como cada parte funciona quando junto ao corpo, nem como este funciona no seu todo. É exatamente nesse sentido que devemos entender as funções das partes. Elas não podem funcionar por si e sua função não impede que o todo funcione, apesar de serem importantes para o todo. Por isso, é importante se saber quando se está tratando com o sistema como um todo e quando se está abordando apenas partes. Cabe lembrar, que todo sistema pode ter subsistemas relativamente independentes.

Todavia, é fundamental identificar e descrever o sistema que se quer estudar, seja para entendê-lo melhor, seja para melhorar seu performance, para reformá-lo ou copiá-lo, ou

ainda, para compará-lo com outros sistemas, para escolher um deles. Esta tarefa não é fácil e a falta de procedimentos corretos pode ser ineficiente e por vezes desastrosa. Assim, é necessária a adoção de um período de aprendizado para conhecer melhor o sistema, fixar claramente as metas que se pretende atingir e aprender como fazê-lo.

O trabalho com um sistema implica no uso de certos instrumentos e meios com destreza, no movimento e no lugar em que estes são necessários. Por outro lado, quem usa os instrumentos deve estar consciente da constante necessidade de aperfeiçoá-los e de desenvolver novos meios, para melhorar o sistema. A idéia central é de que é preciso entender o sistema antes de poder influir sobre ele de uma forma que permita prever algum resultado.

Isso significa saber o que faz parte do sistema, quais são seus limites, como as partes interagem com o conjunto, como o sistema se relaciona com o exterior, quais são seus processos de retroalimentação; enfim, é preciso conhecer e descrever o sistema.

A compreensão dos sistemas nem sempre é fácil. A complexidade das interações entre as partes dificulta o entendimento, pelo simples processo de observação momentânea. O processo de aprendizado é lento e pode ser auxiliado pela construção de modelos que captam, descrevem e simulam essas interações. Assim, a modelagem se torna um instrumento para descrever os sistemas como eles se encontram, no mundo real.

ANÁLISE DE SISTEMAS

Estudos de sistemas envolvem três etapas de trabalho. Primeiro: Determinação do problema a ser estudado e dos objetivos de análise. É preciso definir claramente o que se pretende alcançar com o objetivo proposto.

Assim, a perseguição desses objetivos deve ser uma constante do trabalho e sua viabilidade é o escopo final, considerando-se as limitações impostas, os riscos calculados, as vantagens e desvantagens definidas e as repercussões possíveis e prováveis de uma intervenção no sistema.

A segunda etapa deverá descrever e identificar o sistema como um todo, procurando ser o mais completo possível, dando ênfase aos aspectos vinculados aos objetivos do estudo. Essa descrição deve abranger aspectos físicos e ecológicos, bem como aspectos econômicos e sociais. Essa fase engloba a formulação do modelo descritivo com um cenário básico para fins analíticos comparativos. A validação desse modelo na descrição da realidade atual é condição para que o estudo mereça credibilidade.

Na terceira etapa são criados cenários que visam interferir nos sistemas existentes, procurando de alguma forma modificar o que existe. A avaliação dessas interferências é fundamental para uma correta tomada de decisão na implementação dos sistemas analisados.

SISTEMAS AGRO-ENERGÉTICOS

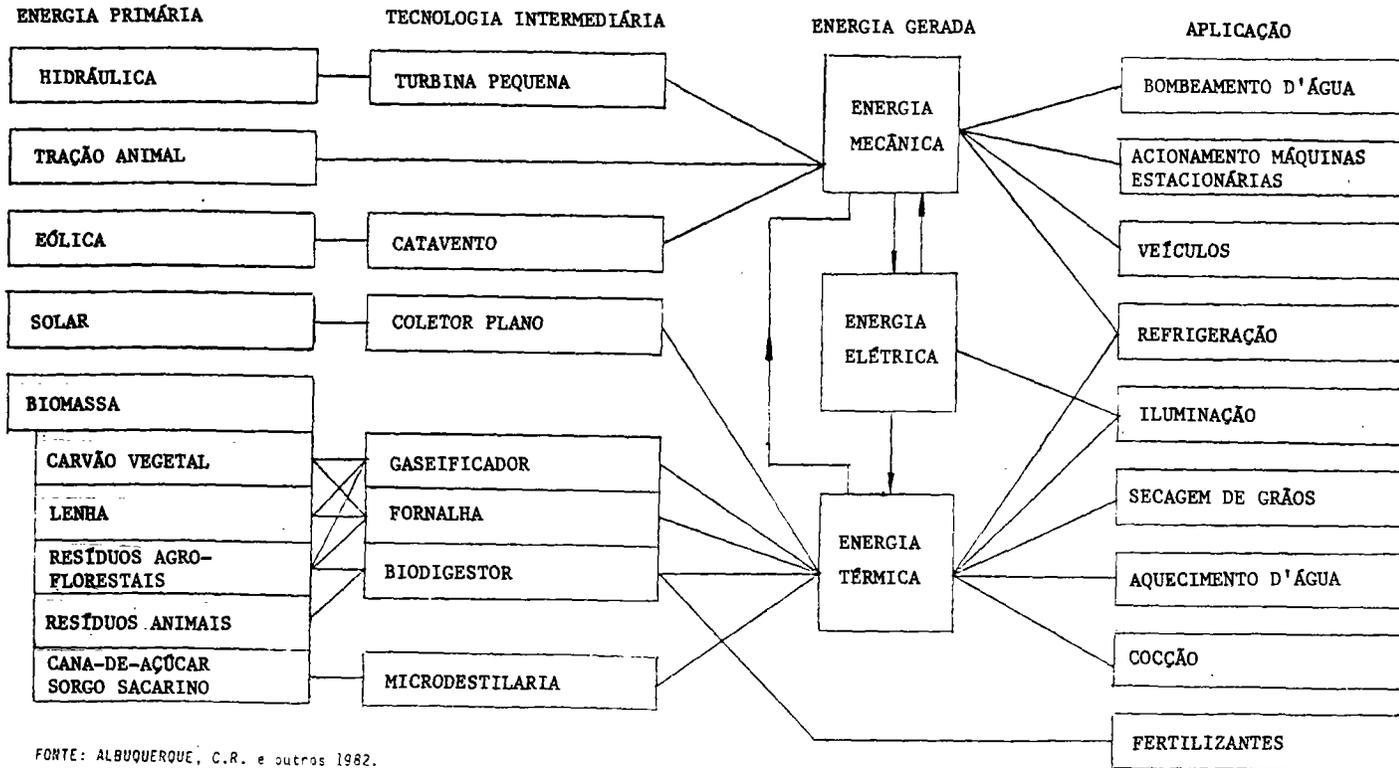
A partir da "Ação Programada e Ciência e Tecnologia" (SEPLAN, CNPq, 1982) um grande esforço vem sendo desenvolvido na identificação e estudo de sistemas agro-energéticos com vistas a uma possível viabilização e implantação em maior escala. Nesse sentido a equipe técnica do CNPq desenvolveu uma metodologia para seleção de Sistemas de Energização Rural (Albuquerque, 1982). Nesse trabalho são identificadas as principais alternativas e rotas para aproveitamento de fontes de energia novas e renováveis no meio rural (Figura 1). Entretanto, essas alternativas devem ser incluídas no contexto da produção agropecuária existentes no setor agrícola (Figuras 2 e 3) Nesse sentido elas podem:

- a) Competir com a produção de alimentos pelo uso dos recursos escassos disponíveis na empresa rural;
- b) Serem neutras quanto aos demais produtos; ou ainda;
- c) Contribuir para a melhoria da produção agrícola, aumentando sua produção e conservando o solo.

O mesmo acontece na promoção de sistemas comunitários de agro-energia. A implantação desses sistemas, além dos problemas de competição pelo uso dos fatores de produção comuns de

FIGURA 1

ROTAS TECNOLÓGICAS PARA APROVEITAMENTO DE FONTES DE ENERGIA NOVAS E RENOVÁVEIS



FORTE: ALBUQUERQUE, C.R. e outros 1982.

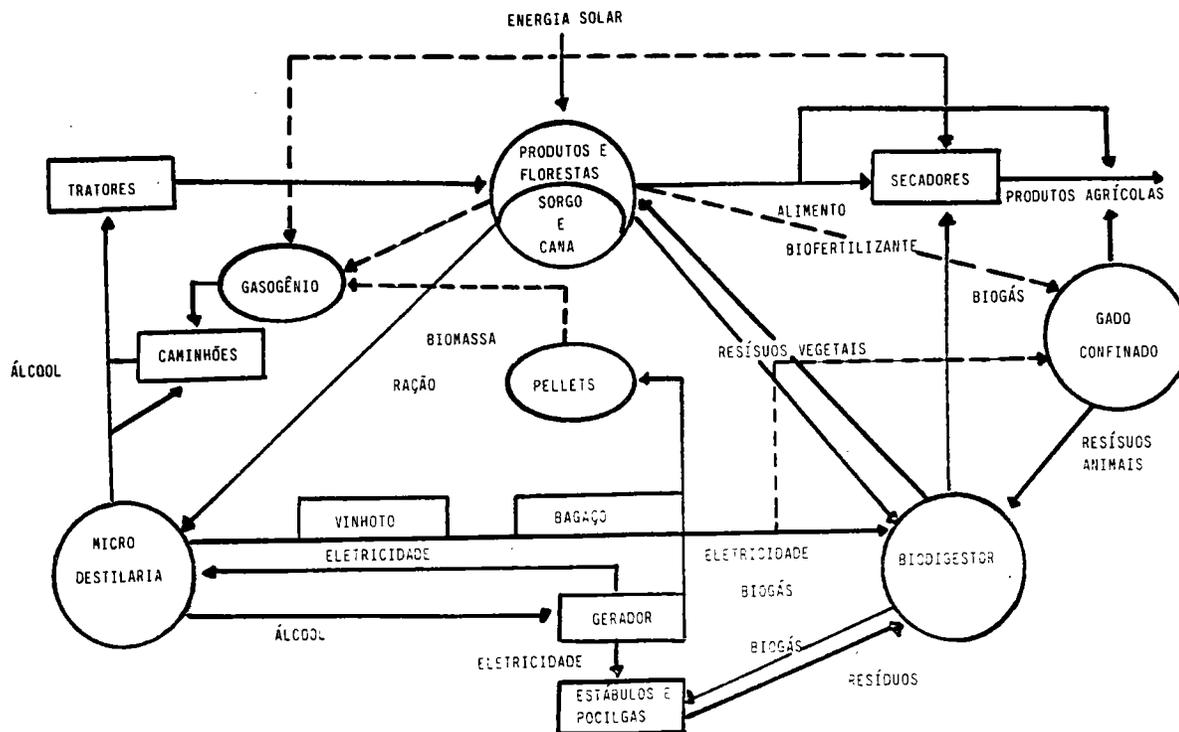
FIGURA 2

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS E ENERGIA COMBINANDO FONTES E USOS ALTERNATIVOS

ATIVIDADE PRODUTOS SUB-PRODUTOS	PASTAGEM	ARROZ	FEIJÃO	SOJA	MILHO	SORGO	CANA-DE-AÇÚCAR	MANDIOCA	PECUÁRIA CORTE	PECUÁRIA LEITE	AVES	SUÍNOS	FABRICO DE RAÇÃO	BIOGESTORES	MICRODESTILARIA	BRIQUETEIRA	SILAGEM	INSUMO AGRÍCOLA	CONSUMO FAMILIAR	VENDEDAS	FARINHEIRA	FLORESTAMENTO	CARBOETRA	PECHEIRA TURBINA	CATAVENTO	COLETOR SOLAR	G-SETEFICADOR	FORMALHA	MEDUNHAS ESTACIONARIAS	VEÍCULOS	REFRIGERAÇÃO	ILUMINAÇÃO	SECAGEM DE GRÃOS			
	ARROZ	0												X						X	X															
FEIJÃO		0																		X	X															
SOJA			0										X								X															
MILHO				0				X	X	X	X	X								X	X															
SORGO GRÃO				0				X	X	X	X	X								X	X															
SORGO COLMO					0			X	X					X		X					X															
SORGO PONTAS					0			X	X							X																				
SORGO REBOTE					0			X	X							X																				
CANA-DE-AÇÚCAR						0		X	X				X							X	X															
PONTAS DE CANA						0		X	X				X																							
MANDIOCA							0	X	X		X	X		X								X	X													
CARNE BOVINA								0	0												X	X														
LEITE									0												X	X														
AVES										0											X	X														
OVOS										0											X	X														
SUÍNOS (CARNE)											0										X	X														
ESTERCO								0	0	0	0		X						X																	
CANA DE AVES										0		X							X	X																
RAÇÕES								X	X	X	X	0																								
BIOFERTILIZANTE													0						X																	
BIOGÁS														0						X	X							0		X	X	X	X	X	X	
ÁLCOOL											X	X		0	X	X				X	X															
BABAÇO											X	X		0	X	X				X	X								X	X	X	X	X	X	X	
VINHOTO							X						X	0					X																	
BRIQUETES																0				X	X								X	X					X	
SILAGEM								X	X		X					0																				
PASTO	0							X	X								X	X																		
PALHAS		0	0	0	0											X		X										X	X						X	
RAMA MANDIOCA							0	X	X		X	X					X																			
FARINHA DE MANDIOCA													X		X					X	X	0														
AMIDO													X		X					X	X	0														
MADEIRA											X					X				X	X		0	X				X	X	X	X	X	X	X	X	
CARVÃO VEGETAL																				X	X		0				X	X	X	X	X	X	X	X	X	
LENHA (MADEIRA)																				X	X		0				X	X	X	X	X	X	X	X	X	
ENERGIA ELÉTRICA													X	X	X					X	X			0	0	0			0			X	X	X	X	
ENERGIA MECÂNICA																								0	0				0	0	X	X	X	X	X	
ENERGIA TÉRMICA																				X						0		0	0	0			X	X	X	

X - Usos Alternativos
0 - Fontes de Produção

FIGURA 3
 FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DE SISTEMAS BIO-ENERGÉTICOS A NÍVEL DE
 PROPRIEDADE RURAL



FONTE: SOUZA DIAS, M. C. e Outros, 1982.

vem encaminhar as questões de organização, administração e manutenção do sistema proposto. Nesse sentido a instalação de as sociedades comunitárias, cooperativas e mesmo a intervenção do setor público local podem encaminhar uma solução (Figuras 4 e 5).

MÉTODOS

Entre os métodos mais empregados para montagem dos modelos analíticos se destacam:

- a) *Balanço energético*: Esse modelo é empregado principalmente pelos franceses e prevê cinco etapas sucessivas (CRIQUI. P - 1982).

1) Descrição do sistema estudado nas dimensões: ecológica, social e econômica.

Isto implica em se fazer um levantamento de informações sobre os recursos naturais e ecológicas, as estruturas e atividades econômicas, a infra-estrutura, a demografia e estruturas locais sociais, as condições de vida, os equipamentos coletivos e as estruturas de desenvolvimento. Juntamente com este levantamento é obtida toda informação sobre fontes e usos de energia.

2) Construção do balanço energético local e atual.

Para isso é definida uma estrutura do balanço sendo analisados em detalhe os recursos importados, os recursos locais utilizados ou em potencial, bem como os recursos exportados. Além da análise da oferta é estudada a estrutura da demanda nos diversos setores de produção e consumo desde o consumo familiar até o industrial, o comercial e o público. Com esses dados é estruturado o balanço energético atual.

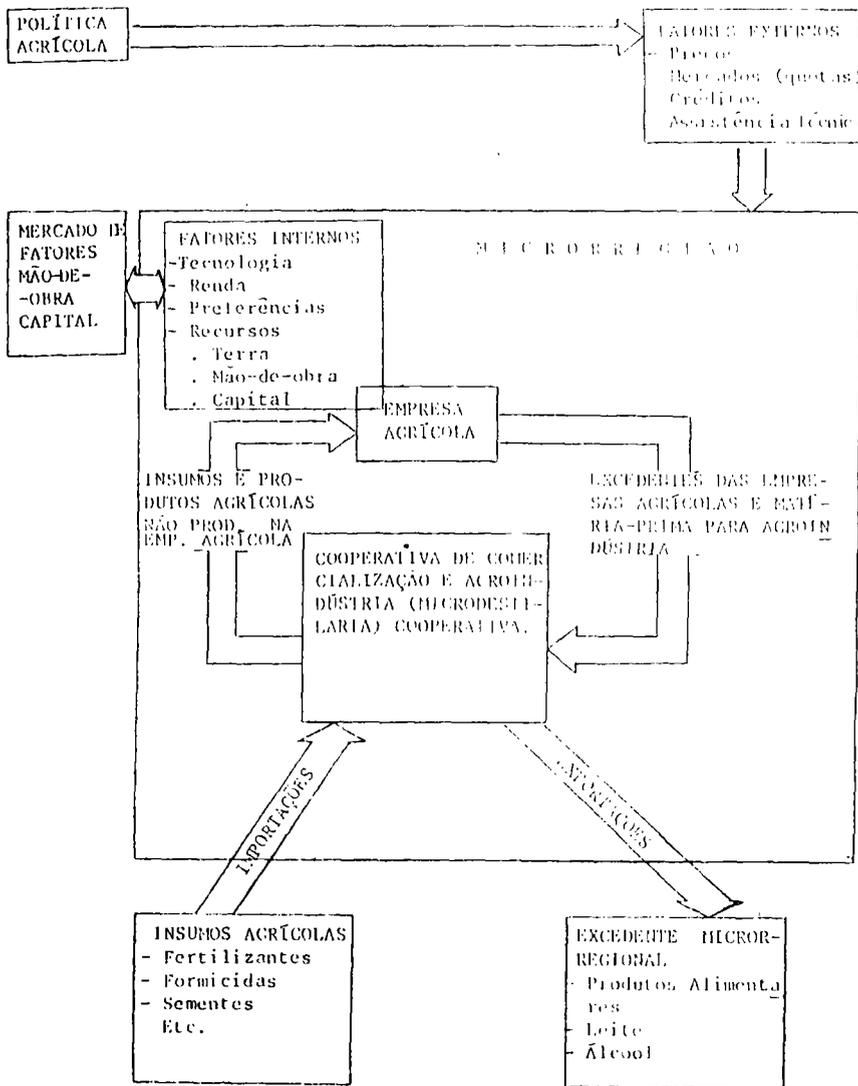
3) Construção de um cenário energético de referência considerando a extrapolação das tendências com base na demanda e oferta atuais, a estrutura física, econômica e social vigente e as expectativas de desenvolvimento regional. Esta etapa termina na elaboração de um diagnóstico energético local, sendo base para estudo de soluções alternativas.

4) Identificação de novas soluções energéticas.

Isso traz consigo em geral inovações tecnológicas que podem significar:

FIGURA 4

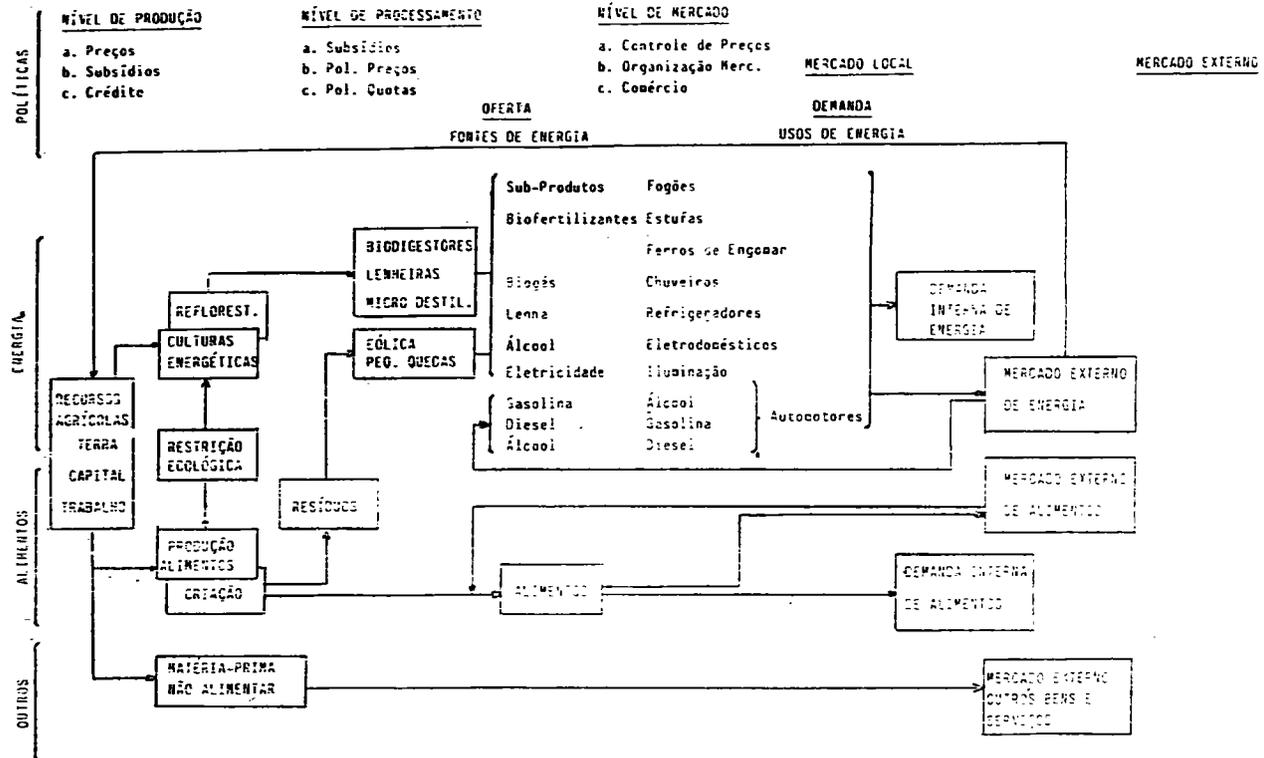
MODELO DE ORGANIZAÇÃO DE SISTEMA INTEGRADO NUMA
ESTRUTURA DE PEQUENA COOPERATIVA DE PRODUÇÃO E CONSUMO



FONTE: VARASCHIN, V.M. ADAMS, R.I. - 1984.

FIGURA 5

MODELO DE SISTEMA AGRO-ENERGÉTICO A NÍVEL DE PEQUENA COMUNIDADE URBANO-RURAL



FONTE: VILANI, D. ADAMS, R.I. - 1984.

4.1 A substituição de fontes e/ou usos energéticos na esfera do sistema.

Assim, por exemplo, poderia ser adotada uma micro central hidrelétrica, em substituição a uma termelétrica a diesel.

4.2 A reestruturação de atividades produtivas já existentes.

Seria, por exemplo a instalação de microdestilarias biodigestores, etc. ou a adoção de irrigação.

4.3 A introdução de atividades novas de produção e/ou transformação.

5. Avaliação e seleção das diferentes alternativas.

Nesse sentido se sugere o emprego de quatro tipos de análise:

- Tempo de recuperação do investimento.
- Análise benefício-custo privado.
- Análise benefício-custo social.
- Análise de múltiplo-critério.

Isso leva a uma avaliação final dos impactos das mudanças sugeridas no sentido social, econômico e ecológico.

b) *Análise de sistemas integrados*

Esse método segue os procedimentos de levantamento de informações do método do balanço energético. Entretanto, no processo analítico enfatiza menos o estudo do balanço energético e se concentra mais nas interrelações existentes no sistema. O método propõe o conhecimento profundo do sistema estudado, dos seus métodos, das suas resistências e autocontrole, bem como do potencial inovação, crescimento e substituição de partes do sistema. O método analítico procura levar em conta o custo de oportunidade dos fatores empregados e dos produtos gerados.

Finalmente, é dada ênfase à ação participativa da comunidade na definição de alternativas e na proposição de cenários. Esta medida incentiva os interessados na participação do investimento da implantação do plano proposto discutido e aprovado pela comunidade.

RESULTADOS DE ANÁLISES DE SISTEMAS

Nesta parte pretende-se apresentar os resultados de alguns trabalhos de análise de sistemas integrados, desenvolvidos nos últimos anos.

O primeiro trabalho se refere a uma modelagem de sistema integrado a nível de propriedade, vindo de encontro a pesquisa tecnológica na área de energia e agricultura que tem avançado rapidamente. Os resultados têm apontado novos conhecimentos em diferentes áreas, sem contudo haver uma integração num sistema complexo. A modelagem de um sistema integrado, analisando num só modelo as várias alternativas de produção, tem mostrado os ganhos, as deficiências e as lacunas de pesquisa ainda existentes. Assim, a simulação de um sistema permite avaliar em primeiro lugar avanços da tecnologia, bem como a economicidade e viabilidade dos novos processos tecnológicos propostos; em segundo lugar não só aponta os problemas remanescentes nesses processos, mas as lacunas de conhecimento e as necessidades de pesquisa para que o sistema possa funcionar como um todo; permite também avaliar: alternativas de aplicação dos processos; formas de uso integrado dos recursos; estrangulamentos de limites no uso e transferência dos recursos entre setores do sistema; e finalmente a ocorrência de perdas e mal aproveitamento intermediários de produtos.

A definição de um conjunto de alternativas por fontes e usos (Figura 2) facilita o processo de decisão sobre um sistema específico a estudar. De um lado está o conjunto de atividades de produção que pode ser introduzido num sistema integrado. No outro lado estão os diversos produtos gerados em cada atividade. A integração das alternativas permite a criação do sistema. Assim pode ser estudado o conjunto de alternativas apontadas, as células, e ainda podem ser selecionadas algumas opções que integradamente formam um conjunto para estudo.

O objetivo deste estudo foi o desenvolvimento de uma metodologia e de um programa de trabalho que permitisse analisar sistemas integrados de produção de energia e alimentos a nível

de propriedade rural. Foi assim desenvolvido um modelo cujo objetivo foi o de analisar a viabilidade econômica de um sistema integrado de produção e consumo de energia numa empresa rural. Especificamente se pretendia avaliar a competitividade de uma microdestilaria e de um biodigestor aproveitando-se também os resíduos agrícolas para insumos energéticos e/ou alimentares.

O sistema estudado foi assinalado na Figura 2. Entre as várias alternativas, selecionaram-se aquelas que pareciam de imediato mais viáveis, e sobre as quais havia disponibilidade de coeficientes técnicos e econômicos.

Com esses dados preparou-se uma matriz multiperiódica de investimento para um período de 10 anos em que o elemento fundamental fosse a decisão de investir do empresário rural.

Algumas conclusões puderam ser identificadas:

1) A escala da destilaria é um fator de suma importância para a empresa rural. Em primeiro lugar, caso não seja permitida a venda de álcool, a escala de produção deve ser definida em função do consumo de álcool. Assim, a escala da destilaria é função das culturas plantadas, da tecnologia empregada e do tamanho da área cultivada.

Assumindo que um hectare de cana produza álcool suficiente para cultivar 30 hectares de outras culturas, com uso intensivo de mecanização, uma destilaria de 100 litros por hora usando cana e sorgo poderá produzir álcool para uma área cultivada total de 3.500 hectares.

Este tamanho de fazenda não é muito comum o que implica em relativamente poucos casos. Em segundo, sendo permitida a venda, será preciso ter o cuidado para evitar a monocultura, recaiando-se no mesmo problema das grandes destilarias. Sugere-se, pois, a criação de sistemas cooperativos de produção integrada em que uma destilaria pode fornecer o produto necessário para várias empresas rurais.

2) A relação atual de preço entre o óleo diesel e o álcool é altamente favorável ao diesel. Mesmo sendo o custo de produção do álcool igual ou até mais baixo que o produzido nas grandes destilarias, ainda assim não é competitivo com o óleo diesel, faltando, pois estímulo para a implantação das microdestilarias, que no mínimo deveriam receber o mesmo tratamento preferencial de investimentos das grandes destilarias.

3) Em alguns casos, com ótimo aproveitamento dos resíduos, em que o álcool passa a ser um subproduto no processo de produção, este já é competitivo. Neste caso o sorgo, aparentemente, é mais econômico que a cana-de-açúcar, pois há o aproveitamento do grão e do rebrote para alimento animal.

4) Cada caso é do um sistema diferente dependendo das culturas e criações implantadas, da tecnologia empregada e do tamanho do empreendimento. O sistema integrado com a criação de animais num processo semi-intensivo se mostrou muito conveniente, maximizando o uso integrado de resíduos.

5) Ainda há muita incerteza quanto aos resultados por causa da falta de coeficientes técnicos, ou seja, são necessários maiores estudos na área tecnológica para se poder medir com maior precisão os resultados econômicos.

6) A aplicação dos sistemas integrados implica em conhecimentos na área de energia, bem como em conhecimentos no uso de resíduos. Isso significa a necessidade da implantação de um programa de treinamento do agricultor. Este programa poderia ser encabeçado pelas EMATERs. Caberia, também, a elaboração de roteiros e manuais para orientação dos interessados na implantação de sistemas agro-energéticos.

7) Finalmente, é importante avaliar a possibilidade de integração de outras fontes de energia, como pequenas quedas d'água, energia solar, energia dos ventos, lenha, briquetes e biodigestores para completar os ciclos de conhecimento da aplicabilidade da produção e uso de energia na agricultura.

8) A microdestilaria se mostra viável com a venda do álcool excedente a nível de preço de mercado.

O segundo estudo focaliza a análise de um sistema a nível de um grupo de pequenos produtores rurais que se reúnem numa cooperativa com vistas a melhorar suas condições de vida.

Nas regiões das encostas basálticas do Rio Grande do Sul, onde predomina a pequena propriedade e a produção subsistência, o nível de desenvolvimento é bem inferior ao de outras regiões onde a atividade agrícola desenvolveu-se mais rapidamente. As regiões menos desenvolvidas se caracterizam por apresentarem excedente de mão-de-obra e por utilizarem práticas agrícolas rudimentares e rotineiras, obtendo, portanto, baixa produtividade e baixa renda.

Para aumentar a renda e o emprego nestas regiões poderíamos pensar em aumentar a área disponível por propriedade ou a produtividade agrícola. Como aumento na área requer mudanças estruturais e elas são inviáveis a curto prazo, resta-nos a alternativa de buscarmos o aumento da renda e do emprego através do aumento de produtividade da terra e mão-de-obra.

O aumento de produtividade pode ser conseguido por mudanças tecnológicas, introdução de novos cultivos e da utilização mais racional da terra. Uma utilização racional pode aumentar a produtividade, através do controle da erosão, da seleção de culturas mais apropriadas a cada classe de solo e do aproveitamento de resíduos orgânicos.

O método usado foi a programação linear.

Os fatores que influenciam a tomada de decisão dos proprietários agrícolas são classificados em externos e internos. Os fatores externos são aqueles sobre os quais o proprietário agrícola não tem controle direto, incluindo a política agrícola, as ações de mercado, os fatores naturais e tecnologia. Os fatores internos são aqueles controláveis pelos proprietários agrícolas sobre os quais eles têm controle direto. Destacam-se os recursos naturais, mão-de-obra, capital e capacidade administrativa.

A capacidade de produção (CP) da microrregião é uma função dos fatores internos (FI) e dos fatores externos (FE).

No curto prazo, os fatores externos são considerados fixos. Portanto, no curto prazo, a capacidade de produção é uma função dos fatores internos.

$$CP = f(R, M, K, A, T)$$

Onde:

R = recursos naturais

M = mão-de-obra

K = capital

A = capacidade administrativa

T = tecnologia

Por outro lado, os recursos naturais, a tecnologia e a capacidade administrativa também são fixos no curto prazo. A capacidade de produção da microrregião é então uma função da mão-de-obra (M) e do capital (K).

$$CP = f(M,K)$$

Assim o nível de produção depende da combinação dos fatores variáveis: mão-de-obra e capital, sujeito às restrições impostas pelos recursos fixos. Como as funções de produção são linearmente homogêneas e as empresas agrícolas ajustam seus fatores de produção de forma a maximizar seus lucros, elas produzirão ao nível máximo de produção, no ponto em que atingir o pleno emprego do recurso fixo da terra.

Para estudar o problema foi escolhida uma região da encosta basáltica do Rio Grande do Sul. A região tem 32 pequenos produtores em quatro subgrupos que serviram de base para análise. Estruturou-se uma matriz de análise comparando a situação atual com a situação programada. Esta foi usada para estudar alternativas de desenvolvimento incluindo ou não a cooperativa, a microdestilaria e o sistema de comercialização dos insumos e dos produtos agrícolas.

Este estudo é uma tentativa de avaliar as possibilidades de desenvolvimento de uma microrregião de pequena propriedade através da introdução de uma cooperativa de comercialização, de uma agroindústria cooperativa (microdestilaria) e de novas tecnologias agrícolas. Uma das condições necessárias para elevar o nível de vida da população em referência é que os recursos disponíveis sejam alocados em melhores alternativas existentes. A situação ideal é aquela em que todos os recursos são alocados de forma a maximizar um objetivo sócio-econômico. Por outro lado, quando algum recurso está sendo subutilizado, um aumento na utilização do mesmo é desejável, se determinar um aumento na função objetivo.

O nível tecnológico empregado na microrregião é rudimentar, ocasionando baixo nível de produtividade agrícola. Os agricultores desconhecem as práticas agrícolas conservacionistas e exploram a terra até seu esgotamento, reduzindo assim, o potencial produtivo da mesma.

Os agricultores não se animam a ampliar os investimentos, pelo alto risco associado à estrutura de produção e comercialização, 77,41% do capital da microrregião é capital fundiá-

rio. As despesas reais monetárias representam apenas 1,36% do capital agrário. Isto, aliado à também baixa participação do capital: máquinas e equipamentos, apenas 1,45%, mostra-nos que a agricultura da microrregião se processa num sistema de produção tradicional sem utilização de insumos modernos e com baixos índices de mecanização.

Estudando a renda agrícola bruta gerada nas propriedades agrícolas, no período 80/81, verifica-se que cerca de 75% das propriedades agrícolas dos moradores, obtêm uma renda inferior a 1,69 vezes o salário mínimo vigente, no período considerado. A renda familiar líquida é negativa em todos os subgrupos dos moradores, mesmo considerando uma remuneração de mão-de-obra familiar de apenas 50% do salário mínimo. A renda gerada não possibilita a reposição dos instrumentos de trabalho desgastados pelo uso e que dada a redução dos meios de produção e aliado também à queda de produtividade do recurso terra, permite afirmar que nas condições atuais o pequeno produtor rural da microrregião acabará migrando devido à absoluta impossibilidade de retirar da terra os recursos necessários para sua sobrevivência.

As deficiências do sistema de comercialização agrícola é um dos principais problemas, responsável pela atual estrutura de produção e pelo baixo nível de renda dos agricultores da área de estudo. Os produtores agrícolas da microrregião não estão preocupados com a remuneração dos fatores de produção utilizados. Estão preocupados, isto sim, dados os problemas de comercialização, com a sobrevivência. Em vista disto, eles procuram produzir os produtos necessários ao consumo familiar e alguns produtos que lhes possibilitem a obtenção de um mínimo de renda em dinheiro. Este comportamento satisfaz o chefe de família, mas não satisfaz os filhos dos agricultores que buscam então, outras alternativas, migrando para as cidades.

A introdução de uma microdestilaria de álcool abre, em um primeiro momento um novo mercado e introduz novas culturas. Assim, aumenta a produção agrícola, já que o agricultor continuará produzindo alimentos para o seu auto-consumo acrescentando a cana-de-açúcar para microdestilaria. A introdução desta, determina um aumento na renda agrícola e no nível de emprego da mão-de-obra. O aumento no uso de mão-de-obra verificado foi de 31,11% e o aumento da renda familiar líquida foi de 9,94%. Por outro lado, a introdução da microdestilaria a base de cana-de-açúcar reduz os picos de utilização

do recurso mão-de-obra e a redução nos picos de utilização é devido às atividades ligadas à produção de álcool a partir da cana que aloca mão-de-obra nos períodos de pouca utilização por parte das outras atividades desenvolvidas na área de estudo. Além disso, a cana pode ser produzida em áreas mais íngremes, não competindo com a terra ocupada pelas culturas temporárias. Presta-se assim, não só como fator de melhoria de produção e renda mas, auxílio no controle da erosão.

Por outro lado, a introdução de uma microdestilaria que utiliza a cana e o sorgo como matéria-prima, aumenta o nível de emprego da mão-de-obra em 35,11%, mas aumenta os picos de utilização desse fator e reduz a renda familiar líquida e é devido ao fato de que o sorgo desloca ou reduz a disponibilidade de terra para outras atividades agrícolas, pois o valor do produto físico marginal é superior ao valor do produto físico marginal gerado pela cultura sorgo. É que o sorgo só pode ser plantado em áreas relativamente planas, competindo com o milho feijão, etc. Enquanto isso, a cana pode ser plantada nas encostas mais íngremes ajudando inclusive a reter erosão, onde não ocorre culturas temporárias.

A renda familiar líquida gerada na situação programada é positiva em todos os grupos e subgrupos de propriedades, o que garante, no mínimo, a reposição dos instrumentos de trabalho desgastados pelo uso e criando a possibilidade, dependendo da propensão marginal a consumir, de se gerar poupança para novos investimentos na microrregião, aumentando-se a capacidade produtiva, ou transferindo-se para outros setores da economia, o excedente. Como a renda familiar líquida é positiva o produtor agrícola consegue acumular recursos que tenderão a elevar-se ao passar do tempo, para a realização de novos investimentos e a manutenção e possível melhoria da produtividade da terra, repondo-se os nutrientes retirados pelas plantas e evitando-se a erosão do solo.

O terceiro estudo analisa um sistema existente a nível de pequeno município interiorano, localizado na região das encostas basálticas onde se mantém a pequena propriedade rural.

Há uma crescente preocupação com os pequenos agricultores localizados nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul, onde existem cerca de 250.000 pequenas propriedades rurais, cuja população vive em condições de subsistência com baixa produtividade, baixo padrão de vida e elevado índice de êxodo rural. Estão em realização, para esta região, vários estudos buscando

alternativas, para melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e um conseqüente aumento da produtividade e nível de renda. Como a região permite a produção de biomassa para transformação em energia, bem como o aproveitamento de outras fontes energéticas renováveis (hídrica, eólica e biodigestores), o presente estudo, baseado no potencial energético e no potencial agrícola local, com a introdução de novas culturas (a cana-de-açúcar e o reflorestamento) para fins energéticos, tenta avaliar um sistema de produção-consumo que permita a aproximação da meta de auto-suficiência em energia e alimentos.

Neste contexto, a busca da meta de auto-suficiência pode originar uma série de impactos positivos na comunidade, tais como: aumento da ocupação da mão-de-obra, aumento da produtividade, geração de renda, energização do setor rural, melhoria nas condições de vida, além de impedir a fuga de recursos financeiros, tornando-os um investimento local.

Dessa forma, através desse estudo, buscou-se estudar subsídios para os órgãos governamentais e de assistência técnica a fim de se estabelecer políticas para agricultura de baixa renda, direcionar pesquisas no sentido de diminuir a dependência de produtos energéticos importados, além de beneficiar cooperativas e agroindústrias, através da identificação de possibilidades de desenvolvimento regional pela adoção de novas atividades.

O objetivo geral do estudo foi o de desenvolver um sistema integrado de produção-consumo de energia e alimentos que melhor represente a realidade agropecuária a nível de comunidade, tendo por finalidade a aproximação da meta de auto-suficiência em energia e alimentos.

O modelo desenvolvido neste estudo teve por base o fluxograma conceitual representado na figura 5. Esta é uma representação sintetizada das relações que se verificam entre os principais componentes da realidade agro-energética da comunidade.

Através do método de programação linear se desenvolveu um sistema integrado para a comunidade que considera a produção e o consumo de alimentos e energia, a introdução de uma tecnologia melhorada nos sistemas de produção e a implantação de atividades de produção e transformação de energia (microdes-

tilarias, lenheiras, biodigestores, miniquedas e cataventos). Foi feito um estudo de conversão energética para operacionalizar as relações de substitutibilidade por fontes e usos de energia. Operacionalizou-se, também, competição entre plantas de diferentes tamanhos, para um mesmo tipo de atividade energética, com o objetivo de possibilitar maior flexibilidade no suprimento do consumo de energia. Dividiu-se a demanda de energia em três setores: o setor urbano, o setor rural 1 (que usa eletricidade a partir da distribuição da CEEE) e o setor rural 2 (que não recebe eletricidade) devido às especialidades de cada um. As atividades de importação e de exportação de energia e alimentos completam o ciclo de oferta e procura do mercado da comunidade.

O resultado da programação indicou que a tecnologia recomendada foi escolhida para quase todas as atividades em que se estabeleceu competição entre tecnologias. Sendo a terra um recurso altamente restrito, devido à topografia local muito acidentada, a possibilidade de aumento da produção agrícola verificou-se pelo aumento da produtividade através do uso de fertilizantes e práticas conservacionistas adequadas.

Notou-se que os requerimentos de fertilizantes foram atendidos quase que totalmente pela utilização de adubos orgânicos produzidos pelos biodigestores, uso de estrume dos animais e vinhotos das microdestilarias. As exceções foram o fósforo que apresentou um nível de importação de 7,18% da quantidade total utilizada na lavoura e o calcário que foi importado na sua totalidade.

Os resultados indicaram que, embora se estivesse programando uma competição por terras tipo 1 (próprias para lavoura), entre a produção de energia (cana-de-açúcar e sorgo) e a produção agropecuária, tais terras foram utilizadas apenas pela atividade de produção de alimentos.

Como se programou o uso do fator terra de acordo com as recomendações técnicas não foi considerada a possibilidade de produção de alimentos em terras tipo 2, por não serem próprias para lavoura, devido à alta declividade do terreno, muito sujeito a erosão. Conseqüentemente, tais terras foram utilizadas para a produção de energéticos (cana-de-açúcar) e para atividades de agropecuária. Dessa forma, a produção de álcool pelas microdestilarias não competiu com a produção de alimentos no que diz respeito ao fator terra. Tal fato se reveste de impor

tância quando se leva em consideração que o aproveitamento de so los íngremes - impróprios para produção de alimentos, mas que podem ser utilizados para o cultivo de cana-de-açúcar - pode ser fator de desenvolvimento de pequenas comunidades. Outros-sim, nessas áreas o custo de oportunidade do uso da terra foi mais baixo do que nas várzeas.

Os resultados do estudo indicaram, ainda, que o aumento da produção agrícola e a programação de novas atividades de produção de energia renovável determinariam uma maior utilização de mão-de-obra. Pelo modelo, o emprego da mão-de-obra aumentou 2,27 vezes comparado com a situação inicial. Tal aumento deveu-se principalmente, à expansão da atividade leiteira que é intensiva em mão-de-obra e à produção de energia. A produção e a transformação de biomassa e outras fontes de energia seriam responsáveis pela geração de 147 novos empregos. Tal fato é importante no sentido de que representa geração de renda e aumento de bem-estar.

A produção de alimentos, que na situação inicial não atendia as necessidades de auto-consumo do próprio setor rural, teve um aumento de 2,5 vezes como consequência do aumento da produtividade, ampliação da ocupação da mão-de-obra, uso mais racional do solo e introdução de uma nova cultura, a cana-de-açúcar (Com terra - 2) com fins industriais. Tal produção embora tenha se apresentado suficiente para satisfazer o consumo no setor rural é ainda, insuficiente para atender a necessidade total da comunidade devido ao esgotamento da disponibilidade de terras.

Por outro lado, a comercialização da cana-de-açúcar pode beneficiar principalmente os pequenos agricultores que produzem tanto alimentos como biomassa para energia, pois esta pode lhes proporcionar uma receita adicional justamente na área que necessita recursos para o preparo da safra de verão. No caso de nosso estudo o resultado mostrou que nem sempre os agricultores que produzem em terra 1 são os mesmos que trabalham em terra 2. Podem, neste caso, os agricultores que possuem os dois tipos de terra, serem beneficiados com os resultados apontados.

A indicação de produção de energia na solução ótima do modelo significa que ela é economicamente viável e possui um custo de oportunidade de produção, por unidade, menor que o de importação.

O modelo apontou serem necessárias para o atendimento do consumo energético de Três Coroas 13,3 microdestilarias, 4,19 lenheiras, 135,4 biodigestores, (de 10,5 m³), 27,4 minique-das além da produção e utilização de 16.454 m³ de lenha pelas propriedades do setor rural.

COMENTÁRIOS FINAIS

Os resultados da pesquisa têm mostrado existir viabilidade técnica e econômica em grande parte dos projetos, desde que integrados, tanto no conjunto do plano, como num sistema integrado de aproveitamento de resíduos. Cabe destaque:

a) Para o aproveitamento de pequenas quedas d'água. As microcentrais hidrelétricas além de suprirem consumidores familiares podem fornecer energia para pequenas agroindústrias. Vários projetos já foram estudados, tanto por simulações, como pela execução dos mesmos. Foram estudados os municípios de Três Coroas e de Rolante, onde se avaliou o potencial de pequenas quedas e se simulou o seu aproveitamento com resultados favoráveis. Além disso, foram projetadas e executadas 4 microcentrais (1 Kw, 3 Kw, 15 Kw, 50 Kw) num programa integrado do grupo de energia da UFRGS, cabendo ao IEPE a análise econômica dos mesmos.

A implantação de microcentrais no meio rural mostrou-se bem mais econômica no global, do que, a extensão da rede de distribuição centralizada. Esta é anti-econômica, por isso, devido ao seu alto investimento por unidade de energia consumida.

Entretanto, um programa de microcentrais hidrelétricas para o meio rural apresenta várias dificuldades entre as quais cabe destacar:

- a.1) Aspectos administrativos de controle e de manutenção do sistema.

Para essa tarefa é preciso algum grau de conhecimento e de remuneração do serviço prestado. Isso representa um custo para o agricultor. A contratação de uma pessoa para essa tarefa não é viável em muitos casos devido à escala do sistema. A solução encontrada foi a responsabilização dessas tarefas pelos próprios usuários, ou remunerando um pelo serviço ou executando o trabalho em rodízio. Quem deve determinar isso é o próprio grupo. É nossa opinião que mesmo executando

a tarefa em rodízio, deve haver uma pequena remuneração para o responsável na época em que executa esta tarefa. Além disso, o responsável deve ter alguém a recorrer em caso de um problema maior. A assistência técnica poderia ser distribuída à EMATER ou ainda, à Prefeitura Municipal. Todavia, tanto para o nível de agricultor como para o nível de extensionista é preciso programa de treinamento. Esse treinamento pode ser executado pela universidade.

a.2) Controle do consumo individual da energia produzida pela microcentral hidrelétrica.

Este consumo é inversamente proporcional ao número de agricultores beneficiados pelo sistema dependendo, por outro lado a capacidade de cada agricultor contribuir para o investimento inicial e para a manutenção do mesmo. Instalado o sistema é preciso haver equitatividade na distribuição da energia e dos custos. Para que isso seja alcançado é necessário instalar um sistema de controle do consumo para cada caso. Atingido o limite desliga o sistema automaticamente.

a.3) Um dos problemas das microcentrais é a confiabilidade de fornecimento de energia.

Nesse sentido, a distribuição da rede central é muito mais confiável, fornecendo uma corrente muito mais estável. Todavia, para o agricultor que não possui energia elétrica a implantação de luz a partir da microcentral hidrelétrica é um grande progresso, sendo que, compensa o pequeno investimento uma vez que o custo de manutenção é muito pequeno.

b) CATAVENTOS - Em locais em que o vento é suficiente, a energia eólica é uma ótima opção para o agricultor. Cataventos têm sido usados para consumidores individuais. O pequeno produtor de subsistência tem dificuldade de arcar com o investimento necessário. Além disso, este sistema não estimula soluções comunitárias.

É possível integrar o catavento num sistema maior com outras fontes de energia como a solar, a hidrelétrica, e mesmo a microdestilaria; ou ainda, pode a energia eólica representar importante fonte energética para abastecimento de água e irrigação.

c) MICRODESTILARIA DE ALCOOL - Muito tem se falado sobre microdestilaria de álcool. Sua viabilidade está ligada à integração comunitária e ao uso integral dos resíduos.

A microdestilaria, quando destinada exclusivamente ao álcool está comprometida economicamente, aos níveis atuais de tecnologia e de preços. Entretanto, junto com a micro pode surgir a organização comunitária, especialmente para a comercialização de produtos, produção de subprodutos como: geléias, açúcar mascavo, etc, produção de energia para os agricultores a partir do excesso do bagaço, ou ainda, venda do bagaço para diversos fins, como cama de galinha, ração, etc. Por outro lado: a produção de cana pode ser feita em curvas de nível ajudando no controle da erosão. A ponta de cana pode ser usada como suprimento alimentar para os animais, principalmente no inverno, quando há falta de alimentos no campo.

Portanto, é de se esperar que a microdestilaria possa trazer grande progresso para o meio rural, principalmente em regiões de pequena propriedade. Ressalta novamente a necessidade da organização e administração comunitárias e da identificação de sistemas integrados mais eficientes. O treinamento e a assistência técnica são fatores indispensáveis ao funcionamento das microdestilarias.

d) ENERGIA SOLAR - Uma das funções importantes e viáveis da energia solar no meio rural é a secagem de grãos, entretanto, é preciso integrar a energia solar como uma opção de energia a partir da biomassa (lenha). O pequeno produtor tem pouca capacidade de investimento para instalar secadores de grãos. Surge aí, novamente, a alternativa comunitária. Junto com a microdestilaria pode ser instalado um secador de grãos usando energia solar, lenha ou ainda bagaço. Isso permite ao agricultor armazenar seu produto para vendas futuras.

Essa organização comunitária pode levar à instalação de outras facilidades como resfriador de leite, compra conjunta de insumos, uso comunitário de máquinas e equipamentos, etc.

O uso de lenha para diversos fins implica em reflorestamento, o qual deve ter equitativamente distribuído.

BIBLIOGRAFIA

- VARASCHIN, V.M. ADAMS, R.I. - *Microdestilaria - Uma estratégia para o Desenvolvimento Rural - Anais do III Congresso Brasileiro de Energia Rio de Janeiro 1984.*
- VILANI, D. ADAMS, R.I. - *Energia Alternativa Fatos de Desenvolvimento de Comunidades - Simpósio Internacional de Ecossistemas de Alimentos e Energia - Brasília 1984.*
- PARIKH, J.K. - *Farm Gate to Food Plate Energy in Post-Harvest Food Systems of Some Countries of South Asia - IIASA, Laxenburg, Austria, 1984.*
- FAO - *Energy in Agriculture and Rural Development - Committee on Agriculture - Rome 1981.*
- ALBUQUERQUE, C.A. - *The Agroenergy Programme Energy for Development of Rural Areas in Brazil - CNPq. Brasília 1984.*
- ALBUQUERQUE, C.A. CARVALHO, M.O.M. ENNES, S.A.W. - *Metodologia para Seleção de Sistemas de Energização Rural. (MIMEO) CNPq Brasília 1982.*
- KAIN, M.A. - *Avaliação Econômica dos Investimentos em Pequenas Florestas com uma Alternativa à Substituição Energética. (XEROX) CAERq/MA - Brasília 1984.*
- CRIQUI, P. *Rapport de Mission au Brésil: (Mission UNESCO - CNPq) Institut Économique et Juridique de l'Énergie - Grenoble, France 1982.*
- SOUZA DIAS, M.C, RICHTER, H.V., YEGANIANZ, L. - *Implementation of Energy Self-Reliance in Agriculture: Brazilian "On Farm Bioenergy Systems" - V International Symposium on Alcohol Fuel Technology Implementation - New Zealand 1982.*
- SPEDDIG, C.R.W. - *An Introduction to Agricultural Systems - Applied Science Publishers - Londres, 1979.*
- SELF, G. - *Design of Community Renewable Energy Projects - AID/WNE/TECH/SA - (MIMEO) - Washington 1979.*

- RICHTER, H.V., ADAMS, R.I. - *Implementação de Sistemas Integrados de Produção de Alimentos e Energia* (MIMEO) - Simpósio Internacional de Ecossistemas de Alimentos e Energia - Brasília 1984.
- PELLIZZI, G. - *New and Renewable Energy in Agriculture* - FAO/ECA 22/80.
- CARRUTHERS - S.P. - *The Potential for Growing catch crops for fuel in the UK* - UNPUBLISHED Research report - University of Reading - England 1984.
- VILANI, D. - *Avaliação da Possibilidade de auto-suficiência Energética a nível de Comunidade* - IEPE/UFRGS (tese MS) 1984.
- HAAS; Gilberto - *Contribuição ao Estudo do Aproveitamento de Micro-Centraís Hidrelétricas de baixa vazão para uso Comunitário* - (tese de M.S.) - PPGEEMM/UFRGS 1984.
- ADAMS, R.I., STULP, V.J., VARASCHIN, V.M. - *Modelagem de Sistemas de Produção e Consumo de Bioenergia* - XXII Congresso Brasileiro de SOBER - Salvador, 1984.
- ADAMS; R.I. e outros - *Integrated Bioenergy Production Systems A way to approach the Food Energy Interface* - 29 Conference on Energy from Biomass - Berlin 1983.

* * *

DIGESTÃO ANAERÔBICA DE EFLUENTES -
UMA COMPARAÇÃO ENTRE AS EXPERIÊNCIAS
BRASILEIRA E CHINESA

Geraldo Lippel Sant'Anna Jr. ()*

() -Doutor, INSA, Toulouse/França.*

*-Professor Associado a Coordenador dos Programas de Pós-
graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio
de Janeiro - COPPE/UFRJ.*

ÍNDICE

Introdução	37
Progressos técnicos recentes em digestão anaeróbia	37
A experiência brasileira com biodigestores	39
A experiência chinesa com biodigestores.	41
Possíveis trocas de experiências	43
Bibliografia	44

* * *

INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é comentar as experiências chinesa e brasileira no campo da digestão anaeróbia de efluentes e resíduos agrícolas. No caso de tratamento de efluentes o trabalho restringir-se-á aos despejos das destilarias e ao esgoto doméstico.

Antes de abordar esses temas é importante citar que os processos de digestão anaeróbia, principalmente aplicados a efluentes líquidos, tiveram um progresso considerável nos últimos dez anos, a ponto de reverter tendências clássicas de tratamento, que estavam baseadas em processos aeróbios. Esse progresso se deveu a promissores resultados obtidos com novas tecnologias de biodigestores, que serão discutidos a seguir.

Progressos técnicos recentes em digestão anaeróbia

Os aspectos fundamentais da digestão anaeróbia estão descritos em detalhe em diversas publicações [1-3]. Recentemente, algumas contribuições técnicas provocaram mudanças consideráveis em conceitos bem estabelecidos da biodigestão. Alguns desses progressos foram na microbiologia, como exemplo podem ser citados os trabalhos de HUNGATE [4] e BRYANT [5] que assinalaram a importância das bactérias acetogênicas e da formação de hidrogênio nas reações bioquímicas do processo de anaerobiose. Progressos relevantes também ocorreram no campo da compreensão dos mecanismos das reações metanogênicas, com a identificação de co-enzimas fundamentais do processo, tais como as co-enzimas M e F-420.

Outras contribuições de peso se deram na área de tecnologia de biodigestores. Pode-se afirmar que a evolução dos reatores anaeróbios se iniciou no final dos anos sessenta com o desenvolvimento dos reatores do tipo "Filtro Anaeróbio" [6]. Desde então, dois principais tipos de reatores se desenvolveram e difundiram; os Reatores Anaeróbios de Filme Fixo (AFF)

estudada por VAN DEN BERG e colaboradores [7],[8] e o Reator de Fluxo Ascendente (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) - (UASB), proposto por LETTINGA [9]. Esses tipos de reatores têm alta performance, mesmo operando com elevadas taxas de aplicação de efluente, da ordem de dezenas de Kg DQO/m³ dia (*), com tempos de retenção hidráulicos da ordem de dezenas de horas. Esses resultados alargaram o campo de aplicação dos processos anaeróbicos, tornando-os competitivos mesmo em situações onde os processos aeróbios têm sido dominantes, como é o caso do tratamento de efluentes de baixa DQO, cujo exemplo típico é o esgoto doméstico.

Atualmente, com base nesses resultados, os processos anaeróbios vêm sendo aplicados a temperaturas abaixo de 30°C, que foi durante muitos anos considerado um limite mínimo de aplicação do processo. O sucesso desses tipos de reatores é essencialmente devido à manutenção de uma elevada e ativa população microbiana no interior do reator. Isto é conseguido através do uso de suportes (recheios) adequados, no caso de digestores anaeróbios de filme fixo (AFF) ou através da formação de uma densa biomassa granular na base do reator, como ocorre nos reatores de fluxo ascendente (UASB). O desenvolvimento de lodos granulares e filmes ativos ainda está baseado em procedimentos empíricos associados com a aclimação e a partida dos reatores. A determinação de critérios científicos para o controle do processo de aclimação e formação de grãos de biomassa está agora se iniciando em diversos laboratórios do mundo. Este conhecimento servirá, sem dúvida, para uma melhor operação dos reatores e, principalmente, para acelerar o procedimento de partida (início de operação).

Outro ponto de controvérsias é a estabilidade do processo e, a evolução dos conhecimentos básicos em microbiologia poderá contribuir para o seu melhor entendimento. A técnica de separação de fases em reatores distintos tem sido preconizada como alternativa para aumentar a estabilidade do processo, no entanto, os resultados experimentais até agora acumulados não confirmam inteiramente as vantagens apregoadas. A

(*) DQO = demanda química de oxigênio.

estabilidade dos reatores tem sido mantida por procedimentos operacionais "prudentes e seguros", que consistem essencialmente em evitar variações abruptas de taxas de aplicação, pH, temperatura, etc. Procedimentos menos empíricos ainda não foram desenvolvidos, especialmente para recuperar um digestor quando este sofre um desequilíbrio, subsequente colapso e inibição da fase metanogênica. O retorno ao equilíbrio é muito lento a este é um ponto vulnerável da digestão anaeróbia. Reduzir esses tempos e reforçar a estabilidade do processo são apenas necessárias para aumentar a confiabilidade da biodigestão anaeróbia.

Em contraste com o avanço verificado no tratamento anaeróbio de efluentes, a evolução dos digestores rurais foi muito modesta. Neste caso a ênfase dos estudos esteve centrada em tipos de reatores que reduzissem as custos, o que era altamente justificável em função de sua aplicação. No tocante aos aspectos técnicos, a melhoria desses biodigestores está condicionada à evolução dos conhecimentos na área de hidrólise, em particular, hidrólise de materiais celulósicos. Como é de conhecimento geral, os resíduos agrícolas apresentam um teor de fibras, que dificulta a hidrólise, etapa necessária e prévia da biodigestão. Enquanto não forem feitas descobertas que permitam acelerar essa etapa do processo (a hidrólise de materiais celulósicos é um tema intensa e extensamente pesquisado em todo o mundo), as inovações relativas a tecnologia de biodigestores rurais ficam reduzidas apenas aos aspectos de redução de custos pelo emprego de formas e materiais mais adequados. Apesar dos biodigestores rurais se basearem essencialmente nos clássicos modelos chinês e indiano, houve entretanto um notável trabalho para sua difusão no meio rural em diversos países.

A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA COM BIODIGESTORES

As experiências em biodigestão, com programas estruturados de implantação e fomento apoiados por organismos governamentais, começaram em meados dos anos setenta. Esses primeiros trabalhos refletiam o interesse pelo sucesso dos programas indiano e chinês de biodigestão no meio rural e eram incentivados pela aguda crise energética daquele momento, quando os preços dos combustíveis atingiram níveis muito elevados. Diversas entidades participaram ativamente desses programas, entre as quais pode-se citar o Ministério das Minas e Energia, a EMBRAPA, as EMATERS, a ELETROBRÁS e diversas companhias es

taduais de eletrificação rural. Apesar dos esforços e da dedicação de técnicos e instituições, a difusão de biodigestores nas áreas rurais brasileiras ficou aquém das expectativas iniciais. Muitas razões podem ser enumeradas para justificar as limitações desses programas. EMMERICK [10] em seu trabalho indica várias delas; entre as quais citamos: resistências às mudanças de hábito e rotina de trabalho (coleta de esterco, mistura, alimentação do biodigestor, etc.); concorrência do gás liquefeito de petróleo, que tem preço subsidiado e dispõe de uma rede de distribuição bem implantada no país; facilidade na aquisição do fertilizante químico por interesse dos fornecedores.

Em 1979 a meta do programa biogás no Brasil era a construção de 5 milhões de biodigestores até 1989, as metas para os anos de 1980 e 1981 eram de construir 6200 e 17000 unidades respectivamente. Segundo estimativa de EMMERICK, em 1983 o Brasil contava com apenas 3000 digestores instalados. No período 80/82 o programa foi redimensionado.

Se a implantação de biodigestores no meio rural enfrentou diversas dificuldades no Brasil, não se pode negar todavia que houve um progresso importante para a consolidação desta técnica, que tem tido aceitação, por parte das grandes propriedades e cooperativas agrícolas, que obviamente dispõem de maiores recursos financeiros e humanos do que os pequenos agricultores.

Um pouco posterior, mas ocorrendo em paralelo com a difusão dos digestores rurais, houve no Brasil a difusão do tratamento anaeróbio de efluentes industriais. A motivação desse esforço foi o imenso potencial poluidor do vinhoto, resíduo da produção de álcool, que passou a ser gerado em quantidades elevadas no final dos anos setenta, com o aumento da capacidade produtora de etanol do país. Os primeiros trabalhos de investigação se iniciaram por volta de 1977 e o progresso conseguido em biodigestão de vinhoto nos últimos oito anos foi surpreendente. Os excelentes resultados obtidos com o pioneiro digestor UASB de Penedo (Alagoas) serviram de base para outras implantações, que se sucederam rapidamente nos últimos três anos. Hoje já existem empresas do setor privado que dispõem da tecnologia completa para tratamento anaeróbio de vinhoto, incluindo a digestão e o aproveitamento do metano para acionamento da frota. A fase dos testes em escala piloto já foi suplantada e o estágio atual é o do início de operação de digestores em escala industrial.

A experiência de biodigestão de efluentes industriais não ficou somente ligada ao vinhoto, mas hoje se estende a efluentes de feculárias, fábricas de refrigerantes, fermento, etc.

Outra importantíssima aplicação da biodigestão que vem ganhando corpo no Brasil é o tratamento anaeróbio de esgotos. Motivados pela experiência de LETTINGA e colaboradores [11] com uma unidade piloto instalada em Cali (Colômbia), alguns pesquisadores brasileiros desenvolveram pesquisas neste campo, com resultados estimulantes. Eficiências de tratamento da ordem de 70% (remoção de DBO - demanda bioquímica de oxigênio) vêm sendo conseguidas com tempos de retenção hidráulica de cerca de quatro horas. Estes dados podem reverter completamente a tendência clássica de tratamento de esgotos (processos aeróbios), pois contribuem para uma notável redução dos custos de instalação e de operação [12], [13]. O estágio atual dos trabalhos no Brasil é o de testes em escalas da ordem de centenas de litros, estando, no entanto, já em funcionamento unidades piloto, da ordem de dezenas de metros cúbicos.

Assim, verifica-se que no Brasil houve uma arrancada da digestão anaeróbia no campo do tratamento de efluentes industriais e urbanos, com processos já praticamente consolidados, enquanto que a biodigestão de resíduos agrícolas progrediu mais lentamente. No primeiro caso houve inovação tecnológica e difusão desta tecnologia, no segundo caso houve apenas difusão de tecnologia (tipos de digestores) convencional. Espera-se que a evolução do tratamento anaeróbio aplicado a efluentes industriais tenha desdobramentos que incentivem a difusão da biodigestão no meio rural.

A EXPERIÊNCIA CHINESA COM BIODIGESTORES

O desenvolvimento da biodigestão na China seguiu caminhos muito particulares, em consonância com os aspectos estruturais do país. Trata-se de uma nação que apresenta a sua população concentrada no campo, as dimensões do país são continentais e os problemas de eletrificação rural são gravíssimos. Havia também na população do campo o hábito de reciclar e reutilizar os diversos resíduos gerados na atividade agrícola. Esses fatores, aliados à determinação política de alterar profundamente o quadro de vida no campo permitiram a difusão dos biodigestores, que podem naquele país ser contados em milhões de unidades instaladas.

A China desenvolveu um amplo programa de biodigestão, que envolve centros e institutos de pesquisa, equipes técnicas especializadas em construção e brigadas de assistência técnica e difusão. Praticamente em cada cantão ou vila existe um responsável técnico pelos biodigestores, que fomenta a sua implantação e assegura a manutenção técnica é vital para o sucesso dos programas de biodigestão e, nesse particular os chineses conseguiram resultados espetaculares.

A pesquisa em biodigestão é conduzida por diversas universidades e institutos especializados e envolve centenas de profissionais de nível superior. Este dado está em flagrante contraste com a situação brasileira, em nosso país há apenas poucas dezenas de investigadores trabalhando com digestão anaeróbia. A maior parte das pesquisas chinesas está orientada no sentido de aumentar a eficiência e reduzir os custos dos biodigestores rurais, no entanto, os aspectos fundamentais microbiológicos também merecem considerável atenção. Nota-se um esforço importante no sentido de formar pesquisadores em universidades americanas e européias.

Além dessa atividade de pesquisa básica existem centros que se dedicam ao estudo de técnicas construtivas de digestores. Um resultado interessante desse trabalho foi o desenvolvimento de um digestor que opera em batelada, construído em alvenaria, com cobertura de plástico. Em 1984, cento e cinquenta unidades de 4 a 5 m³ foram construídas no cantão de Fugang, nas cercanias de Hangzhou, ao custo estimado de 50 dólares por biodigestor [14]. Esta redução de custos permite ampliar a difusão dos digestores no meio rural, que funcionam não como unidades isoladas, mas como um dos integrantes de um sistema que compreende a remoção de resíduos, a produção de energia, a geração de biofertilizante e a produção de peixes em lagoas. Parte do efluente dos digestores não destinado à fertilização dos solos é incorporado às lagoas de piscicultura.

No tocante ao tratamento de efluentes industriais por via anaeróbia, os trabalhos de investigação e de implantação se desenvolvem de modo análogo ao brasileiro. Os tipos de reatores de alta taxa de aplicação estão sendo estudados em escala piloto, com preferência para os filtros anaeróbios e os sistemas em dois estágios. Poucos trabalhos são feitos com os digestores tipo UASB.

O tratamento de esgotos urbanos em digestores de alta taxa, que é um tema palpitante no Brasil, não tem encontrado muito interesse na China, pois os resíduos das fossas sépticas (bem disseminadas nos centros urbanos) são coletados e enviados diretamente aos campos de cultura. Como é conhecido, na China, os campos e áreas cultiváveis penetram nas aglomerações urbanas, tornando muito reduzidas as distâncias de transporte de esgotos digeridos para os campos.

POSSÍVEIS TROCAS DE EXPERIÊNCIAS

O tratamento anaeróbio de efluentes avançou aceleradamente nos últimos cinco anos no Brasil, fruto de experiências quase isoladas que tiveram êxito e se difundiram rapidamente pelo país. Desenvolveu-se a tecnologia de reatores anaeróbios de alta taxa (UASB) e o sistema periférico de purificação e aproveitamento do metano. Empresas eletromecânicas aperfeiçoaram equipamentos agrícolas e veículos que podem ser acionados pelo metano. Enfim, efetuou-se o desenvolvimento completo do processo no tocante a digestão e uso de biogás. Experiências mais amplas sobre o uso e os efeitos do biofertilizante sobre o solo precisam ser aprofundadas. Acredito que os chineses poderiam se beneficiar dessa experiência, principalmente nos aspectos ligados à tecnologia de reatores UASB e ao uso do metano em veículos.

Quanto aos biodigestores rurais, temos muito a aproveitar da experiência chinesa, resguardadas as diferenças estruturais entre os dois países. Poucas experiências de longa duração foram efetuadas no Brasil com sistemas integrados (energia - fertilizante - piscicultura), que se encontram generalizados na China. A título de exemplo, pode-se pensar no interesse agregado a um projeto de sistema integrado adaptado às condições do Estado do Rio de Janeiro, que apresenta baixa produtividade agrícola, crescente desmatamento provocado pela procura de lenha e subnutrição em vastas regiões do interior. Poderia se avaliar os benefícios da experiência chinesa em condições de solo e clima fluminenses.

Outro aspecto a destacar e a aproveitar seria a organização da rede de assistência técnica aos biodigestores rurais que compreende também o projeto, a construção e a manutenção

da unidade de biodigestão, bem como do sistema de coleta e utilização do gás. Na China há um programa constante de treinamento de pessoal capacitado para a execução desses serviços.

Para finalizar seria importante mencionar os trabalhos e estudos com fermentação anaeróbia de resíduos com baixo teor de umidade ("dry fermentation"). Esses trabalhos visam acelerar o processo de modo a se atingir produções razoáveis de biogás na digestão de resíduos agrícolas em regiões onde não se dispõe de esterco ou outros dejetos animais em abundância. A experiência brasileira nesse tema é reduzida.

As diferenças sociais, econômicas e políticas entre o Brasil e China não se constituem em limitações para que se estabeleça um intercâmbio de experiências, principalmente na área de biodigestão, uma técnica capaz de melhorar as condições de vida e preservar o meio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] STAFFORD, D. et al., "*Methane Production from Waste Organic Matter*", CRC Press. 1980.
- [2] TOERIEN, D.F. et al., "*Anaerobic Digestion - The Microbiology of Anaerobic Digestion*", *Water Research*, 3, p. 385-416, 1969.
- [3] COPPE/UFRJ, "*Non Conventional Sources of Energy and Alternatives of Energy Conservation*", Preliminary Report 1984.
- [4] HUNGATE, R.E., "*A Roll Tube Method for Cultivation of Strict Anaerobes*", *Methods in Microbiology*, vol. 3B, Academic Press, 1969.
- [5] BRYANT, M.P., "*The Microbiology of Anaerobic Degradation and Methanogenesis with Special Reference to Sewage*", Seminar of Microbial Energy Conversion, Göttingen, Germany, 1976.
- [6] McCARTY, F.L. "*Anaerobic Treatment of Soluble Wastes*" *Advances in Water Quality Improvement*, p. 336-351, University of Texas Press, 1969.

- [7] VAN DEN BERG, L. et al., "Comparison Between Up and Down flow Anaerobic Fixed Film Reactors of Varying Surface to Volume Ratios for the Treatment of Bean Blanching Waste", Proc. 34th Purdue Ind. Waste Conference. p.319-325, 1979.
- [8] VAN DEN BERG, L. et al., "Effect of Type of Waste on Performance of Anaerobic Fixed Film and Up-Flow Sludge Bed Reactors ", Proc. 38th Purdue Ind. Waste Conference, 1981.
- [9] LETTINGA, G., "Anaerobic Treatment of Low Strength Wastes", Inter. University Course on Anaerobic Digestion, Dijon, 1980.
- [10] EMMERIC, M.C.E., "Difusão de Biodigestores no Meio Rural" Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, 157 p., 1984.
- [11] LETTINGA, G. et al., "The Application of the UASB Reactor for the Direct Treatment of Domestic Waste Water Under Tropical Conditions". Anaerobic Treatment of Sewage Seminar, Massachusetts, Estados Unidos da América, 1985.
- [12] SOUZA, M.E., "Tratamento de Esgoto "in natura" pelo Processo de Fluxo Ascendente", VII Simp. Nacional de Fermentações, Londrina, 1986.
- [13] BARBOSA, R.A., Comunicação pessoal, 1986.
- [14] SANT'ANNA Jr., G.L., "Report on the Technical Programme on China", FINEP/UNESCO/UNDP, 1985.

* * *

AS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCHs)
NOS CENÁRIOS PRESENTE E FUTURO

Afonso Henriques Moreira Santos ()*

-
- (*) - *Doutor em Engenharia Elétrica - Universidade de Campinas
UNICAMP - São Paulo.*
- *Professor Assistente da Escola Federal de Engenharia de
Itajubá - Minas Gerais.*

ÍNDICE

Resumo	51
1. Introdução	52
2. Definições sobre PCHs	55
3. Panorama Mundial	60
4. Economicidade das PCHs	63
5. Perspectivas tecnológicas	69
6. Aspectos institucionais	72
7. Conclusões	74
8. Bibliografia	74

* * *

RESUMO

O trabalho faz um pequeno histórico sobre as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) no Brasil, mostrando sua ascensão e declínio. Evidencia, também a relação entre as PCHs e as fronteiras agrícolas, fato que ocorreu no passado e se repete hoje.

Ao tentar definir o que é uma PCH defronta-se com o problema da não existência de uma classificação mundial única.

Apresenta, também, o panorama mundial, evidenciando a carência energética do chamado terceiro mundo. É traçado o quadro, relativo às PCHs, em vários países do mundo.

Ao destacar a economicidade das PCHs, faz comparações com várias outras formas de geração de energia. Analisa, sem maior profundidade, as PCHs interligadas aos grandes sistemas.

Os aspectos tecnológicos e institucionais são analisados, concluindo que os países desenvolvidos apresentam um grande avanço no setor. Existe, porém, um grupo de países, que detêm uma situação intermediária entre os "muito desenvolvidos" e os "sem desenvolvimento", com relação às PCHs. A estes países cabe o papel importante de transferir conhecimentos aos menos desenvolvidos, e absorver a alta tecnologia dos que têm grande desenvolvimento.

I. INTRODUÇÃO

A análise atual de qualquer proposta energética sempre leva à "Crise do petróleo de 1973", pois a alteração brusca dos preços deste energético trouxe, como consequência imediata, a viabilidade econômica de várias fontes de energia, além de alertar para o terrível fato da grande dependência, que vive a humanidade, de uma riqueza exaurível. Evidentemente, seria redundante se este trabalho se aprofundasse neste tema pois centenas já o fizeram. Entretanto, o ressurgimento das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) é consequência direta deste quadro.

O desenvolvimento das turbinas hidráulicas está relacionado com a revolução industrial. Enquanto a Inglaterra apoiava a sua industrialização nas reservas carboníferas, a França não tinha a mesma sorte, pois não era tão pródiga em carvão. Como consequência natural, a energia hidráulica começava a ser explorada para acionamento mecânico de diferentes máquinas. Em virtude desta substituição ao carvão e hidreenergia ficou conhecida como "houille blanche" (hulha branca ou carvão branco). Destacam-se os trabalhos de Euler, Poncelet, Bélidor, Foureyron, dentre outros (Smith, 1980).

No Brasil, as primeiras Centrais Hidrelétricas estavam vinculadas à industrialização no interior do país. A indústria têxtil, por exemplo, foi um dos principais vetores de expansão da geração hidrelétrica. Ainda hoje existem muitas centrais em funcionamento, datando do começo do século, e que foram implantadas por indústrias têxteis (Santos, 1984 e CPFL, 1982). O histórico da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL, 1982) mostra claramente o afirmado, além de relacionar a expansão industrial do interior de São Paulo com a construção da estrada de ferro, que, por sua vez, foi resultado da necessidade de se transportar o café. Esta tinha deixado o Vale do Paraíba, já com o solo empobrecido, e avançado rumo a oeste. Este vínculo entre a agricultura e as PCHs

é histórico da realidade nacional, e mostra-se novamente presente com o aparecimento de fronteiras agrícolas na Amazônia e Centro-Oeste. Ali as PCHs alcançam máxima eficiência econômica, além de ter grande benefício social.

De fato, até a década de 50, o Brasil apoiou a sua eletrificação nas pequenas e médias centrais, sendo estas pertencentes à iniciativa privada ou ao município. Verdadeiras malhas foram criadas com a interligação de pequenos sistemas municipais, visando um aumento de confiabilidade e melhor operação. Entretanto, não se perdia a característica fundamental destes sistemas, que era a utilização da mão-de-obra e recursos locais, quando possível fosse. A política tarifária da época, baseada no custo histórico, e uma inflação significativa passaram a desencorajar novos investimentos no setor elétrico. Tal fato, associado a outros de natureza política, fez com que o Estado começasse a ter maior participação no setor, garantindo a expansão do parque gerador. Um outro fato paralelo ocorria: era a economia de escala nos empreendimentos hidrelétricos. Assim, no final da década de 50, o Brasil construía Furnas, que foi a primeira central brasileira a ter potência superior a 1000 MW. Mudava-se, então, toda a filosofia de suprimento de energia elétrica: ao invés dos pequenos sistemas, com características regionais e pertencentes à iniciativa privada ou municipal, surgiam os grandes sistemas elétricos, de natureza estatal, que eram supridos por centrais de grande porte.

Também no final da década de 50 começavam intensos programas de eletrificação rural, normalmente baseados no padrão monofásico, conforme era utilizado nos Estados Unidos da América. Tais programas, suportados por financiamentos externos eram subsidiados. Isto além do fato da energia do grande sistema ter boas características técnicas, fez com que o meio rural abandonasse os suprimentos usuais de energia. Assim, o motor elétrico substituiu muitas rodas d'água, e as pequenas gerações hidrelétricas, na maioria das vezes utilizando geradores de corrente contínua, foram abandonadas. Este foi o caminho adotado naquela época. O outro caminho, desta encruzilhada tecnológica, era o da modernização dos sistemas autogeradores rurais. Desta forma, não se teria abandonado as centrais obsoletas, mas incentivado a substituição de equipamentos, permitindo uma geração própria com bom padrão técnico.

Como já foi dito, a evolução dos preços do petróleo fizeram reverter muitas conclusões econômicas a respeito de fon

tes energéticas. Assim, o suprimento elétrico a regiões remotas no Brasil era feito, raras exceções, por meio de grupos Diesel. Hoje, todas as análises levam a conclusão de que uma PCH é mais econômica que o Diesel, mesmo onde o custo da central e da linha de transmissão tenham valores altos, como 2.000 \$/kW. Paralelo a este fenômeno, o sistema interligado começou a apresentar um custo marginal de expansão elevado. Isto é óbvio, pois os aproveitamentos mais econômicos e mais próximos dos centros consumidores já foram utilizados (como os do Rio Grande), restando os que estão remotos (como o da Bacia do Tocantins e do Xingu). Desta maneira, as PCHs começaram a se tornar econômicas também para os sistemas interligados. Basicamente são as seguintes as vantagens de uma PCH interligada:

- opera com um Fator de Capacidade elevado, pois é projetada para fio d'água e, como está interligada, não precisa acompanhar a curva de carga. Isto faz com que o custo da energia (\$/kWh) reduza sensivelmente;
- reduz os investimentos em transmissão e sub-transmissão, pois ela está, em geral, ligada diretamente aos sistemas de distribuição;
- diminui as perdas no sistema, pois parte da carga é suprida diretamente pela PCH, não havendo fluxo desta energia pelos sistemas hierarquicamente mais elevados;
- melhora a regulação dos sistemas de distribuição, pois ela gera o reativo próximo à carga, diminuindo sua circulação pelo sistema de transmissão.

Além destas vantagens técnicas, existem muitas outras de natureza econômica, social, ecológica, etc.

Parte destas vantagens serão discutidas no decorrer deste trabalho.

Para encerrar esta introdução, vê-se que o ressurgimento das PCHs é um fato evidente. Tal ressurgimento tem caráter substitutivo em regiões remotas e caráter complementar nos sistemas interligados. Também as iniciativas privadas e regionais voltaram a ter interesse nas PCHs. Isto pode ser detectado em muitas empresas de energia elétrica, pertencentes a municípios ou a particulares, que têm investido na construção destas centrais. A existência de empresas não concessionárias com interesse em gerar energia elétrica e vendê-la a

concessionários mostra, também, o renascimento econômico da PCH. Para que esta prática seja incentivada há de se mudar a legislação em vigor no país (Santos & Costa, 1984).

Para melhor compreensão sobre o que é uma PCH, é necessário sua definição clara, na realidade brasileira e internacional.

2. DEFINIÇÕES SOBRE AS PCHs

Definir o que é uma Pequena Central Hidrelétrica não é tarefa fácil. Isto porque as classificações são bastante variáveis de país para país. Entretanto, há uma filosofia nas PCHs que independem da posição geográfica: uma PCH não é uma mera redução de uma usina de grande porte (ELETROBRÁS & DNAEE, 1982). Tal filosofia é de fundamental importância para que o custo da central seja aceitável. É evidente que, utilizando-se simplificações, perde-se algumas vantagens. Estas vantagens são as mais variadas, mas, ressalta-se a regularização da vazão.

Sabe-se que, nas grandes centrais, a maior parte do custo concentra-se nas obras civis, especialmente na construção do reservatório regularizador. Para diminuir este custo, as PCHs devem ser projetadas utilizando-se somente a potência firme (ELETROBRÁS & DNAEE, 1982), não fazendo a regularização. Abre-se exceção para o acompanhamento diário da carga, que exige pouco volume regularizador (Souza et Alii, 1983).

A atual realidade tecnológica que vive o Brasil, leva à construção de PCHs com equipamentos robustos mas de engenharia bastante simples. Isto não quer dizer que tais equipamentos são os ideais. Pelo contrário, pois pequenas turbinas com tecnologia sofisticada apresentam melhor eficiência e maior durabilidade. Quando se diz simplicidade quer se dizer que não se exigirá das turbinas o mesmo rendimento de uma grande, ou os mesmos testes. Entretanto, esta turbina pode ser o resultado de um projeto que utilizou as mesmas técnicas sofisticadas que se empregam nos grandes projetos. Ainda com relação à simplicidade, uma PCH na França é mais econômica se for automatizada do que exigir um grande quadro pessoal. Tal realidade é comum a quase todos os países desenvolvidos.

A Organização Latino Americana de Energia (OLADE) classifica as PCHs da maneira descrita no Quadro 1:

QUADRO 1
CLASSIFICAÇÃO DAS PCHs CONFORME A OLADE

	Potência Máxima [kW]	Queda de Projeto [m]		
		Baixa	Média	Alta
micro centrais	50	menos de 15	15 a 20	mais de 50
mini centrais	500	menos de 20	20 a 100	mais de 100
pequenas centrais	5000	menos de 25	25 a 130	mais de 130

Tal classificação foi adaptada à realidade brasileira, tendo em vista, principalmente, as micro centrais. Isto porque é consensual que as micro são potencialmente utilizadas no meio rural, sendo que a engenharia e a legislação deveriam estar adequadas a esta realidade. Assim, o limite de 50 kW deixa de fora uma parcela significativa de propriedades rurais. Adaptou-se, então, a classificação OLADE, multiplicando-se a coluna "Potência Máxima" por dois, resultando:

- micro centrais - até 100 kW
- mini centrais - até 1000 kW
- pequenas centrais - até 10000 kW

Para deixar esta classificação compatível com a capacidade da indústria nacional, limitou-se em 5.000 kW a potência máxima por grupo da central.

Como já foi dito, apenas a filosofia de simplicidade é que mantém comum, entre os vários países, ao se definir uma PCH. Nos Estados Unidos da América, por exemplo, o limite máximo de potência é 15 MW, embora as facilidades legais para as PCHs estejam sendo estendidas até a potência de 30 MW (Fritz, 1984; Sheldon, 1979). Este limite é próximo ao da China (Jing xi, 1984), que é de 12 MW. Estas classificações têm sempre

por objetivo facilitar o financiamento e licenças, sendo que as limitações técnicas não são rigorosas. Completando este quadro, apresenta-se a seguir as classificações em outros países:

- FRANÇA - micro - até 100 kW (Petit, 1981)
 mini - até 1000 kW (Étienne & Chadenson, 1981)
 pequena - até 8000 kW (Raband & Picollier, 1981)
- ÁUSTRIA mini - até 100 kW (Bauer, 1981)
 pequena - de 100 kW até 5000 kW
- ESPANHA pequena - até 1000 kW (Domerq, 1981)

Fica evidente a necessidade de se ter uma padronização internacional no que diz respeito à potência. Também com relação à altura, tipos de construção, e equipamentos, seria interessante uma única classificação mundial.

A classificação por altura, apresentada no Quadro 1, não tem a mesma filosofia da classificação por potência. Enquanto os limites por capacidade têm seus principais fundamentos em facilidades legais e financeiras, os limites por altura apresentam divisores tecnológicos. É evidente que, como no caso da potência, os valores limites não são rígidos, sendo apenas orientativos.

Para se ter uma idéia da importância desta classificação, a Fig. 1 mostra uma PCH de média queda, construída com tecnologia puramente nacional. Já, a Fig. 2 mostra outra PCH, da mesma potência, mas de baixa queda, utilizando-se de tecnologia mais sofisticada, ainda não dominada pela indústria brasileira. Destacam-se, aí, a turbina de fluxo axial tubular e o uso de multiplicador.

Concluindo, a importância de se ter uma padronização mundial é grande, mas maior é a necessidade de tê-la a nível nacional, o que se está conseguindo, através de esforços da ELETROBRÁS, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

FIGURA 1

PCH DE MÉDIA QUEDA, COM TECNOLOGIA NACIONAL

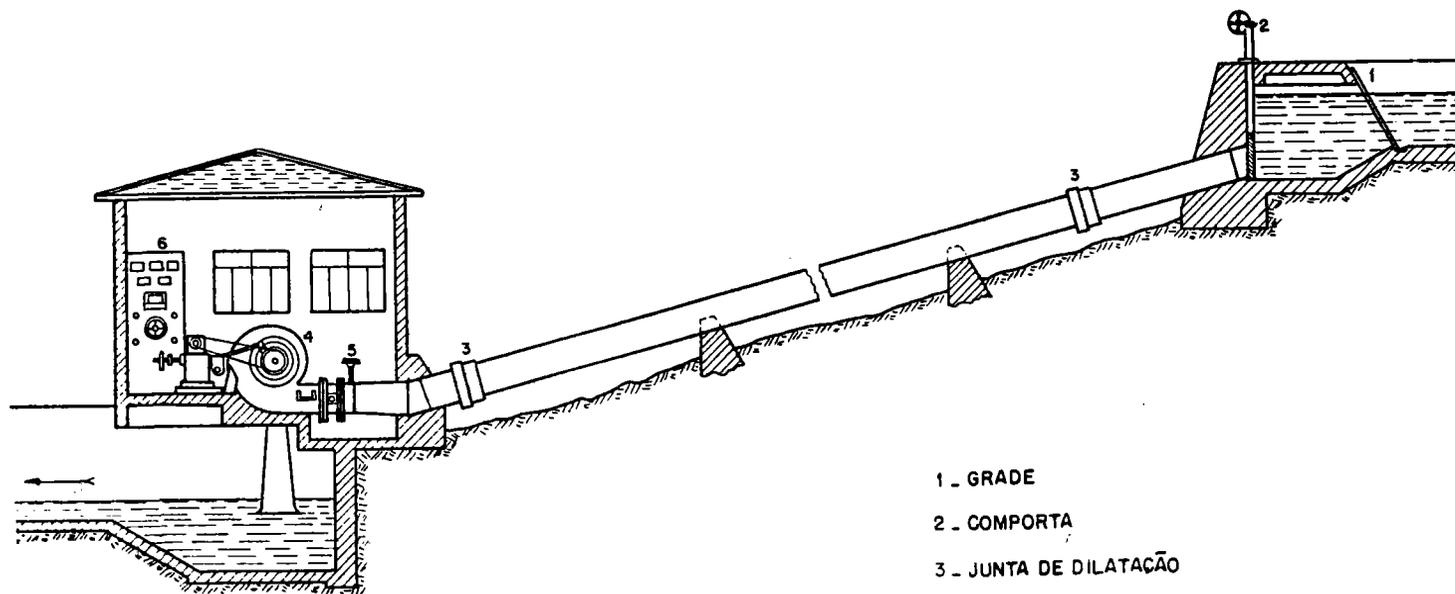
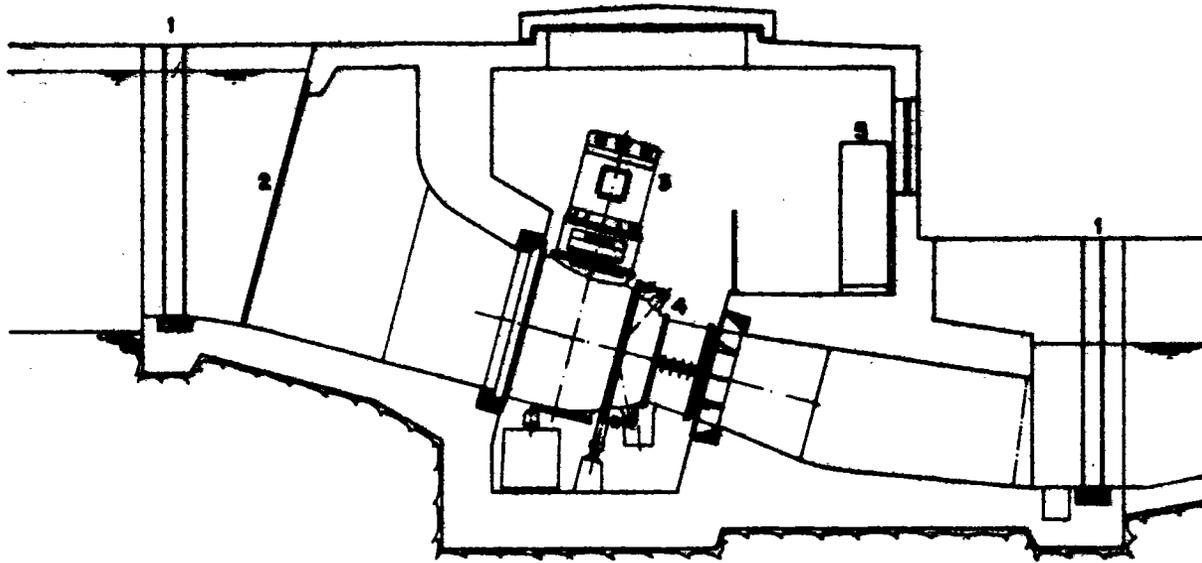


FIGURA 2

PCH DE BAIXA QUEDA, DE SOFISTICADA TECNOLOGIA



- 1 - STOP-LOG
- 2 - GRADE
- 3 - GERADOR E FREIO
- 4 - TURBINA AXIAL COM MULTIPLICADOR DE ÂNGULO
- 5 - QUADRO ELÉTRICO

3. PANORAMA MUNDIAL

As perspectivas mundiais para as PCHs têm se mostrado promissoras. Entretanto, os países que têm se destacado na construção destas são os desenvolvidos ou em desenvolvimento, enquanto aqueles que mais têm carência energética permanecem à margem de mais este benefício. O Quadro 3 mostra um resultado da "World Energy Conference/80" (Bauer, 1981), que deixa clara a atual penúria hidrenergética das regiões não desenvolvidas, que, por ironia, são as que apresentam maior potencial.

QUADRO 2
PANORAMA MUNDIAL COM RELAÇÃO A POTENCIALIDADE E USO
DA HIDRENERGIA (WEC/80) (BAUER, 1980)

	Potencial médio avaliado [10 ³ MW]	Produção atual [10 ³ MW]	porcentagem utilizada
África	437,1	8,154	1,86%
Ásia	648,3	47,118	6,88%
Europa	215,4	103,998	48,28%
URSS	269,0	31,500	11,71%
América do Norte	330,5	90,210	27,29%
América do Sul	288,3	18,773	6,51%
Pacífico Sul	36,5	7,609	20,82%

Vários países têm programas de expansão para as PCHs, mas nenhum é tão arrojado quanto o chinês. Os dados disponíveis são bastante contraditórios, mas, para uma avaliação, cita-se os apresentados, por Jingxi (1984) que diz haver, no final de 1983, 76.000 PCHs na China, com uma potência instalada total de 8.500 MW, gerando 20.000 GWh. Isto representa 23% da hidreenergia gerada e 42% da potência hidráulica instalada nesse país. Mais importante que estes números, são os que mostram a participação das PCHs no suprimento elétrico rural: as PCHs fornecem um terço dos 47.500 GWh de energia e-

létrica, gerada por diferentes meios, consumidos no meio rural. Com relação, ainda, ao meio rural, o governo chinês pretende, até o final deste século, aumentar o número de propriedades eletrificadas de 60% para 90% do total. Para isto está se intensificando ainda mais o programa de expansão das PCHs, pois julga-se que estas têm um potencial aproveitável de 70 GW.

Embora sem a grandeza do programa chinês, os Estados Unidos da América têm um interessante programa neste setor. Um dos principais objetivos deste programa é a motorização de reservatórios já existentes. Sheldon (1979), apresenta um resultado do levantamento feito pelo U.S. Army Corps of Engineers, em 1975, que detectou 49.500 barragens, com mais de 8 metros de altura. Destas, é possível, em primeira avaliação, instalar uma potência de 100 GW, gerando 236.000 GWh por ano. Tal resultado é por demais otimista. Avaliações mais realistas prevêem a economicidade de até 14 GW em PCHs, instaladas em barragens já existentes (Seltz-Petrash, 1980). Este afirma que as PCHs poderão contribuir com 5% ou, até 17% do suprimento de energia elétrica nos Estados Unidos da América tendo boas perspectivas em certas regiões, como a Califórnia e o Noroeste.

A França sempre foi um país com grandes tradições no setor hidrelétrico, como já se mostrou no início deste trabalho. O Quadro 3 apresenta a evolução das PCHs na França, desde 1958 até 1979, destacando-se as do setor privado e as pertencentes à empresa estatal EDF (Goubet, 1981)

QUADRO 3
EVOLUÇÃO DAS PCHs NA FRANÇA (GOUBET, 1981)

	1958		1979	
	Número de PCHs	produção média anual [GWh]	número de PCHs	produção média anual [GWh]
EDF	188	1,6	117	2,85
Setor Privado	959	0,6	861	1,05

Observa-se, neste quadro, uma diminuição do número de centrais, mas um aumento significativo da produção média de cada. Isto é o resultado da modernização executada nessas centrais.

As perspectivas para a França, relativas ao potencial para PCHs, não são das mais promissoras. Entretanto, há um contínuo incentivo a esses empreendimentos, pois eles representam um crédito de energia, o qual refletirá diretamente no custo de operação das centrais térmicas do sistema.

A Áustria também é um país com um razoável número de PCHs já realizadas, e vislumbra a possibilidade de expansão deste parque (Bauer, 1981-a). Fenômeno semelhante ao francês ocorreu nesse país, onde o número de centrais diminuiu, mas houve um aumento significativo na produção média destas, o que, como já se disse, é função da modernização das plantas. A Áustria possuía, em 1981, 1.254 PCHs (com potência inferior a 5.000 kW), somando uma potência instalada de 355,4 MW, com uma produção média anual de 1928,8 GWh. Considerando-se as dimensões do país, é um dos mais significativos exemplos de exploração das pequenas centrais.

Colaborando para formar este panorama mundial sobre as PCHs apresenta-se os exemplos da Suécia e Espanha. No primeiro caso, está em andamento um programa de reconstrução e modernização para centrais de 100 kW até 1.500 kW. As perspectivas levam a um acréscimo de potência de 550 MW, instalados em 1.350 PCHs. Para a Espanha, defrontava-se em 1979 (Domercq, 1979) com uma realidade onde existiam 1.840 PCHs, com potência até 1000 kW, gerando anualmente 498,7 GWh em uma potência instalada de 253,3 MW. Soma-se a este quadro uma potência de 223,9 MW, instalada em PCHs na faixa de 1000 kW a 3.000 kW. Estas geram 725 GWh anualmente.

Para se encerrar este item ter-se-ia que apresentar exemplos de países não desenvolvidos que tenham realizações significativas em PCHs. Infelizmente, com exceção da China, país já apresentado, não se detectou nenhum outro na literatura. O que se encontra, e com bastante facilidade, é a descrição de regiões carentes energeticamente, e onde as PCHs seriam vetores de bem-estar social, com baixo investimento e grande utilização de recursos locais.

Fritz (1984) apresenta o exemplo peruano. Uma grande parte do país e uma significativa população, encontram-se sem eletricidade ou são abastecidos por grupos Diesel. Uma potência de 120 MW, em 2186 PCHs com potências iguais ou inferiores a 350 kW, poderia abastecer uma população de 3.250 mil pessoas, em 2.352 vilarejos das regiões Amazônica e Andina.

Vê-se que com uma capacidade instalada em PCH bastante inferior à da Espanha ou Áustria resolver-se-iam sérios problemas no Peru, país que é várias vezes maior que aqueles dois. Esta é uma realidade comum a quase todos os países da América Latina, África e Ásia. Não se exclui, pois, o Brasil, que tem mais de 50% de seu território sem um sistema integrado de suprimento elétrico. As gerações isoladas existentes são, em geral, com grupos Diesel, e o suprimento de combustível é muito difícil em vários meses do ano. Tal problema surge, curiosamente, pelo excesso de água das chuvas, que é o "combustível" das PCHs. Outro ponto importante sobre a potencialidade das pequenas centrais é o abastecimento à zona rural. Cabe lembrar que apenas 5% das propriedades rurais brasileiras são abastecidas eletricamente [Santos & Nogueira, 1984]. Considerando-se uma potência média de 5 kW por consumidor rural, pode-se estimar em 25 GW a potência necessária para se executar completamente a eletrificação rural no Brasil. Evidentemente, as PCHs não serão os únicos meios de suprir este mercado, mas fica bastante claro que elas podem ter, assim como na China, uma participação significativa.

4. ECONOMICIDADE DAS PCHs

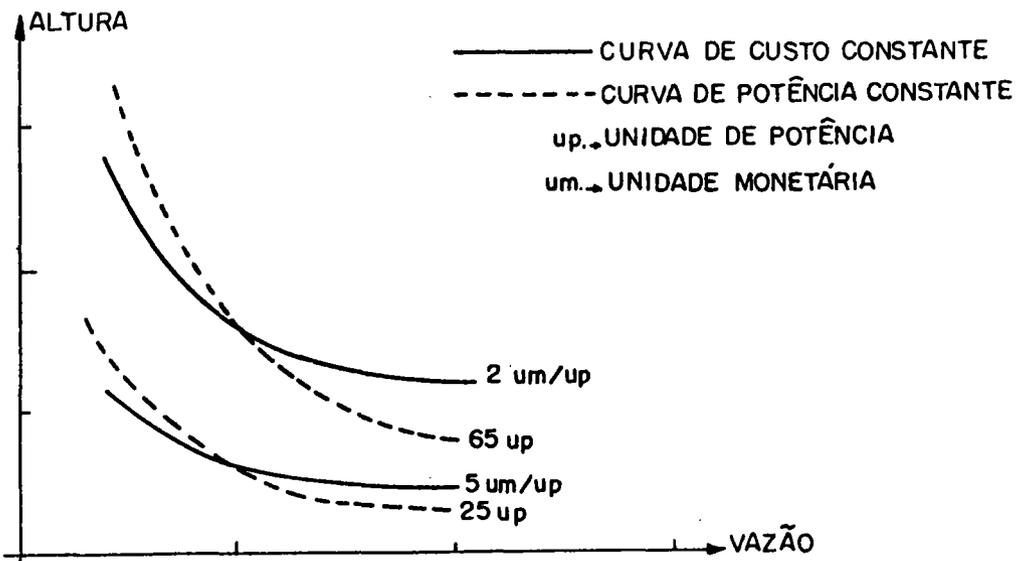
A análise econômica das PCHs leva, muitas vezes, a várias considerações de ordem social, ecológica e macroeconômica. Estes considerandos, na maioria dos casos, atuam no sentido de beneficiar as pequenas centrais, pois estas geram empregos para a mão-de-obra local, usam materiais regionais, não apresentam impactos ecológicos significativos, e podem ser feitas com equipamentos e recursos financeiros nacionais, o que não compromete a balança de pagamentos. Infelizmente, as realizações em PCHs no país detectadas pelo autor, tiveram seu projeto e construção executadas com recursos a preço de mercado. Isto é: não existiram subsídios que refletissem as ponderações feitas anteriormente. A prática dos subsídios é passível de críticas, mas há de se favorecer projetos de interesse do país subsidiando-os ou penalizando-se seus concorrentes. Cita-se

Sheldon (1979), que afirma existir nos Estados Unidos da América um programa com juros abaixo de mercado para incentivar as PCHs. Este afirma, também que os financiamentos para estudos de viabilidade só serão pagos quando for detectada a economicidade do projeto.

O custo das PCHs no mundo é bastante variável. Os fatores que mais o influenciam são o custo do equipamento eletromecânico, o porte das obras civis, distância da central à carga (devido à linha de transmissão) e o custo de pessoal (em países desenvolvidos). Com relação aos equipamentos, já foi afirmado que a indústria nacional não domina a tecnologia das turbinas de baixa queda. Entretanto, mesmo em países que detêm esta técnica há uma tendência de custo crescente à medida que se reduz a altura de queda, a potência constante. A Figura 3 mostra este comportamento típico, exemplificado por algumas curvas.

FIGURA 3

COMPORTAMENTO DOS CUSTOS EM FUNÇÃO DA ALTURA E VAZÃO



Alguns fatores fazem os equipamentos eletromecânicos da mesma potência serem mais caros em baixas quedas. Em primeiro lugar destaca-se a tecnologia mais sofisticada no projeto e fabricação. Em segundo, a maior vazão exige maiores dimensões da turbina. Em terceiro, as turbinas desses aproveitamentos funcionam com baixa rotação real, exigindo geradores com rotação compatível, o que leva a elevado número de pólos ou ao uso de multiplicadores, que são caros. A técnica de multiplicadores em PCHs não é comum no Brasil, ocorrendo apenas nas micro-centrais, através de transmissão de correias. É ponto de vista comum a todos os países interessados em PCH que se necessita reduzir os custos das centrais de baixa queda, tornando viável, assim, um grande potencial. No Brasil isto é particularmente verdade para a região Amazônica.

A respeito do custo de operação, ou, mais especificamente, o gasto com pessoal, dentro da realidade nacional das pequenas concessionárias e da iniciativa privada este é um fator de pouco peso. Entretanto, já passa a ser ponderável quando se estuda PCH para grandes concessionárias. Estas exigem maiores cuidados operativos além de pagarem salários mais elevados. Tal realidade pode tornar essas PCHs viáveis somente se forem automatizadas. Este é, como já se disse, o caso dos países desenvolvidos (Lasu, 1979).

As possíveis condições de funcionamento de uma PCH são mostradas no esquema seguinte:

PCH isolada	}	1 - de auto-produtor
		2 - de concessionária
PCH interligada	}	3 - de auto-produtor
		4 - de concessionária

A viabilidade econômica das PCHs isoladas são das mais promissoras nas regiões remotas. Isto se torna ainda mais verdadeiro quando se pretende substituir sistemas geradores que consomem derivados de petróleo. Para se exemplificar, adotou-se o preço do barril de petróleo como 29\$ (preço de setembro de 84). Supondo um fator de conversão, do petróleo para energia elétrica, de 20%, pode-se fazer o seguinte cálculo médio:

$$\text{custo de energia elétrica} = \frac{29 \text{ \$/barril}}{1665,09 \text{ kWh/barril} \cdot 20\%} = 87 \text{ mills\$/kWh}$$

Para se comparar com uma PCH, far-se-á o cálculo inverso. Isto é: fixando o custo da energia em 87 mills \\$/kWh, e adotando-se um fator de capacidade de 40%, típico de regiões pouco desenvolvidas, calcula-se o custo unitário máximo admissível da central. Adota-se 50 anos como vida útil e uma taxa de interesse de 10% a.a., e despreza-se o custo operacional. Então, pode-se fazer:

$$\text{custo máximo unitário} = \frac{8760 \text{ horas} \cdot 40\% \cdot 87 \text{ mills\$/kWh}}{\text{FRC (50 anos, 10\%)}} = 3021,7 \text{ \$/kW}$$

OBS.: FRC (...) - Fator de Recuperação de Capital

É evidente que tal valor viabiliza uma enormidade de centrais, mesmo as de baixa queda. Entretanto, existem as outras opções de energia renovável. Fritz (1984) apresenta um resumo dos investimentos necessários para se implantar diferentes opções. Uma adaptação deste trabalho é apresentado no Quadro 4, onde também estão alguns valores para a realidade nacional, extraídos da versão preliminar do Manual de Pequenas Centrais Termelétricas (ELETROBRÁS, 1984).

É interessante observar que a realidade mundial não é muito distante da brasileira. Cabe aqui, no entanto, alguns comentários:

- não existe sérias perspectivas de competição entre as PCHs e as Centrais Geotérmicas;
- a Térmica a óleo bem como os motores a Diesel são ineficientes economicamente, pois, estes consomem derivados de petróleo. Isto já foi demonstrado;
- as instalações fotovoltaicas são promissoras, mas dentro de um cenário de longo prazo;
- principalmente em razão da aleatoriedade dos ventos, a energia eólica tem sua utilização aprovada, no meio rural nacional, apenas para o bombeamento d'água;

QUADRO 4
CUSTOS UNITÁRIOS MÉDIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE DIFERENTES
FONTES ENERGÉTICAS

Principal referência Fonte Geradora	custos unitários [U\$/kW]	
	Fritz, 1984	Eletrobrás, 1984
PCH	1296	500 a 2000
Geotérmica	1564	-
Térmica a óleo	863	-
Inst.fotovoltaica	10000 a 20000	10000 a 20000
Eólica < 1 kW	3000 a 6000	
> 5 kW	1000 a 2000	
Térmica a biomassa	1000	1500
Grupos Diesel com Gaseificador	700 a 1500	700
Inst. para etanol	1550	-

- as Pequenas Centrais Termelétricas a biomassa (PCTs) apresentam um custo competitivo na instalação, mas requerem uma boa estrutura de suprimento de biomassa, nem sempre possível em áreas remotas, e que levam a razoáveis custos de operação. Existe ainda o aspecto "vida útil": enquanto a PCT tem em média 20 anos de "vida" para a PCH é usual adotar-se 50. Isto leva a um crédito, para a PCH, próximo a 15% do investimento. Assim, um investimento de 1000 \$/kW é como se fosse 850 \$/kW.
- os grupos Diesel com gaseificadores são, de fato, um importante competidor com as micro-centrais, no abastecimento às propriedades rurais. Entretanto, as considerações anteriores têm, ainda, algum peso;

- o ciclo para a geração de eletricidade, oriunda da energia de biomassa, apresentado por Fritz (1984), que envolve a produção de etanol, não parece ser a melhor rota técnico-econômica. Isto porque ao se utilizar uma tonelada de cana pode-se produzir 391.600 Kcal térmica em álcool e em torno de 110.000 Kcal térmica no bagaço restante, o que soma um valor próximo de 500.000 Kcal. Se, entretanto, utilizar-se todo o bagaço para a geração de eletricidade, via central térmica a vapor pode-se obter 564.250 Kcal térmica. Esta via é mais eficiente energética e economicamente, pois requer-se menores investimentos, como mostra o Quadro 4. Logo, deve-se, a princípio, desconsiderar esta opção.

Conclui-se daí, que as possibilidades econômicas para as PCHs isoladas, se comparadas a outras fontes de energia renovável, são promissoras. Resta avaliar para cada caso a viabilidade técnica que depende, dentre outros, de se ter um potencial adequado próximo ao centro consumidor.

As pequenas centrais, interligadas à rede, não concorrem diretamente com as gerações oriundas dos derivados de petróleo. Nem mesmo concorrem com as gerações de fontes não convencionais. A comparação é entre o custo marginal de expansão do sistema interligado e o custo da PCH. Como as PCHs estão, em geral, ligadas aos sistemas de distribuição, os custos marginais devem ser aqueles que considerem a expansão até esse nível, o que inclui geração, transmissão e sub-transmissão, com as respectivas subestações. É evidente, como já se disse, que este custo marginal é monotonamente crescente, dentro de um panorama de 20 a 30 anos, pois a expansão é resultado de uma escolha ótima, onde as opções mais econômicas são construídas primeiro. Assim, se a central é atrativa hoje, certamente será ainda mais amanhã.

Tendo em vista o exposto, uma PCH que apresente o mesmo custo unitário (\$/kW) que o projeto selecionado para entrar no sistema, e para ambos estejam previstos o mesmo fator de capacidade, esta pequena central será econômica, pois terá um custo da energia (mills\$/kWh) igual ao da grande central, tendo a vantagem de adiar novos investimentos nos sistemas de transmissão e sub-transmissão.

Um outro ponto que favorece a economicidade das PCHs interligadas é a possibilidade de operarem com alto fator de capacidade FCap. Isto porque as pequenas centrais são, em geral, a fio d'água e, estando interligadas, podem gerar toda a energia disponível. Assim, é comum encontrar FCap maiores que 70%, atingindo, mesmo, valores superiores a 90%. Para se ter uma idéia desta vantagem, uma PCH com FCap de 80%, tendo custado 1600 \$/kW, apresenta o mesmo custo de energia de uma grande central com FCap de 50%, que tenha custado 1000 \$/kW.

A viabilidade econômica de uma PCH pertencente à concessionária, interligada ao grande sistema, pode ficar mascarada quando se usa o critério de taxa de retorno. Isto porque se deve, neste processo, calcular a receita, que depende diretamente da tarifa. Esta, por sua vez, se for baseada no custo histórico, e não no marginal, não revela o custo para a expansão do sistema. Tem-se, pois, que fazer projeções para esta tarifa de maneira a englobar o seu crescimento histórico. Mesmo quando a tarifa, for baseada no custo marginal há o perigo desta não ser igual ao valor real, podendo ter subsídio. Isto é fato nas análises para PCHs que abastecem mercados predominantemente residenciais e rurais.

Muitos outros pontos de vista sobre a análise econômica das PCHs poderiam ser apresentados aqui, mas evidentemente, foge ao escopo deste trabalho.

5. PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS

A situação tecnológica das PCHs, atualmente, é bastante interessante: se por um lado usa-se dos mais modernos meios para projetar e construir máquinas eficientes e duráveis, do outro lado existem muitos fabricantes que ainda utilizam tecnologias da primeira metade do século, garantindo, todavia, máquinas robustas e com eficiências razoáveis. No primeiro grupo estão muitos países desenvolvidos. No segundo grupo estão alguns países em desenvolvimento, como o Brasil e a China.

Um levantamento preliminar da capacitação tecnológica mundial permitiu a construção de um mapa mundi, apresentado na Figura 4, no qual se indica as regiões que detêm alta tecnologia em projeto e fabricação de equipamentos para PCHs, ou na construção destas centrais, e regiões que estão no estágio intermediário, descrito anteriormente.

FIGURA 4

SITUAÇÃO DA TECNOLOGIA EM PCH NO MUNDO



As regiões não marcadas não implicam uma ausência desta tecnologia. Bem ao contrário, sabe-se que países como a República Democrática Alemã, têm grande capacitação no setor, mas não se localizou literatura que desse maiores informações. No entanto a América Central e África, bem como o restante da Ásia e América do Sul, encontram-se em grande penúria tecnológica neste setor. São exatamente estas regiões que menos aproveitam suas potencialidades hidrelétricas. Isto já foi mostrado no Quadro 2. Parece lógico um relacionamento internacional, onde os países com tecnologia intermediária dessem assistência aos menos capacitados. Isto porque estes têm equipamentos e engenharia de baixo custo que podem satisfazer àqueles países, além de se fortalecer o relacionamento comercial entre eles, descentralizando os núcleos tradicionais.

Os países desenvolvidos têm-se concentrado em pesquisas nesta área que podem, a princípio, parecer sofisticação desnecessária à outra parte do mundo. Isto não é a realidade. Vê-se os exemplos das turbinas axiais para quedas muito baixas: e las são de suma importância para o desenvolvimento intensivo das PCHs na Amazônia. Também os sistemas de automação trazem vantagens aos países em desenvolvimento. Como exemplo, cita-se a China, onde verificou-se que a automatização de certas PCHs poderiam diminuir, sensivelmente o número de desligamentos por má operação, por parte do pessoal da central. Não quer se dizer com isto que todas as PCHs devem ser automatizadas. Resumindo, julga-se necessário melhorar o padrão da tecnologia hoje existente nos países em desenvolvimento, e, paralelamente, desenvolver pesquisas avançadas sobre PCHs.

Muitos são os temas, relacionados às PCHs que estão sendo estudados em todo o mundo. Relaciona-se, a seguir, alguns, comentando algumas características interessantes para a realidade nacional:

- turbina Michell-Banki, ou de fluxo transversal, é de grande interesse para o meio rural, devido a sua facilidade construtiva e características de rendimento e operação. Ressalta-se, no entanto, que existem dúvidas quanto à confiabilidade dos resultados apresentados pela Ossberger, tradicional fabricante desta turbina;
- regulador de carga para funcionamento em sistemas isolados, substituindo o convencional regulador de velocidade. Seu uso para micro-centrais em países desenvolvidos já está aprovado. Resta verificar seu funcionamento em regiões remotas, sem equipe de manutenção capaz.

Também a sua utilização para PCHs de maior porte ser promissora, principalmente para grupos de baixa queda;

- geradores assíncronos para funcionamento isolado. Bona dé (1984) diz que a Leroy -Sommer já fabrica, com bons resultados, este sistema até 50 kW, para funcionamento com regulador de carga. Os geradores assíncronos funcionando interligados já é prática comum nos países desenvolvidos. Entretanto, não é a realidade no Brasil e em países do mesmo nível tecnológico;
- turbina de fluxo axial para queda muito baixa, como a tubular e a bulbo, são equipamentos já em uso corrente nos países desenvolvidos. Como já se disse, tem-se que desenvolver esta tecnologia para viabilizar PCHs na Amazônia e outras regiões;
- automatização de PCHs, nos seus sentidos vários, é necessário para diminuir custos de operação e maximizar a geração. Tem-se que desenvolver reguladores eletrônicos de velocidade, nível, fator de potência, dentre outros, além de sistemas de aquisição de dados. A China já produz grupos geradores totalmente automatizados, utilizando-se inclusive micro-processadores;
- "software" para projetar e analisar viabilidade, em diferentes níveis, de PCHs, diminuindo o custo dos estudos e otimizando-os. Os Estados Unidos da América possuem um grande desenvolvimento nesta área, embora os objetivos e a realidade sejam outros. O Brasil já começou a se desenvolver neste setor.

Muitas outras áreas, relacionadas às PCHs, exigem pesquisas como a hidráulica, hidrologia, planejamento, ecologia, etc. Entretanto, ressaltou-se alguns tópicos que parecem ser de interesse imediato para o Brasil.

6. ASPECTOS INSTITUCIONAIS

Um entrave ao desenvolvimento das PCHs no Brasil, bem como em outros países, é o aspecto institucional. Muito tem que ser feito para facilitar a obtenção de licenças e financiamentos. Em 1978 os Estados Unidos da América, através do "Public Utility Regulation Policy Act (PURPA)", regulamentaram as facilidades financeiras e legais para incentivar as PCHs. No Brasil, através do "Programa Nacional para Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH)", do Ministério das Minas e Energia (M.M.E.),

de 1984, começou-se a caminhar neste sentido. Assim, o decreto-lei nº 1.872, de 21 de maio de 1981" dispõe sobre a aquisição, pelos concessionários, de energia elétrica excedente gerada por auto-produtores, e dá outras providências".

Esse decreto foi um grande passo para incentivar a iniciativa privada a co-gerar energia, mas falta, ainda, encontrar receptividade por parte das empresas. Um passo futuro, mais audacioso, será assemelhar a atual legislação à francesa que obriga à compra do excedente de energia das PCHs, de auto-produtores, por parte das concessionárias (Goubet, 1981). Esse tipo de legislação já é encontrada em vários países além da França, como a Escócia e alguns Estados americanos.

É evidente que à primeira vista isto poderia "anarquizar" os sistemas de distribuição, mas através de instrumentos eficientes, como a tarifa, isto parece não ocorrer no sistema francês.

O decreto-lei 1.872 diz ainda que em caso de risco real, ou iminente, de déficit de energia, o excedente energético do auto-produtor pode ser compulsoriamente adquirido. Sem dúvida, esta parte do decreto pode ser sumamente interessante para garantir condições precárias de fornecimento a localidades "tenuemente" interligadas.

Com relação às tarifas, o modelo francês é muito interessante (Goubet, 1981), pois o mesmo baseia-se na tarifa marginal, que está sendo implantada no Brasil, além de "premiar" PCHs com reservatórios. É evidente que a tarifa deve remunerar o auto-produtor, mas também ser atrativa para a concessionária, pagando-lhe o transporte e administração da energia. Também deve ser menor que o custo marginal da expansão de seu parque gerador, pois se não, não será competitiva a compra do excedente de energia da PCH.

Além dos aspectos apresentados acima, muitos outros são relevantes, destacando-se o ecológico. É de suma importância que a legislação proteja o meio ambiente, em todos os seus amplos aspectos. Cuinat & Rousset (1981) citam alguns aspectos da legislação francesa, que salvaguardam certas regiões. Destacam-se: arquitetura da casa de máquinas compatível com a da região; a tubulação, no total ou em parte, deve ficar enterrada; limitações na criação de estradas; recomposição das minas; cuidados paisagísticos durante a construção. Nos Estados Unidos da América é comum encontrar-se reservatórios também a jusante da central, que têm por objetivo regularizar a vazão, variável em função da operação. Esta exigência não tem fundamento dentro do cenário brasileiro atual, mas não se descarta sua importância futura.

7. CONCLUSÕES

Mostrou-se, no decorrer do trabalho, as perspectivas atuais e futuras para as PCHs. Mais do que a potência elétrica que elas podem somar, estas centrais têm um caráter disseminador, pois interiorizam o progresso com baixo investimento, e atingindo grandes áreas. Este é o caso do Brasil, Peru e vários outros países em desenvolvimento. Muitos destes vivem uma penúria energética e tecnológica, embora tenham grandes recursos hídricos. Por outro lado, várias nações menos desenvolvidas, como Brasil e China, têm uma tecnologia razoável em PCHs. Cabe, no ponto de vista do autor, a esses países estender estas técnicas aos outros países menos favorecidos. Órgãos internacionais, como a OLADE, UNIDO e UNESCO, são de fundamental importância para que tal objetivo seja atingido. Ressalta-se, contudo, que não se pretende um bloco hermetico dos países em desenvolvimento. O intercâmbio com países desenvolvidos é de fundamental importância para se evoluir a tecnologia intermediária à avançada.

Também a legislação nacional não apresenta os avanços dos países desenvolvidos. A iniciativa privada pode ter uma boa participação na expansão do parque de PCHs se a legislação facilitar a venda da energia à concessionária, ou mesmo a consumidores particulares. A experiência da exploração cooperativa de PCHs parece ser uma alternativa para viabilizar financeiramente aproveitamentos rurais.

Toda a exploração das PCHs deve considerar que o mais importante não é a eficiência econômica destas, mas o seu valor social. Dentro deste enfoque há de se respeitar o meio ambiente onde implantar a central. Cabe, finalmente, lembrar que nenhuma outra instalação geradora de energia elétrica é tão eficiente quanto as PCHs, e sua instalação apresenta reduzido impacto ambiental.

8. BIBLIOGRAFIA

BAUER, L., "Electrical energy from hydropower plants: global analysis", Symposium on project, design and installation of small hydropower plants, 1-10, UNIDO/Governo Austríaco, Áustria, 1981.

- BAUER, L., "Hydroelectrical energy: facts and figures for Austria", Symposium on project, design and installation of small hydropower plants, 11-19, UNIDO/Governo Austríaco, Austria, 1981 (a).
- BONADÉ, A., "Microcentrales hidroeléctricas". Techniques de l'ingénieur, D500 (12 pag), D501 (14 pag), França, 1984.
- CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz, Energia e Desenvolvimento, Campinas, Brasil, 1982.
- CUINAT; R. & ROUSSEL; P., "Environnement et petites usines hydroélectriques", La houille blanche, Nº 4/5, 243-247, França, 1981.
- DIMOUND; A., "Small hydro offers utilities big benefits", Public Power, 43-46, Estados Unidos da América, nov/dez. 1978.
- DIRIGENTE CONSTRUTOR, "Chegou a vez das pequenas usinas", 10-18, São Paulo, Brasil, setembro, 1984.
- DOMERCQ, J., "Le développement du potentiel Hydroélectrique en Espagne: son présent et son avenir; Le rôle attribuable aux petites installations hydroélectriques", Hydroelectric prospects in the new energy situation, 81-89, ONU/Perгамon Press, Grécia, 1979.
- ELETROBRÁS, Manual de Pequenas Centrais Termelétricas (versão preliminar), Rio de Janeiro, Brasil, 1984.
- ELETROBRÁS & DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Rio de Janeiro, Brasil,, 1982.
- ÉTIENNE, J. & CHADENSON, P., "Les minigroupes hydroélectriques", La houille blanche, Nº 4/5, 269-274, França, 1981.
- FRITZ, J.J., Small and mini hydropower systems, Mc Graw Hill Book Company, Estados Unidos da América, 1984.
- GOUBET, A., "Les petites centrales hydroélectriques dans les pays industrialisés, La houille blanche, Nº 4/5, 229-235, França, 1981.

- Hydro Québec. Projet Lac Robertson - rapport de justification, Montreal, Canadá, 1983.
- JINGXI; F., "Small hydropower and rural grids in China", Asia Pacific Regional Centre of SHP, Hangzhou, China, 1984.
- LASU, S., "Small - water power stations in Sweden", Hydroelectric prospects in the new energy situation, 97-102, ONU/Pergamon Press, Grécia, 1979.
- Le Monde, "L'avenir est aux microcentrales électriques", pag. 18, 25-dez, terça-feira, Paris, França, 1984,
- LIN, B., "Small-sized hydroelectric resources and its utilization planning", Ministry of Hydropower, China, 1982.
- PETIT, C., "Microcentrales hydroélectriques d'une puissance inférieure à 100 kW" La houille blanche, Nº 4/5, 249-257, França, 1981.
- RABAND, J. & PICOLLIER, G., "Les groupes pour petites centrales de production de (1.000 à 8.000 kW)", La houille blanche, Nº 4/5, 275-282, França, 1981.
- SANTOS, A.H.M., Usina do Candengo - CVI (Relatório Técnico-Econômico), Escola Federal de Engenharia de Itajubá, março, 1984.
- SANTOS, A.H.M. & COSTA, J.M.M., "Alguns efeitos das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) interligadas aos sistemas de distribuição", IX Seminário de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI, COELBA, Salvador, Bahia, 1984.
- SANTOS, A.H.M. & NOGUEIRA, L.A.H., "Pequenas Centrais Hidrelétricas: sua capacitação na produção de alimentos e seu componente ecológico", Seminário Internacional sobre energia, alimentos e ecossistemas, UnB, Brasília, setembro, 1984.
- SELTZ-PETRASH, A., "The new energy boom: small-scale Hydropower" Civil Engineering, 66-71, American Society, of Civil Engineers (ASCE), Estados Unidos da América, abril, 1980.
- SHELDON, G.H., "Small-scale hydropower development, a viable energy resource", Hydroelectric Prospects in the new energy situation, 149-153, ONU/Pergamon Press, Grécia, 1979.

SMITH, N., "The origins of the water turbines", Scientific American vol. 242, Nº 1, Estados Unidos da América, 1980.

SOUZA, Z. et alli, "Estudo hidrenergético para pequenas centrais hidrelétricas", Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, Nº 3, vol. IX, 108-122, Brasil, 1983.

WEBER, G., "Les forces hydrauliques suisses non encore utilisées", Hydroelectric prospects in the new energy situation, 105-117, ONU/Pergamon Press, Grécia, 1979,

* * *

A GERAÇÃO ELÉTRICA A MADEIRA

James Bolívar Luna de Azevedo ()*

(*) *Mestre em Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Rio de Janeiro. UFRJ/COPPE.*

(**) *Engenheiro Departamento de Recursos Energéticos, Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS.*

ÍNDICE

Resumo	83
1. Introdução	84
2. Estado-da-Arte do Tema no Brasil	87
2.1 Uso da Madeira como Combustível.	87
2.2 Unidades de Geração	92
2.3 Formação e Exploração de Florestas	95
3. Desenvolvimento Recente no Exterior.	107
4. Conclusão	115
5. Referências Bibliográficas	119

* * *

RESUMO

Inicialmente, são feitas considerações sobre a produção de biomassa florestal no país e sobre as possibilidades de sua utilização como combustível para geração de energia elétrica. É feita uma descrição do estágio atual, no Brasil, da utilização da madeira como combustível, das tecnologias de geração e da formação e exploração da floresta. São descritas duas tecnologias de aproveitamento da madeira para produção de energia elétrica que se encontram em desenvolvimento na França e Itália.

* * *

1. INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo fazer um relato sucinto de alguns resultados obtidos nos estudos realizados no DEEN/DVER sobre as possibilidades da geração elétrica a madeira, inclusive do estágio técnico realizado pelo autor na França e Itália através do projeto FINEP-PNUD-UNESCO- Capacitação para o Processo de Tomada de Decisão Científico e Tecnológico na área de Energia realizado em novembro e dezembro de 1986, com a finalidade de divulgação através da Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP.

Dentro do planejamento do setor elétrico brasileiro uma das possíveis fontes para geração de energia elétrica, que se encontra em estudo, é a madeira. Mesmo considerando-se o seu baixo poder calorífico, se comparado com o de outros energéticos, tornando-se então necessário grandes volumes; a sua baixa produtividade exigindo grandes áreas para a sua produção; o seu estado físico sólido, exigindo manuseio e processamento para ser usada adequadamente, certos fatos fazem com que atualmente seja interessante o aprofundamento dos estudos neste sentido, como por exemplo:

- O extenso espaço territorial brasileiro dispõe de grandes áreas de terra inaptas para a agricultura mas passíveis de serem reflorestadas, inclusive havendo algumas em estado de calcinação e desertificação pela perda progressiva da sua cobertura florestal primitiva.
- O desenvolvimento já atingido no Brasil, quanto à obtenção de espécies florestais aptas às condições bioclimáticas e quanto ao trato e exploração florestal que aliadas à insolação e regime pluviométrico do país fazem com que já se tenha atingido produtividades quatro a cinco vezes superiores àquelas de países de clima temperado.
- A possibilidade de utilização de novas tecnologias de transformação da energia química da madeira em energia elétrica das quais se obtém um rendimento energético maior que os das tecnologias atuais.

- A existência de grande quantidade de biomassa florestal disponível pela expansão da fronteira agrícola e pela implantação de projetos minerais e energéticos na região norte.

Do estágio atual de desenvolvimento dos estudos, quatro possibilidades de utilização da madeira como combustível para geração de energia elétrica mostraram-se potencialmente aptas a serem viáveis técnica e economicamente, sendo no entanto, imprescindível a continuação dos estudos tanto do ponto de vista técnico como econômico. Estas possibilidades são: [1, 2, 3].

- A geração elétrica nos sistemas eletricamente isolados que alimentam as pequenas cidades da região norte, consumindo óleo diesel. Estes sistemas poderiam gerar através de pequenas centrais térmicas - PCT's, constituídas de grupos gasogênios/motor/gerador ou unidades a caldeira/turbina a vapor/gerador e abrangeriam uma faixa de potência de 300 a 10.000 KW. No início da geração seria aproveitada a madeira nativa diretamente da floresta ou do desmatamento de projetos agrícolas, pastoris, ou minerais, sendo no entanto providenciados reflorestamentos para, num segundo estágio, alimentarem as unidades de geração.
- A geração elétrica nas áreas dos reservatórios de usinas hidrelétricas UHE's, através de usinas termelétricas - UTE's, constituídas de unidades caldeira/turbina a vapor/gerador ou gaseificador/turbina a gás/caldeira/gerador (ciclo combinado), abrangendo uma faixa de potência de 25 a 100 MW. Estas unidades, entrando em operação no devido tempo de antecedência ao enchimento dos reservatórios, teria o benefício adicional de contribuir para o aproveitamento racional dos recursos florestais das áreas dos reservatórios que necessitam ser desmatadas por questões ecológicas e operacionais da usina hídrica.
- A geração elétrica em regiões onde já se torna previsível o esgotamento do potencial hídrico, como é feito na região Nordeste. Neste caso as UTE's e respectivas faixas de potências seriam semelhantes às do caso anterior. A madeira a ser consumida como combustível seria obtida de florestas plantadas que teriam ainda a vantagem de contribuir socialmente, demandando um grande volume de mão-de-obra, e ambientalmente melhorando condições climáticas locais.

- A geração elétrica como subproduto da atividade de obtenção de carvão vegetal em pólos de ferro-gusa que hoje se instalam na região Nordeste fruto do desenvolvimento do projeto Grande Carajás. As unidades de geração poderiam operar integradas às instalações de carvoejamento contínuo de porte industrial, aproveitando os produtos pirolíticos efluentes do processo de carvoejamento, podendo ter potência variando numa faixa de 250 a 5.000 kW.

Historicamente, a geração elétrica a madeira teve um papel importante no suprimento energético da região sudeste através de usinas pouco eficientes energeticamente, que eram de propriedade da CAEEB e que provocaram um desmatamento muito grande, contribuindo significativamente para o quadro de devastação de florestas nativas existente nesta região. Infelizmente, não existem informações suficientes sobre a operação destas usinas que possam quantificar exatamente o seu impacto no meio ambiente. A última usina deste tipo a operar foi a térmica que funcionou até a década de 60 em Teresina e que, consumindo ± 8 kg ($\pm 6,0\%$ de rendimento energético global) de madeira por kWh, devastou uma área de dezenas de milhares de hectares, sendo responsável pelo desaparecimento de inúmeras espécies florestais nativas produtoras de frutas silvestres que faziam parte do regime alimentar das populações locais.

Atualmente existem dezenas de usinas a madeira operando nas regiões Norte e Centro-Oeste, de propriedade privada e estatal, todas elas dentro da faixa de 300 a 10.000 kW de potência. Dentre estas, temos desde as usinas chamadas locomóvel, de potência da ordem de 500 kW, que são extremamente ineficientes consumindo cerca de 7 kg/kWh ($\pm 7,0\%$ de rendimento energético global) e que são mais utilizadas por empresas privadas como serrarias e mineradoras.

Dentro do setor elétrico existem várias PCT's já instaladas sendo que algumas pararam por problemas operacionais, como a usina do Careiro 65 kW, nas proximidades de Manaus, e por problema de suprimento de combustível como a de Brasiléia 1.500 kW, no território do Acre. Atualmente está em construção uma PCT, a de Manacapuru, de potência mais elevada, 2x 6000 kW.

Quanto à UTE's temos no país a usina do projeto Jari de 55 MW que funciona há vários anos consumindo madeira de floresta nativa que está sendo cortada para dar lugar aos reflorestamentos. No setor elétrico está sendo construída a UTE de Balbina de 50 MW, que inicialmente foi prevista para utilizar a madeira do reservatório da UHE de Balbina, próximo a Manaus. No entanto, isto não será possível, dado que, por razões financeiras, houve atraso na sua construção e a sua entrada em operação coincidirá com o enchimento do reservatório. Desta forma, considerando-se que a usina não mais consumirá madeira do reservatório, que o seu funcionamento obrigaria o desmatamento de uma grande área próxima ao reservatório e que sua energia seria mais cara que aquela gerada por derivados pesados de petróleo, estuda-se a possibilidade da sua adaptação de modo a vir consumir estes derivados de petróleo. Em se confirmando esta possibilidade, a UTE será instalada nas proximidades de Manaus.

2. ESTADO-DA-ARTE DO TEMA NO BRASIL

2.1 Uso da Madeira como Combustível [1, 2]

A madeira pode ser utilizada como combustível de uma forma direta, através de sua combustão ou através de subprodutos derivados da sua decomposição obtidos pelos processos de pirólise, gaseificação e hidrólise.

Atualmente existem experiências de operação e também projetos de unidades com o objetivo de gerar energia elétrica através da combustão direta da madeira e através da queima do subproduto gasoso proveniente da gaseificação do subproduto carvão vegetal.

No processo de combustão, os elementos presentes na madeira reagem com o oxigênio, liberando calor. A energia calorífica pode ser transformada em energia elétrica, de acordo como mostra a Figura 2.1.

No processo de gaseificação, a madeira é total ou parcialmente transformada em gases cujos principais componentes são monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, e, dependendo das condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água, em diferentes proporções. O poder calorífico do gás resultante pode ser transformado em energia elétrica, de acordo como mostra a Figura 2.2.

FIGURA 2.1.

ETAPAS DE TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA QUÍMICA DA MADEIRA EM ENERGIA ELÉTRICA
UTILIZANDO-SE A QUEIMA DIRETA

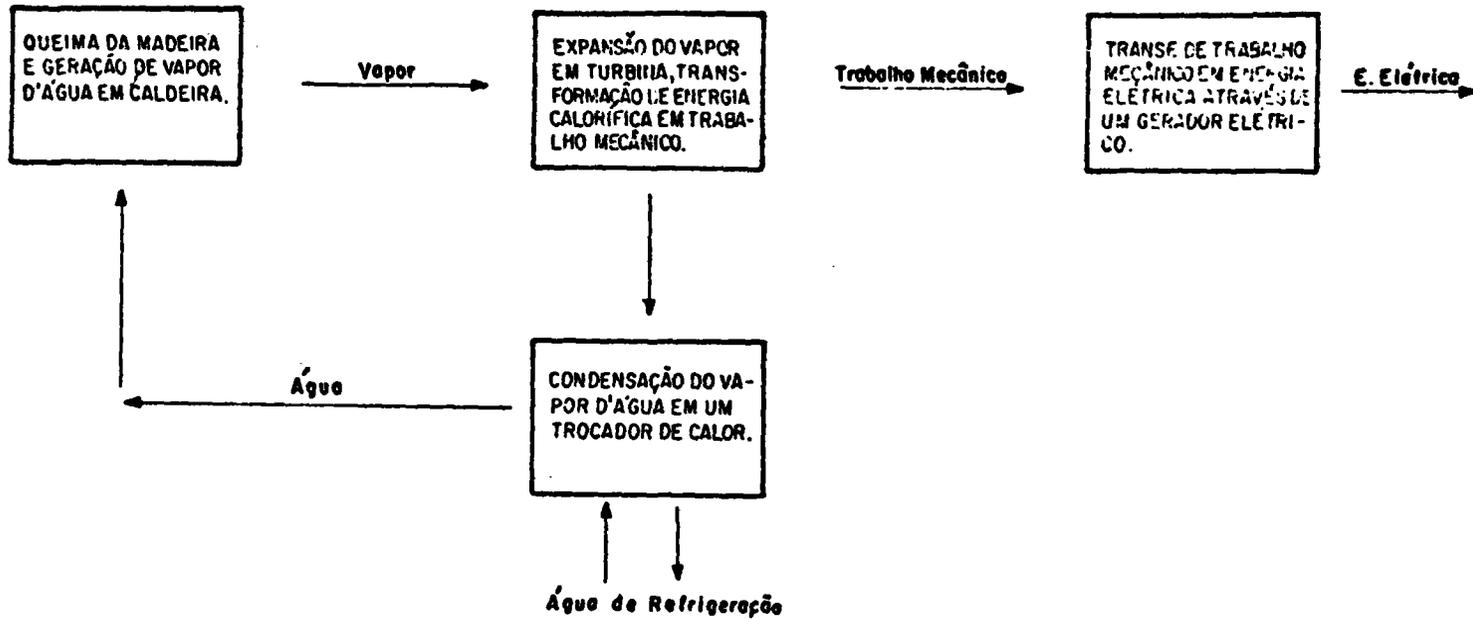


FIGURA 2.2.
ETAPAS DE TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA QUÍMICA DA MADEIRA EM ENERGIA ELÉTRICA
UTILIZANDO-SE A QUEIMA DE UM PRODUTO DERIVADO



A utilização de combustão direta ou da queima do gás são aplicáveis a determinadas faixas de potências que se queira gerar em função de condições econômicas, técnicas e de fornecimento comercial dos equipamentos envolvidos. O Manual de Pequenas Centrais Termelétricas considera que o sistema térmico constituído de Gasogênio/Motor Gerador, no qual é obtido e queimado o gás do carvão vegetal, é apropriado para geração de energia elétrica para potências unitárias até 500 kW. Acima deste valor o sistema térmico constituído do conjunto Caldeira/Turbina a Vapor/Gerador, no qual pode ser obtida e aproveitada a queima de madeira, é julgado o mais apropriado.

Dentro do sistema elétrico brasileiro, estes dois sistemas térmicos podem vir a ser utilizados nas denominadas pequenas centrais térmicas PCT's, que poderão gerar eletricidade nos sistemas eletricamente isolados das regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste, cuja faixa de potência se encontra hoje entre 300 a 10.000 KW, nos quais existe a matéria-prima e uma geração elétrica atual que utiliza óleo diesel.

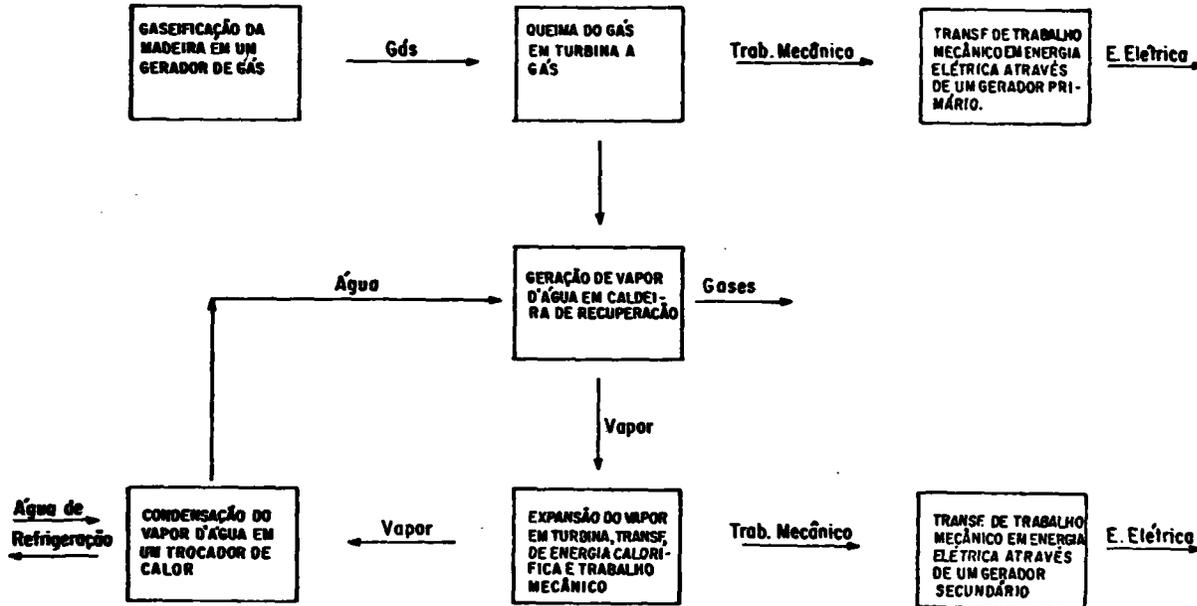
O sistema térmico caldeira/turbina a vapor/gerador também pode ser empregado em usinas nas faixas de potência de 20.000 a 100.000 kW. Também para esta faixa de potência pode ser empregado o sistema constituído de gaseificador/turbina a gás/caldeira/gerador através do qual a energia da madeira pode ser transformada em energia elétrica, como mostra a figura 2.3.

Quanto ao sistema térmico caldeira a gás/turbina/gerador, que aproveitará os efluentes do processo de carbonização, não há no país nenhuma unidade de geração ou projeto.

As PCT's consideradas utilizam lenha como combustível. A lenha são pedaços de madeira medindo entre 1 a 2m de comprimento e 20 a 25 cm de diâmetro máximo da seção reta. A UTE utiliza cavaco de madeira, sendo estes, pequenos pedaços de madeira de dimensões da ordem de 4 cm x 3 cm x 1,5cm. A utilização de cavacos melhora o rendimento da queima, fazendo com que diminua o consumo específico da usina, medido em kg/kWh. No entanto, o processamento da madeira para a obtenção do cavaco tem um custo associado, o qual para as PCT's, é relativamente alto, podendo não compensar a sua utilização, visando a economia de combustível. O Manual de Pequenas Centrais Termelétricas, considera que acima de 1.800 kW de potência, a PCT já comporta a utilização de cavacos. Para as usinas dentro da

FIGURA 2.3

ETAPAS DA TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA QUÍMICA DA MADEIRA EM ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO-SE UM PRODUTO DERIVADO E CICLO COMBINADO



faixa de potência de 20.000 a 100.000 kW, como o consumo de combustível é alto e o custo de uma instalação de processamento não cresce proporcionalmente à quantidade de combustível processado, compensa a sua utilização. Usinas deste porte podem vir a usar madeira pulverizada como combustível, neste caso melhora-se mais o consumo específico da unidade, [1, 2, 4].

2.2 Unidades de Geração

Dos sistemas gasogênio/motor/gerador, caldeira/turbina a vapor/gerador e gaseificador/turbina a gás/caldeira/gerador, já existem fabricados e operando no Brasil o primeiro e o segundo sendo que este último até a faixa de potência de 10.000 kW. Para a faixa de potência de 20.000 a 100.000 kW existe em operação a usina termelétrica do projeto Jari de 55.000 kW, mas que foi construída e montada no Japão e atualmente encontra-se em fabricação a usina de Balbina (2 x 25.000 kW), sendo que turbina e gerador serão importados do Japão por força do contrato de financiamento. Para o último sistema há apenas estudos que atualmente encontram-se em andamento na Companhia Hidrelétrica do São Francisco - CHESF, portanto não serão apresentadas as suas características técnicas.

2.2.1 Gasogênio/Motor/Gerador - GMG

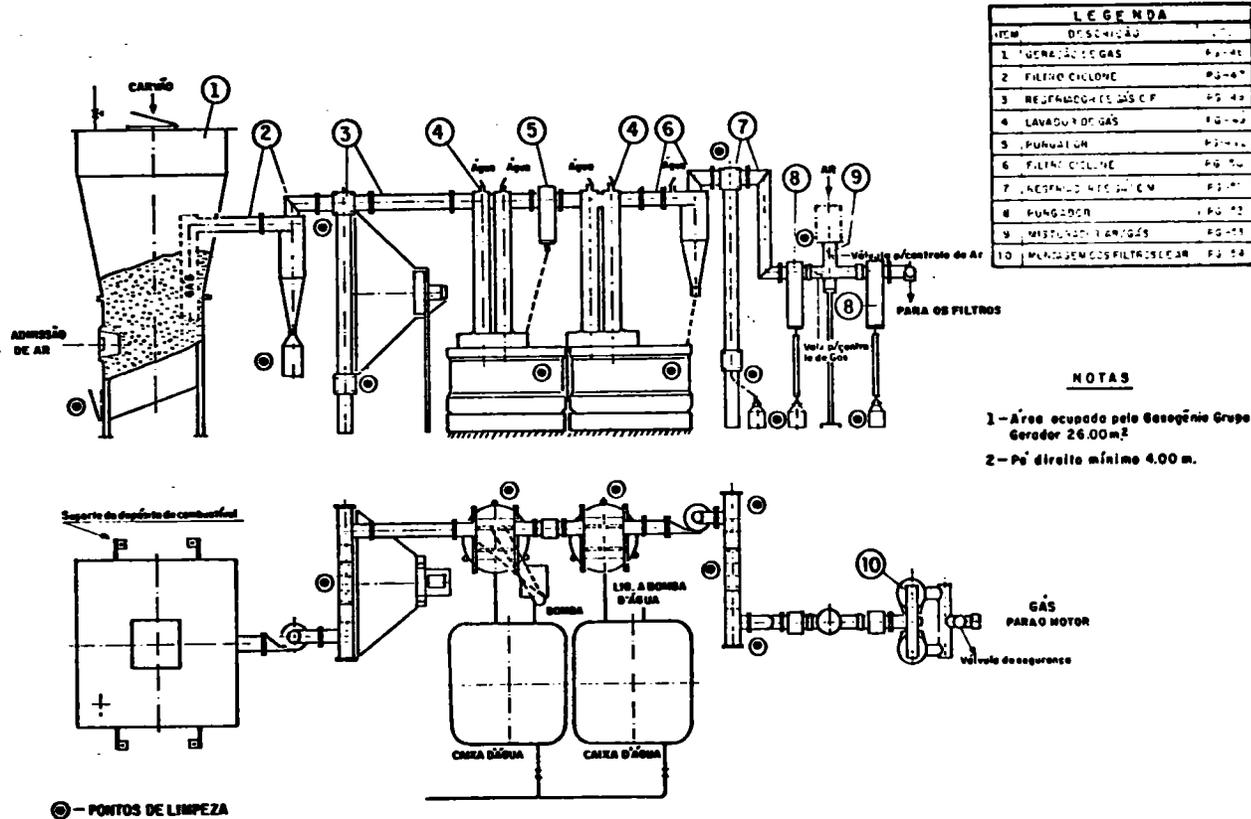
O sistema grupo gerador gasogênio a carvão vegetal 135/150 kVA desenvolvido através do convênio ELETROBRÁS/FINEP e projetado, construído e operado na Área de Desenvolvimento Tecnológico da Superintendência de Oficinas da Light - Rio, servirá de referência para o sistema térmico gasogênio/motor gerador a ser considerado neste trabalho.

A Figura 2.4 mostra detalhes do gasogênio de 350.000 kcal/h destinado à alimentação do grupo gerador na faixa de 135 a 150 kVA e acionados por motor a combustão interna ciclo diesel, enquanto os dados técnicos são mostrados no quadro 2.1.

Este sistema gasogênio/motor/gerador consome, além do carvão vegetal, óleo diesel na proporção de 15% a 20% da quantidade de óleo que o motor consumiria operando sem o gasogênio. Observa-se com isto uma perda da capacidade de geração da ordem de 20%. O carvão vegetal a ser consumido deve ter as seguintes características:

FIGURA 2.4

PROJETO GASOGÊNIO 135 kVA - CONJUNTO GERAL



QUADRO 2.1

DADOS TÉCNICOS GMG

	Itens	Modelo 135 kVA
Gasogênio	Tipo	Fluxo cruzado
	Produção (kcal/h)	350.000
	Gás PCI (kcal/Nm ³)	1.150
	Temperatura na entrada do motor (°C)	3° acima da temperatura ambiente
	Pressão na entrada do motor (mm de coluna d'água)	300 a 600
Motor	Tipo	D-2.32 V8 MWM
	Potência (CV)	178
	Aspiração	Natural
	Nº de cilindros	8
	Consumo específico de óleo lubrificante (g/cv.h)	1 a 1,5
Gerador	Tipo	GAST-Excitação estática-TOSHIBA
	Potência (kVA)	135 trifásico
	Tensão (V)	220/127
	Turbina (HZ)	60
Sistema GMG	Eficiência térmica (%)	23%
	Consumos específicos:	
	Carvão (kg/kWh)	0,500
	Óleo diesel (l/kWh)	0,042
	Potência disponível (kW)	80

- composição química

análise imediata	(calculada em função do peso)
carbono fixo	65 a 80
voláteis	10 a 20
cinzas	1,9 a 4,0
umidade	4.0 a 8,0

- granulometria:

diâmetro de referência 50 a 150 mm

Ainda não existem experiências com a operação em paralelo deste tipo de sistema térmico, o que necessita ser feito, uma vez que os estudos para os sistemas eletricamente isolados podem vir a recomendar este tipo de operação.

2.2.2 Caldeira/Turbina a Vapor/gerador

Dois sistemas térmicos de geração a vapor serão considerados neste trabalho, para efeito de descrição de tecnologia. Um sistema para pequena central térmica - PCT, projetado pela Zanini S/A. Equipamentos Pesados, visando uma padronização para este tipo de instalação nas faixas de potência de 700 a 6.000 kW. Uma usina termelétrica de porte médio-UTE, de 50.000 kW, com duas unidades de 25.000 kW, a ser instalada pela ELETRONORTE em Balbina - AM.

Para as PCT's, as Figuras 2.5 e 2.6 mostram um fluxograma operacional, diversos componentes, um arranjo físico das instalações e um detalhe do sistema mecanizado de alimentação de toras. Os dados técnicos para três faixas de potência, 800 a 1.500 e 2.400 MW, são mostrados no Quadro 2.2.

Para a UTE de 50 MW, as Figuras 2.7, 2.8 e 2.9 mostram os fluxogramas de vapor e de condensado e um arranjo físico das instalações. Os dados técnicos da usina são mostrados no Quadro 2.3.

2.3 Formação e exploração de florestas [1, 2]

A madeira a ser utilizada como combustível pode ser proveniente de florestas nativas e/ou florestas plantadas. No caso da primeira, existem nas diversas regiões do país diferentes

FIGURA 2.5

FLUXOGRAMA OPERACIONAL - PCT

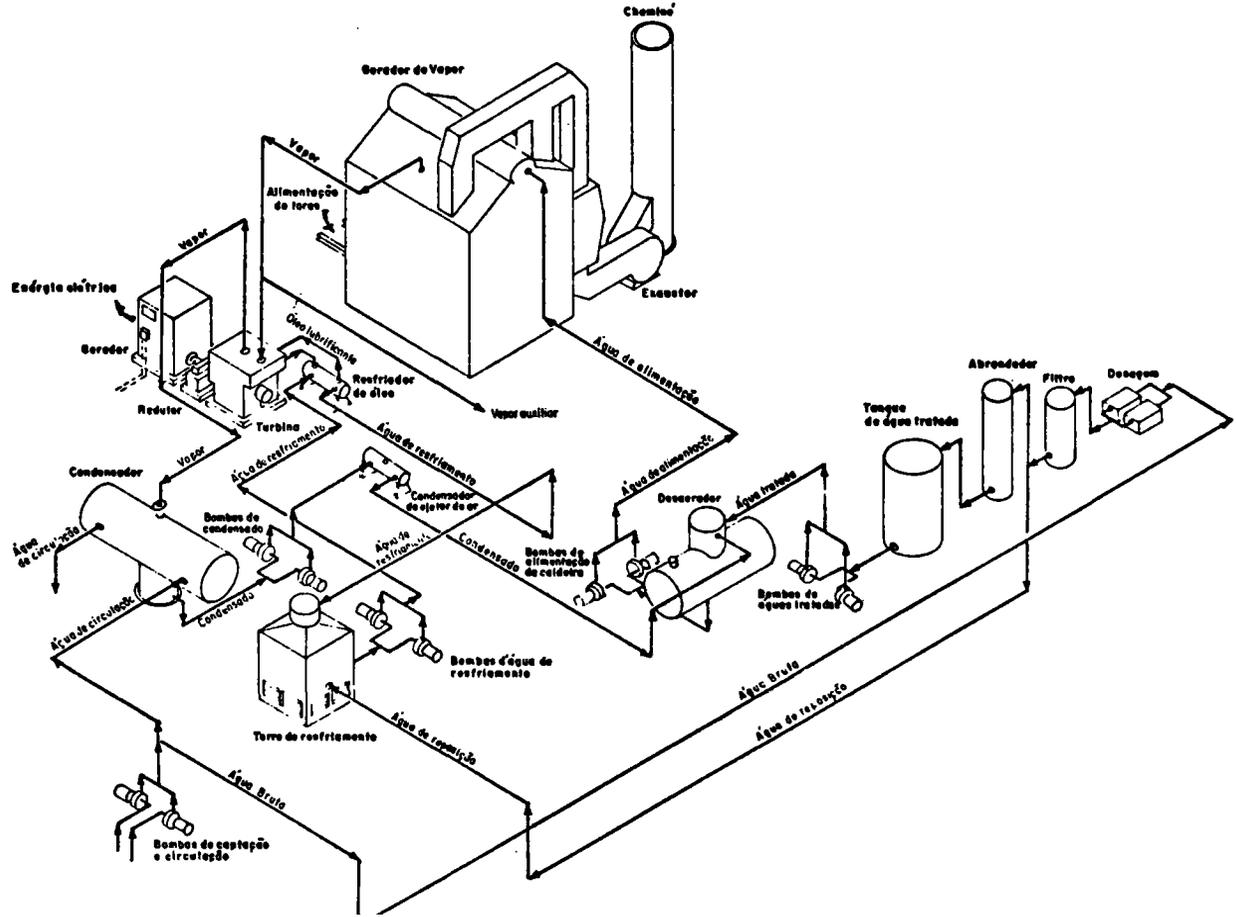
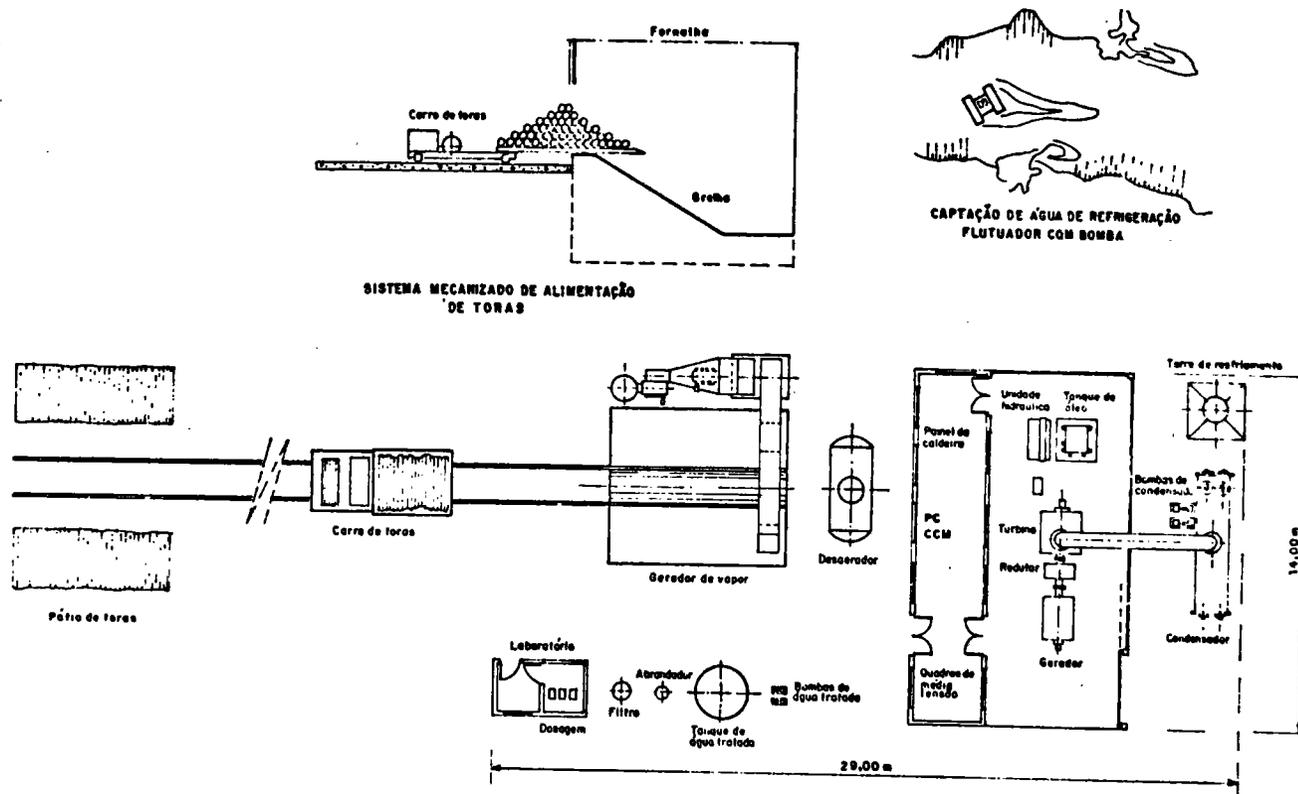


FIGURA 2.6

ARRANJO FÍSICO E DETALHES - PCT



QUADRO 2.2
DADOS TÉCNICOS - PCT

Itens	MODELOS			
	PCT- 800	PCT-1500	PCT-2400	
Gerador de Vapor	Tipo	Aquatubular		
	Produção de vapor (t/h)	6	10	16
	Pressão do vapor(kg/cm ²)	21	21	21
	Temperatura do vapor (°C)	345	345	345
	Combustível	Lenha em toras (umidade 40%)		
	Consumo de combustível(t/h)	2,3	4,1	6,8
	Grelha	Tipo travessão inclinada		
Turbina	Tipo	Multiestágio		
	Consumo de vapor(t/h)	5,00	9,85	14,60
	Pressão vapor entrada (kg/cm ²)	20	20	20
	Temperatura vapor entrada (°C)	340	340	340
	Pressão condensação(Bar)	0,10	0,10	0,16
	Rotação turbina(r.p.m)	10.000	10.000	8.500
Gerador	Tipo	Brushless IP-23		
	Potência nos bornes(kVA)	1.000	1.275	3.000
	Voltagem (V)	440	440	4.160
	Rotação (r.p.m)	1.800	1.800	1.800
Condensador	Tipo	Superfície-Horizontal		
	Vazão água resfriada(m ³ /h)	250	440	720
	Temperatura da água de resfriamento (°C)	30	30	30
Consumo específico	Combustível(kg/kWh)	2,87	2,73	2,83

FIGURA 2.7
 FLUXOGRAMA VAPOR PRINCIPAL E AUXILIARES

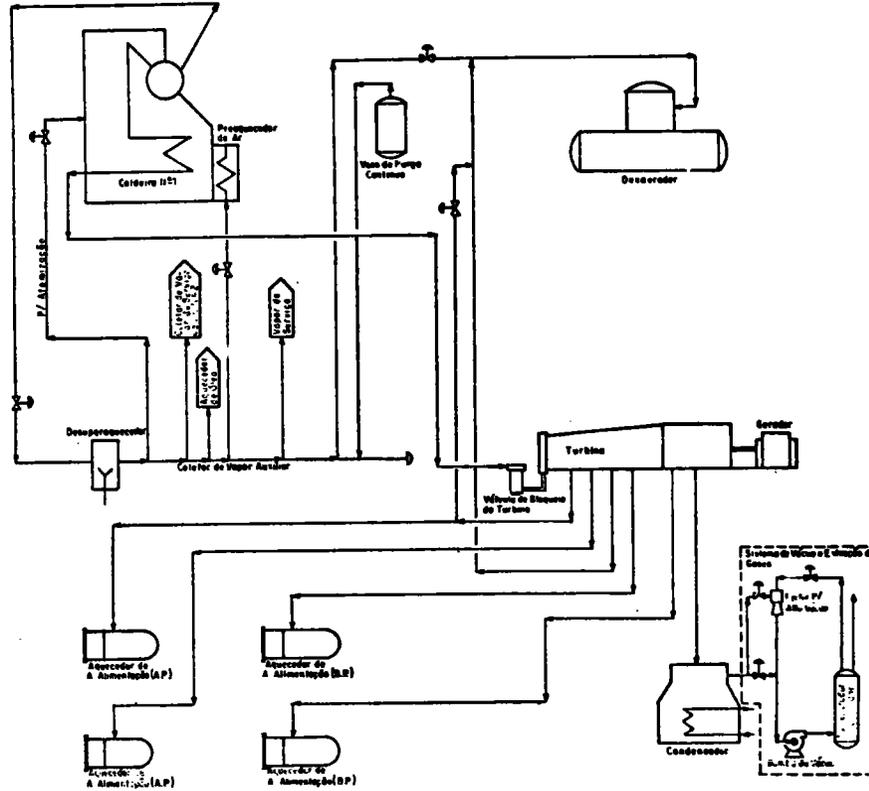


FIGURA 2.8

FLUXOGRAMA CONDENSADO E ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO

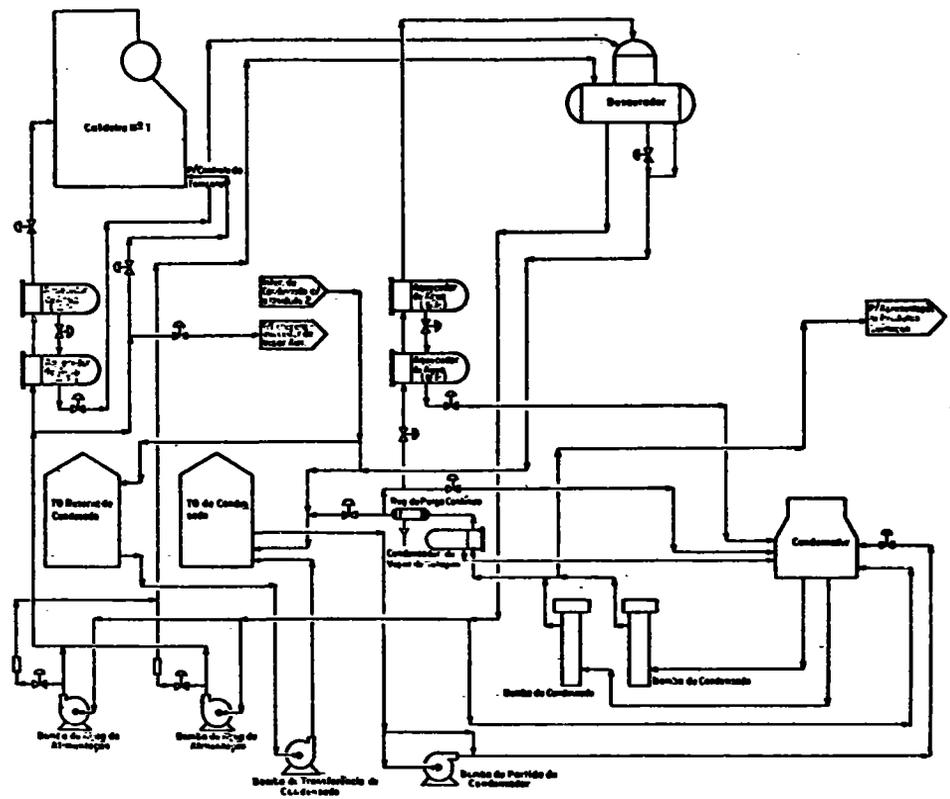
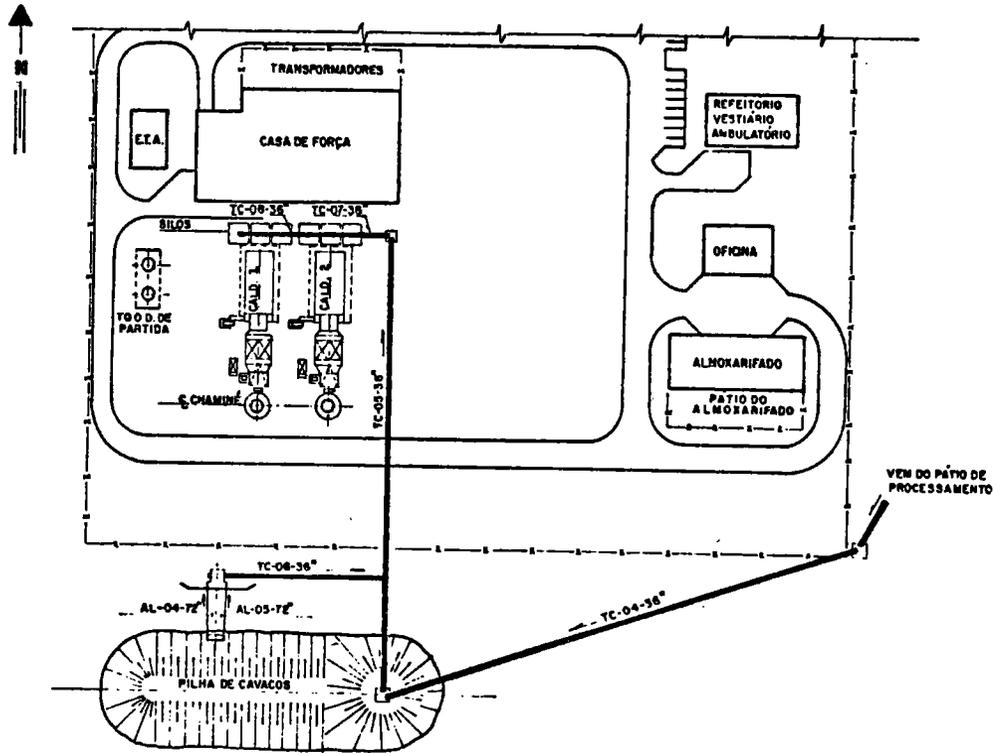


FIGURA 2.9
ARRANJO FÍSICO DAS ÁREAS DE COMBUSTÍVEL E USINA



QUADRO 2.3
DADOS TÉCNICOS - UTE

	Itens	Modelo - 25 MW
Gerador de Vapor	Tipo	Aquatubular
	Produção MCR(t/h)	120
	Pressão do vapor(Bar)	62
	Temperatura vapor(°C)	485
	Combustível	Cavaco de madeira(40% umidade)
	Consumo de combustível(t/h)	37,5
	Grelha	Tipo rotativo
Turbina	Tipo	Multiestágio
	Pressão vapor entrada(Bar)	60
	Temperatura vapor entrada(°C)	480
	Pressão condensação(Bar)	0,084
	Rotação turbina(r.p.m)	3.600
Gerador	Tipo	Brushless
	Potência nos bornes(kVA)	31.000
	Voltagem (V)	13.800
Consumo específico	Tipo	Horizontal - tubos em "U"
	Temperatura da água de resfriamento (°C)	30
	Combustível(kg/kWh)	1,5

tipos de florestas, indo da floresta de cerrados à de palmeiras, à amazônica, etc. No caso em questão, como as principais utilizações estão preferencialmente voltadas para os sistemas eletricamente isolados, que estão no sua grande maioria na região amazônica, serão consideradas como referências características das florestas desta região.

Mesmo dentro da região amazônica, há uma diversidade muito grande, quer seja quanto às espécies florestais predominantes, quer seja quanto à característica dendométrica dos seus indivíduos. Além disso, outras características como topografia, malha hídrica, solo, condições climáticas, etc, são bastante diferentes de local para local. Portanto, para a exploração de madeira nativa, torna-se necessário a realização de inventários florestais das áreas promissoras e levantamento das demais características das condições ambientais, de forma que se possa planejar e dimensionar a exploração da floresta visando a garantia de suprimento de combustível aos sistemas térmicos a serem utilizados.

De acordo com os dados operacionais dos quatro tipos de sistemas térmicos aqui apresentados, as demandas de combustível são muito diferentes. Nestas condições, as formas de exploração florestal deverão ser diferentes.

Para a região amazônica, existe um grande número de inventários florestais de diversas localidades, havendo locais onde a densidade florestal chega a 400 m³/ha, porém são poucas as experiências de aproveitamento das florestas nativas para geração de energia elétrica. Há a exploração florestal realizada no projeto Jari, a exploração de parte do reservatório da UHE-Balbina para alimentação da usina de 6.000 kW do canteiro de obras, e algumas poucas experiências realizadas por empresas mineradoras.

Com base nos resultados das experiências da ELETRONORTE no canteiro da UHE-Balbina, foram analisadas as condições de suprimento de madeira dos sistemas térmicos aqui analisados e que são descritos sucintamente a seguir:

- . tipo de floresta: densa de terra firme
- . densidade florestal aproveitável: 142 m³/ha
- . características dos indivíduos: 10 cm a 40 cm de diâmetro. Sem alta densidade, alta dureza, presença de sílica.

- | | |
|---------------------------|---|
| . condições topográficas: | região plana o plano-ondu <u>lada</u> |
| . malha hídrica: | pouco acentuada |
| . regime de chuvas: | exploração possível apenas durante 75% dos dias do ano |
| . manejo florestal: | que a técnica e as condições locais permitam uma recuperação na base de 15 m ³ /ha/ano |
| . umidade: | 50% |

No caso do combustível para GMG, as operações florestais necessárias para obtenção do combustível foram:

- 1 - limpeza da mata e seleção dos indivíduos;
- 2 - corte, desgalhe e toragem;
- 3 - arraste, empilhamento e carga.

Para este tipo de exploração, não é econômico a abertura de estradas, as árvores são abatidas através de motosserras e guinchadas através de um trator agrícola até a estrada já existente, para serem toradas e transportadas. Os únicos equipamentos a serem empregados são: motosserra e trator agrícola com guincho que faz o arraste e o transporte das toras da floresta até o local do GMG. Condições topográficas, hídricas e florestais podem dificultar e mesmo impedir este tipo de exploração.

No caso do combustível para PCT, as operações florestais necessárias para a obtenção do combustível foram:

- 1 - abertura e manutenção de picadas, estradas e pátios;
- 2 - corte e desgalhe;
- 3 - arraste para os pátios;
- 4 - toragem, empilhamento;
- 5 - carregamento.

O plano de exploração consiste de estradas secundárias dispostas paralelamente, distanciadas de cerca de 500 m, cortadas perpendicularmente por carregadores a cada 100m. Nas épocas de maior intensidade pluviométrica não serão realizadas as operações florestais nem transporte de madeira. O corte da madeira será feito por um motosserrista e um ajudante, que abaterão e desgalharão as árvores, os fustes serão transportados para o pátio através de mini-skidder, enquanto a galhada aproveitável se

rã guinchada. Nos pátios os fustes serão cortados em toras de 2,20 m e emplilhados manualmente, permitindo assim a carga dos caminhões através de tratores agrícolas com guas.

Para a obtenção do combustível para UTE, as operações florestais são as mesmas do caso para PCT, apenas, devido ao grande volume de madeira a ser transportado e conseqüentemente grande número de viagens de caminhões a serem realizadas por dia, torna-se necessário a construção de estradas principais que permitam durante todas as épocas do ano o tráfego necessário ao escoamento da produção. Além disso, o arraste de madeira para pátios será feito pelo equipamento florestal skidder que apresenta uma produtividade mais elevada relativamente ao mini-skidder.

Além da mão-de-obra diretamente envolvida com as operações florestais para PCT's e UTE's, é necessário também pessoal e equipamentos para serviços auxiliares como administração, manutenção dos equipamentos, controle da produção, fiscalização, atendimento ambulatorial, atendimento alimentar e de alojamento, etc.

No caso de florestas plantadas, há no país experiência e conhecimento que foram desenvolvidos basicamente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Para a região amazônica, não existem conhecimentos suficientes sobre florestas plantadas que possam servir como referência, quer seja com espécies nativas, quer seja com espécies exóticas. Além disso, como as condições ambientais são muito diferentes de local para local, mesmo que existisse certa experiência, não seria recomendável a sua extrapolação.

No caso do projeto Jari, que desenvolve há mais de dez anos extensas plantações de *Pinus Caribaea*, *Eucalyptus Urophylla* e *Deglupta* e *Ginelinea Arborea* para serem utilizadas na fabricação de celulose, os resultados ali obtidos ainda não são os mais indicativos para plantios florestais voltados para a produção de energia em outros locais da mesma característica ambiental da região amazônica.

Fora da região amazônica, a experiência florestal brasileira já acumulou experiência suficiente que permita obter produtividade de 65 st/ha ano, que corresponde a uma produção de cerca de 450 st/ha, após sete anos de plantio, como é o caso da região do vale do Mucurí, pertencente à Acesita Energética S/A. No entanto, as condições de suprimento de madeira dos sistemas térmicos aqui analisados foram feitas com base em va

lores médios obtidos de vários reflorestamentos das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, e que são descritos resumidamente a seguir:

Espécie florestal:	Eucalyptus grandis.
Rotação e cortes:	Rotação de 21 anos- cortes ao 7º, 14º e 21º ano.
Produção:	1º corte 140 m ³ st/ha - 2º e 3º cortes 120 m ³ st/ha
Condições topográficas:	Região plana a plano-ondulada.
Malha hídrica:	Pouco acentuada.
Regime de climas:	Exploração possível durante <u>to</u> dos os dias do ano.

No caso do combustível para GMG, a necessidade de madeira requerida não comporta a execução de todas as operações necessárias à implantação de florestas plantadas. Portanto, foi considerado não haver produção de mudas, mas sim aquisição, sendo que as demais atividades sejam manuais, a menos de motosserras e trator para preparação do solo, arraste e transporte de toras. As operações florestais consideradas foram:

- 1.- implantação e manutenção:
 - . preparação do solo;
 - . plantio;
 - . manutenção.
- 2 - exploração:
 - . corte, desgalhe, toragem;
 - . arraste, empilhamento e carga.

No caso do combustível para PCT's, as operações florestais consideradas foram:

- 1 - abertura e manutenção de estradas e pátios
- 2 - produção de mudas
 - 2.1 - confecção de recipiente
 - 2.2 - encanteiramento
 - 2.3 - semeadura
 - 2.4 - desbaste de mudas
 - 2.5 - arrancamento de mudas e repicagem
 - 2.6 - remoção, seleção e preparação de mudas

- 3 - implantação/manutenção
 - 3.1 - preparação do solo (mata não densa)
 - 3.1.1 - derruba e enleiramento com lâmina lisa
 - 3.1.2 - limpeza com rolo faca
 - 3.1.3 - aração
 - 3.1.4 - gradeação
 - 3.2 - sulcamento e adubação
 - 3.3 - combate à formiga
 - 3.4 - plantio manual
 - 3.4.1 - alinhamento
 - 3.4.2 - coveamento
 - 3.4.3 - plantio
 - 3.5 - replantio
 - 3.6 - irrigação
 - 3.7 - limpeza (copina manual)
 - 3.8 - desbaste manual
- 4 - exploração
 - 4.1 - corte, desgalhe, toragem
 - 4.2 - arraste, empilhamento e carga.

No caso do combustível para UTE's as operações florestais foram as mesmas do caso para PCT, apenas, devido ao grande volume de madeira envolvida, torna-se necessário um maior número de equipamentos de abertura e manutenção de estradas e pátios e também uma mecanização maior nas atividades de baldeação, empilhamento e carga.

3 - DESENVOLVIMENTO RECENTE NO EXTERIOR [5, 6]

Atualmente encontram-se em desenvolvimento duas tecnologias de geração de energia elétrica a partir da biomassa, que podem apresentar vantagens técnicas e econômicas relativamente às atualmente utilizadas e que portanto merecem ser analisadas e acompanhado o seu desenvolvimento. Estas duas tecnologias, que serão aqui apresentadas, foram objeto de viagem do autor à França e Itália.

A primeira consiste em uma usina térmica de 6.700 kW de potência, denominada Centrale Thermique du Degrad des Cannes, pertencente à Électricité de France - EdF e atualmente em fase final de construção na cidade de Caiena, na Guiana Francesa.

A usina consiste em um gasogênio a leito fluidizado com a particularidade de funcionar sob pressão. O gás pobre produzido no gasogênio, após limpeza e resfriamento, é injetado em um motor diesel, que aciona um gerador.

A usina é constituída de quatro setores principais:

- Setor A: armazenagem e preparação da madeira;
- Setor B: estocagem e secagem da madeira preparada;
- Setor C: gaseificação, lavagem e resfriamento do gás;
- Setor D: grupo motor/gerador.

Setor A - armazenagem e preparação da madeira - neste setor, é feita a picagem da madeira, que é transformada em cavacos de 25 x 25 x 4 mm. Do picador, os cavacos são enviados por uma correia transportadora para a pesagem, medição de volume e teor de umidade, a partir dos quais é feita a fatura para pagamento da matéria-prima.

Setor B - este setor é constituído de um silo e um secador. O silo tem a capacidade de estocagem relativa ao consumo de cinco dias, com um funcionamento diário de 8 horas. A retirada de cavacos é feita através de um parafuso de extração que tem uma velocidade variável de acordo com a demanda de combustível. O secador é do tipo tambor rotativo e permite baixar a umidade do cavaco ao nível desejado. A fonte de calor necessária à secagem é constituída pelos gases de escapamento do motor.

Setor C - Gaseificação - depois da secagem o cavaco de madeira é transferido por um vagonete para dentro de uma tremonha com tampa que permite estabilizar o débito de madeira que alimenta o gasogênio. Do vagonete, o cavaco cai dentro da passagem de alimentação do pressurizador que leva o combustível da pressão atmosférica à pressão de operação do gasogênio.

O sistema de gaseificação utiliza um gasogênio a leito fluidizado, com a particularidade de funcionar sob pressão, que permite:

- reduzir investimentos;
- aumentar a produção de gás pobre;
- reduzir os alcatrões e os carvões de madeira;
- ter o motor alimentado sob pressão.

O ar de alimentação, após ser pressurizado e pré-aquecido por um trocador que capte uma parte do calor do gás pobre produzido, é introduzido no gasogênio.

Ao sair do gasogênio, o gás passa por um ciclone primário, que retorna ao gasogênio as partículas de madeira não totalmente gaseificadas, e depois passa dentro de um ciclone secundário que separa as cinzas e as encaminha em direção a um sistema de evacuação.

O gás pobre proveniente do ciclone secundário é resfriado ao passar por um trocador de calor gás/ar, que permite elevar a temperatura do ar que vai dar entrada no gasogênio, e também por injeção de água dentro de um refrigerador/depurador. A refrigeração/depuração é necessária para retirar do gás partículas em suspensão, refrigerar o gás em torno de 70°C e retirar gotículas de água ainda presentes no gás.

O gás pobre chega ao motor com a seguinte composição:

CO - 14,5% por volume; H₂ - 10,3%; CH₄ - 6%; N₂ - 42,8%
CO₂ - 18,3%; C₂H₄ - 1,3%; C₂H₆ - 0,8%; Temperatura = 70°C e Poder calorífico = 1,87 kWh/Nm³.

Esta composição resulta de ensaios efetuados com biomassa a 17% de umidade, temperatura de gasogênio de 767°C e pressão de 6,5 bars.

Setor D - Grupo motor/gerador - o motor utilizado é um motor ALSTHOM-ATLANTIQUE e difere do motor clássico por seu equipamento para receber o combustível gasoso. A pressão máxima de combustão limita a pressão do motor, que com gás pobre perde em torno de 20%, em razão de:

- menor poder calorífico de gás (1,8 kWh/Nm³);
- volume de gás pobre introduzido em cilindros.

A mistura ar/gás é realizada dentro de um carburador, sendo a chegada do gás no carburador que comanda a potência do motor. O parâmetro de controle é a temperatura de escapamento. O gás entra no motor a:

- uma temperatura de 70°C;
- uma pressão de 3 bars;
- uma umidade relativa de 3,73%;
- sem alcatrão.

Em caso de interrupção momentânea de alimentação de gás pobre, o motor passa automaticamente ao gasóleo e, se a interrupção se prolongar, ele pode funcionar com óleo.

O Quadro 3.1 mostra algumas características técnicas da usina, enquanto a Figura 3.1 mostra um esquema de princípio de funcionamento e a 3.2, um balanço de potência simplificado.

A segunda tecnologia de geração de energia elétrica a partir da biomassa consiste numa usina térmica que apresenta os subprodutos gasosos do processo de carbonização da madeira, desenvolvida pela Carbolisi SpA - Impianti e Tecnologie Industriali, Milão - Itália.

O processo Carbolisi, de carbonização contínua da madeira consiste de um túnel dentro do qual correm vagonetes carregados com a biomassa. O vagonete se desloca dentro do túnel passando inicialmente por uma zona de pré-aquecimento, depois por uma de secagem, uma de pré-pirólise, uma de pirólise, uma de resfriamento e finalmente a descarga, conforme pode ser visto pelo fluxograma simplificado mostrado na Figura 3.3.

A conversão térmica da madeira em carvão é feita, então através das seguintes fases: pré-aquecimento da madeira, secagem, carbonização e resfriamento do carvão. O calor necessário ao processo é suprido diretamente durante a primeira e segunda fase ou indiretamente, por meio de trocadores de calor especial, durante a terceira fase, sendo fornecido pelos gases de combustão provenientes da queima, numa câmara de combustão adjacente ao túnel, dos produtos combustíveis liberados pelo próprio processo de carbonização. O gás pirolítico não condensável e parte do líquido pirolenhoso, obtidos do processo, são os produtos combustíveis queimados para a produção dos gases ou fumos de combustão.

O resfriamento do carvão é feito pelo contato direto do carvão com os gases pirolíticos não condensáveis inertes, vindos da zona de carbonização ou do reciclo pela mesma zona de resfriamento. Estes gases são secos e refrigerados antes de entrar na zona de resfriamento.

QUADRO 3.1

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA CENTRALE THERMIQUE DU
DEGRAD DES CANNES

GUIANA FRANCESA

PCI madeira = 5,146 kWh/kg	
PCI óleo = 11,75 kWh/kg	
(1) Consumo de madeira anidra	4.164
(2) Kg/h a 20% H ₂ O	5.205
(3) kW	21.430
(4) Consumo de gás: kW	16.587
(5) Consumo de óleo: kW (IP = 6% Csp)	1.059
(6) Consumo de auxiliares: kW	947,6
(7) Potência nos bornes do alternador: kW	6.700
(8) Potência disponível: kW	5.752,4
(9) Rendimento líquido: $\frac{(8)}{(3)+(5)}$	25,58%
(10) Rendimento bruto : $\frac{7}{(3)+(5)}$	29,79%
(11) Consumo de madeira kg a 20% H ₂ O/kWh: $\frac{(2)}{(8)}$	0,950
(12) Consumo de óleo kg/kWh: $\frac{1 \times (8)}{11,75 (8)}$	0,016
Consumo de madeira (t a 20% H ₂ O por 6.000 h)	31.230
Consumo de óleo (t por 6.000 h)	540

FIGURA 3.1
ESQUEMA DE GASEIFICAÇÃO A LEITO FLUIDIZADO: ESQUEMA DE PRINCÍPIO

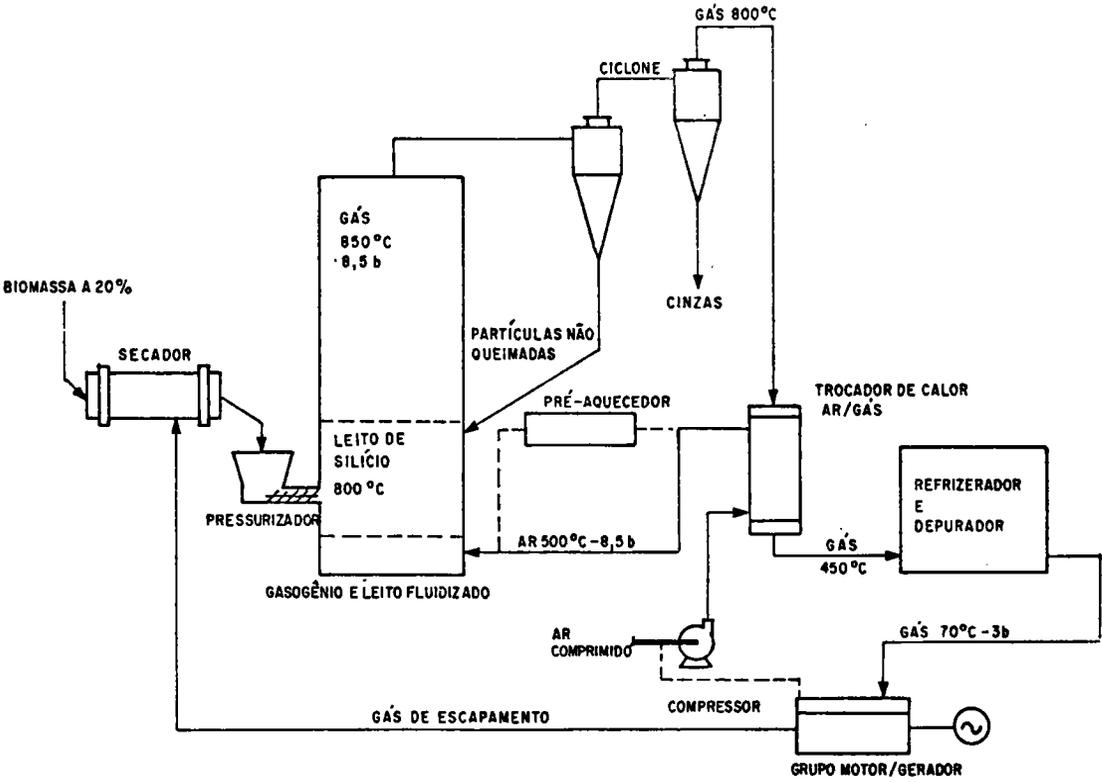
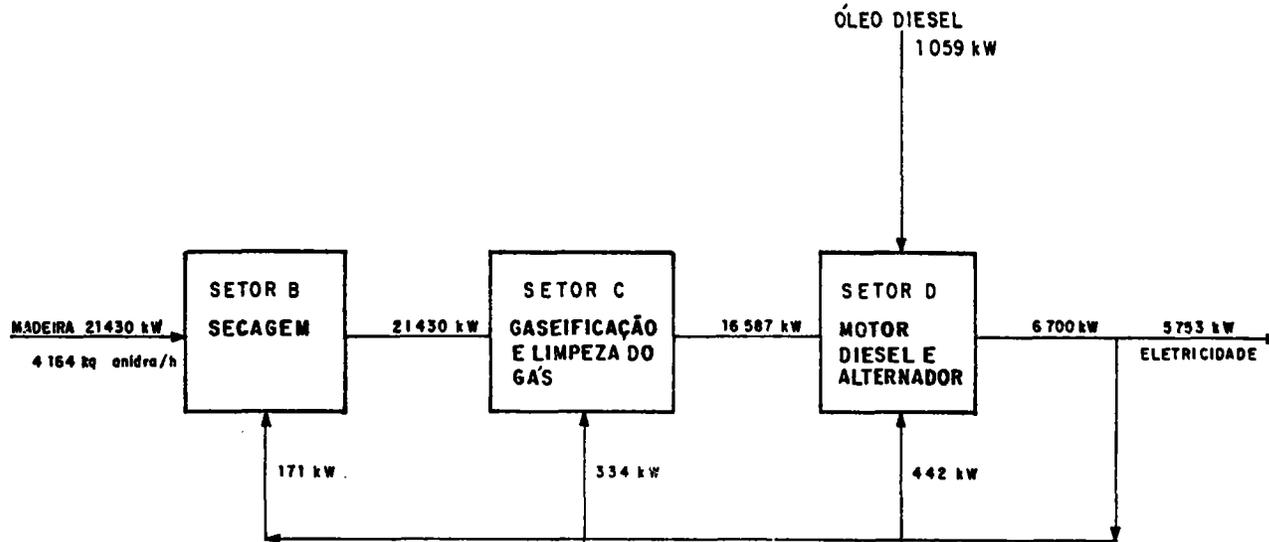


FIGURA 3.2

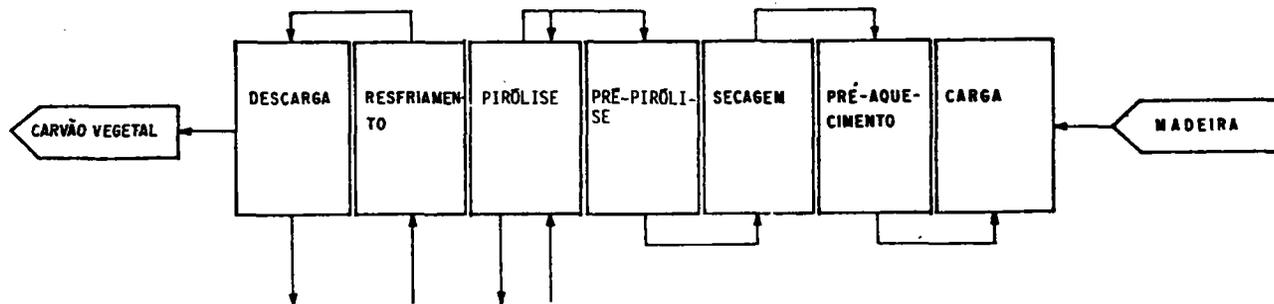
BALANÇO DE POTÊNCIA SIMPLIFICADO CENTRAL TÉRMICA A MADEIRA-GUIANA FRANCESA
-6.7MW-



RENDIMENTO LÍQUIDO: $\frac{5753}{21430 + 1059} = 25,58\%$
 RENDIMENTO BRUTO: $\frac{6700}{21430 + 1059} = 29,79\%$

FIGURA 3.3

FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO CONTÍNUA DA MADEIRA EM TÚNEL



O processo Carbolisi apresenta vantagens, relativamente a métodos tradicionais, como por exemplo:

a - consumo menor de matéria-prima (base seca)	3t/t
b - madeira com dimensões maiores	2500mm comp. 250mm diâm.
c - rendimento termodinâmico global mais elevado	80%
d - menor consumo específico de energia	60 - 70kWh/t
e - menor temperatura de carbonização	300-900º C
f - possibilidade de integração carbonização/ativação	sim
g - menor produção de queima	0,5 a 2%
h - temperatura de chama mais elevada durante a combustão de produtos pirolíticos	1200-1300º C

O alcatrão insolúvel e o líquido pirolenhoso, provenientes do processo de carbonização e não totalmente utilizados no próprio processo, podem ser processados para obtenção de metanol, ácido acético, alcatrão e óleo solúveis, etc, ou então, podem ser utilizados como produtos energéticos.

No caso da sua utilização para geração de energia elétrica, eles são queimados em uma caldeira, que gera vapor para acionamento de uma turbina e de um gerador.

O Quadro 3.2 apresenta algumas características técnicas de vários modelos deste tipo de instalação industrial, desenvolvidos pela Carbolisi SpA. No primeiro trimestre de 1987, estará entrando em operação, no Sul da Itália, uma instalação de 15.000 toneladas de carvão por ano que produzirá também água quente e energia elétrica através de uma central de 250 kW. O carvão será utilizado para a siderurgia de aços finos, enquanto que a água quente e a energia elétrica serão utilizadas por indústrias próximas ao empreendimento. A Figura 3.4 apresenta uma planta geral desta instalação.

4. CONCLUSÕES

O espaço territorial brasileiro, as condições climáticas e novos desenvolvimentos tecnológicos fazem com que a biomassa florestal seja uma fonte energética com reais possibilidades técnica e econômica de vir a ser utilizada como combustível para geração de energia elétrica. Sendo assim, torna-se im

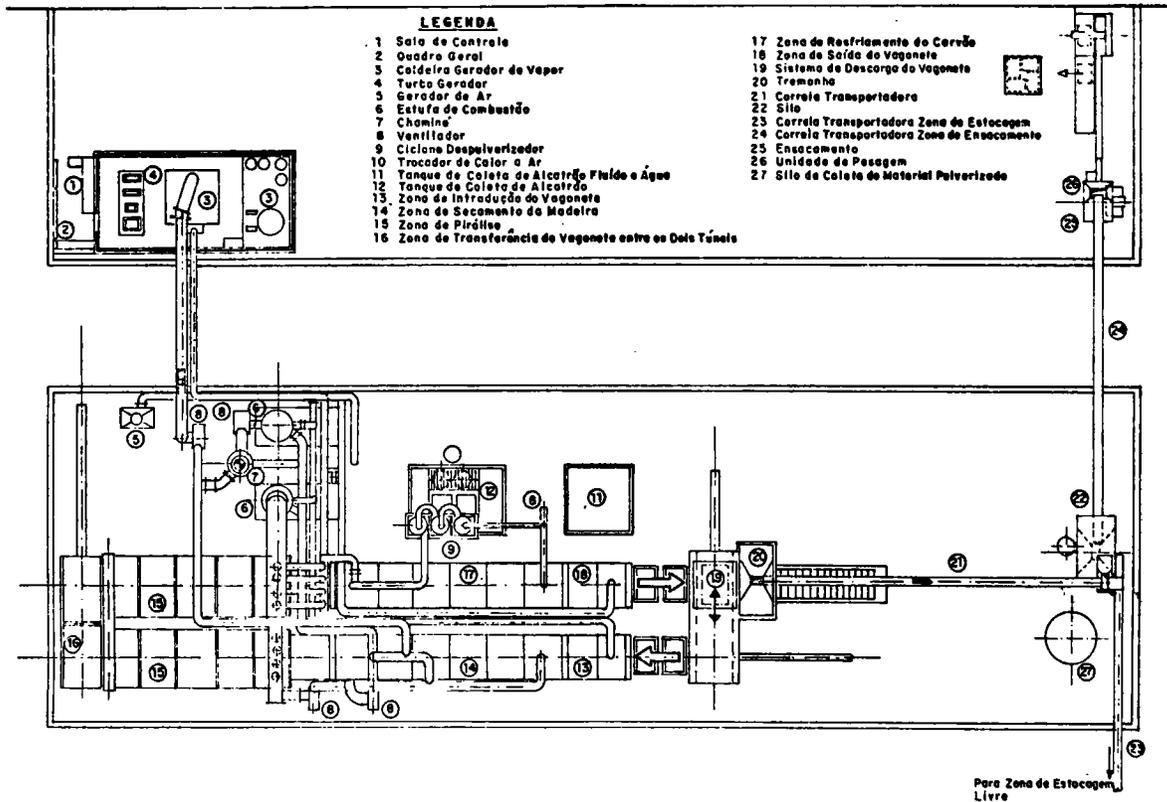
QUADRO 3.2

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MODELOS DE: INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO CARBOLISI

Modelo da Instalação		PC 1500	PC 3000	PC 4500	PC 6000	PC 9000	PC 15000
Carvão Vegetal	kg/h	190	380	570	760	1150	1895
Produtos Químicos							
- Ácido Acético	kg/h	19	38	57	76	115	190
- Metanol	kg/h	24	47	71	95	143	237
- Alcatrão	kg/h	24	47	71	95	143	237
Energia (Alternativamente)							
- Vapor	12bar.t/h	0,29	0,57	0,86	1,14	1,73	2,84
- Água quente	90°C m ³ /h	1,9	3,8	5,7	7,6	11,5	18,9

FIGURA 3.4

PLANTA GERAL DE INSTALAÇÃO DE CARBONIZAÇÃO CONTÍNUA DE CARVÃO VEGETAL
E PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE-SISTEMA CARBOLISE SpA



portante que o planejamento do setor elétrico continue seus estudos com respeito a esta fonte energética de modo à obtenção de todos os parâmetros e instrumentos que possibilitem a comprovação de tal viabilidade.

Há quatro possibilidades de utilização da madeira que atualmente mostram-se com maior possibilidade de utilização: a geração elétrica nos sistemas eletricamente isolados que existem na região Norte do Brasil; a geração elétrica em regiões onde já se torna provável o esgotamento do potencial hídrico local, como é feita na região Nordeste; a geração elétrica como subproduto da atividade de obtenção de carvão vegetal em pólos de ferra-gusa que se instalam na região Nordeste.

De uma forma geral, três tipos de estudos devem ser realizados antes de se decidir sobre a utilização desta forma de geração, qual sejam os relativos à obtenção e preparação da madeira como combustível, os relativos às tecnologias de transformação a serem utilizadas e os relativos à viabilidade técnica e econômica do empreendimento como um todo e de sua competitividade relativamente a outras fontes de geração.

Para as quatro possibilidades já levantadas, há grande diferença no que toca à capacidade nominal de geração, tecnologias a serem utilizadas, emprego dentro dos sistemas elétricos, resultados operacionais já conhecidos e quanto à obtenção e preparação do combustível, sendo assim, os estágios atuais de desenvolvimento dos estudos diferem muito. No caso dos sistemas eletricamente isolados, já há uma grande quantidade de informações, inclusive com a operação, já por vários anos, de pequenas centrais térmicas - PCT's, porém ainda insuficientes para se chegar a uma conclusão final sobre um programa de substituição de geração de energia elétrica a óleo diesel nestes sistemas.

Quanto às duas tecnologias de geração de energia elétrica utilizando madeira como combustível, uma empregando motor diesel e gás pobre gerado em gaseificador a leito fluidizado sob pressão e a outra empregando gás efluente do processo de carbonização, pode-se dizer que apresentam importantes avanços tecnológicos que acarretam vantagens reais, como pode ser visto nos balanços energéticos apresentados no texto deste artigo. No entanto, a realização de estudos que comprovem a viabilidade de suas utilizações em nosso país, depende ainda dos resultados operacionais das unidades de porte industrial que se desenvolverão durante o presente ano de 1987.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 5.1 ELETROBRÁS/DEEN/DVER - Utilização da Biomassa Florestal na Geração de Energia Elétrica. Nota técnica Nº 14, J. B. Luna de Azevedo. Rio de Janeiro, 10/04/85.
- 5.2 ELETROBRÁS/DEEN/DVER - Suprimento de Combustível para Pequenas Centrais Termelétricas - Nota Técnica Nº 22. J. B. Luna de Azevedo, L.A. Said. Rio de Janeiro 10/12/85.
- 5.3 CHESF/ASEG - O Programa de Biomassa da CHESF, Relatório ASEG/FA Nº 05- Recife, 18/08/86.
- 5.4 ELETROBRÁS / DPE/DEGE - Manual de Pequenas Centrais Termelétricas - Rio de Janeiro, 1985.
- 5.5 EdF CENTRALE THERMIQUE DU DEGRAD DES CANNES - Groupe Électrogène de 6,7 MW - Direction Régionale pour les D.O.M. - Paris 06/1985.

* * *

APERFEIÇOAMENTO DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL:
A RECUPERAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

Mauro Rodrigues de Almeida ()*
*Maria Emília Antunes de Rezende (**)*

-
- (*) *Mestre em Ciências - Metalurgia Física pela "Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.*
- (**) *Assistente Diretoria de Produção e Desenvolvimento da Acesita Energética S/A.*

ÍNDICE

1.	Introdução	125
2.	Conversão da Biomassa em Produtos Químicos - Principais Processos em Desenvolvimento	129
2.1	Enfoque Geral das Principais Linhas de Pesquisa.	129
2.2	Processos Baseados na Pirólise	129
2.2.1	Carbonização	129
2.2.2	Pirólise Rápida.	131
2.2.3	Pirólise a Vácuo	132
2.3	Outros Processos de Termoquímica Forte	133
2.3.1	Gaseificação	133
2.3.2	Liquefação Direta.	134
2.4	Fracionamento da Madeira nos seus Constituintes Básicos	135
3.	Perspectiva de Aplicação destes Processos no Brasil.	137
3.1	Aspectos Gerais.	137
3.2	Tecnologia Atual e Perspectivas Futuras da Fabricação de Carvão Vegetal no Brasil	138
4.	Conclusões e Recomendações	142

* * *

1. INTRODUÇÃO

Até por volta de 1920, praticamente, todos os produtos químicos orgânicos utilizados industrialmente eram fabricados nas plantas de carbonização da madeira. Devido a isto pode-se dizer que a recuperação de subprodutos da carbonização foi a indústria precursora da petroquímica.

Entre os produtos químicos obtidos por este processo e largamente comercializados na ocasião destacam-se: o metanol a acetona, o ácido acético, vários acetatos e alguns derivados do alcatrão, como o piche e o creosoto vegetal. Apesar de serem produtos complementares à fabricação do carvão vegetal para uso metalúrgico e doméstico, eles eram responsáveis pela maior parte do faturamento da atividade de carvoejamento.

Entretanto, esta situação modificou-se a partir dos anos 20, com o surgimento dos primeiros processos de síntese. A indústria química derivada da madeira foi paulatinamente perdendo importância. Em 1950, apenas algumas plantas mantinham-se funcionando e hoje estão reduzidas a 3 (França, Alemanha e Finlândia), que funcionam em delicada situação financeira, sendo poucas as suas garantias de sobrevivência.

Na década de 70, a crise do petróleo fez com que as atenções se voltassem para as fontes ditas renováveis. A madeira voltou a ser repensada como fonte energética e matéria-prima para a indústria química. Desde então intensificou-se o uso dos resíduos florestais e urbanos e incentivou-se a criação de equipes de pesquisas para o desenvolvimento e melhorias das técnicas de conversão da madeira. Assim processos antigos, como a pirólise, a hidrólise e a gaseificação voltaram a ser estudados sob a luz de novos conceitos teóricos. Daí surgiu uma série de unidades de demonstração destes processos tais como: a pirólise rápida, a pirólise a vácuo, a liquefação solvolítica e o fracionamento da madeira.

De modo similar aos países desenvolvidos, no Brasil, o desenvolvimento da indústria de carvoejamento deu-se a reboque da implantação da indústria siderúrgica. Mas devido às condições sócio-econômicas, geográficas e climáticas do país, ainda não se assiste sinais de seu declínio, muito ao contrário, a produção tem apresentado taxas crescentes. Contudo, à medida que o país desenvolve sua economia, a indústria carvoeira começa a sentir também, necessidade de desenvolver-se no sentido de utilizar processos mais produtivos e de maior aproveitamento da biomassa, cada vez mais cara.

Esta necessidade é consequência do atual nível tecnológico. Hoje o carvão é produzido artesanalmente. O padrão tecnológico existente no início do século, nos países desenvolvidos, ainda não foi alcançado. Em consequência disto suas operações vão deixando de ser atraentes para o mercado de trabalho e seu funcionamento vai sendo questionado pelos problemas que provoca; seja pelo desmatamento das formações nativas como pela poluição ambiental. É, portanto, necessário que a indústria de carvoejamento vá se adaptando às condições de desenvolvimento do país.

O plantio de florestas homogêneas de alta produtividade e a mecanização de sua exploração estão sendo o primeiro passo desta modernização. Entretanto, por uma série de circunstâncias, estas florestas estão cada vez mais caras e os processos atuais de carbonização aproveitam somente 1/3 da massa e menos da metade da energia disponível na biomassa resultante de sua exploração.

A exemplo do próprio histórico da indústria de carvoejamento em outros países, a recuperação dos produtos químicos gerados durante a carbonização parece ser o melhor caminho para sustentar a rentabilidade futura da indústria do carvão vegetal no Brasil. Dificilmente, o carvão vegetal, utilizado como insumo da siderurgia ou como simples combustível, suportará sozinho o salto de investimentos necessários para a modernização do processo de carvoejamento. É necessário, portanto, agregar novas fontes de receitas à atividade, e as perguntas que se fazem são: Por que não os produtos químicos anteriormente produzidos pela indústria de carvoejamento? Qual seria a viabilidade de produzi-los no Brasil? Quem teria tecnologia disponível nesta área, ou em áreas similares e até mesmo em áreas complementares? Quais as perspectivas que se colocam, no mundo desenvolvido, para obtenção de produtos químicos ou energéticos a partir da madeira?

Com o objetivo de procurar respostas e melhor fundamentar seu programa de desenvolvimento a Acesita Energética com apoio da FINEP, do PNUD e da FAO organizou uma missão de 2 de seus técnicos a instituições e empresas no exterior:

No roteiro de viagem foram visitados:

- Universidade de Washington, Departamento de Engenharia Química, professora Barbara Krieger - Seattle - Washington, Estados Unidos da América.

- Solar Energy Research Institute - SERI, Setor de Conversão Química, Dra. Helena Chum, Dr. J. Diebold e outros - Golden, Colorado, Estados Unidos da América.

- Koppers Company, Inc - Destilação de alcatrão mineral e preservação de madeira com creosoto, Sr. Robert Shannon, Eng^o Dave Katena - Pittsburgh - Pensilvânia, Estados Unidos da América.

- Universidade de Sherbrooke - Laboratório de Pesquisa sobre as tecnologias de conversão - Departamento de Engenharia Química, Prof. E. Chornet - Sherbrooke, Québec, Canadá.

- Universidade Laval. Departamento de Engenharia Química, prof. Christian Roy - Sainte-Foy, Québec, Canadá.

- Biosyn, Companhia para industrialização de gaseificadores de madeira, Sr. Guy Gravel e Sr. R. Hoareau - Usina em St - Juste de - Bretenières - Montmagny, Québec, Canadá.

- Institut de Recherche d'Hydro-Québec - Equipe de Energia da Biomassa, Produção e Conservação de Energia, Dr. André Chamberland - Montée Ste - Julie - Varennes, Québec, Canadá.

- Centre Québécois de Valorisation da la Biomassa, Sr. Marcel Risi, Sr. Denis Gosselin - Sainte-Foy, Québec, Canadá.

- Centre de Recherche Industrielle Du Québec, Sr. Jean Paul Brassard, Eng^o Raphael Lavoie, Eng^o P. Desilets e outros Sainte-Foy, Québec, Canadá.

- Shell Company - Laboratório de Pesquisa em Amsterdã (KSLA) Mr. T.P. Elliott (Shell Londres) Sr. P.L. Zuideveld, Sr. H.P. Ruyter e outros - Amsterdã, Países Baixos.

- Institut Für Verfahrenstechnik, professores, Hartmann e R. Rautenbach - Aachen, República Federal da Alemanha.

- Centre Technique Forestier Tropical, Diretoria de Pesquisa sobre a madeira, Sra. Jacqueline Doat, Sr. Gerard Déon e Sr. P. Girard - Nogent-Sur-Marne, França.

- Framatome - Divisão Creusot Énergie, Sr. Jacques Chany Engenheiro M. Girardon, Sr. Gerard Chrysostome e Sr. Gerard Dreyfuss, sede em Paris La Défense e base industrial em Le Creusot, França.

- Grupo Pechiney, divisão eletrometalurgia, diretoria de reconversões Industriais, Sr. Jean Eudes Hasdenteufel e Sr. Jean Louis - Dreyer, Sede em Paris La Défense e Unidade Industrial em Bretenoux, - França.

- Armines - Associação das Escolas de Minas e outras escolas da França, com objetivo de incentivar a pesquisa orientada para aplicação industrial - Escola de Minas de Paris, Centro de Reatores e Processos, Sr. Paul Imbert, Prof. Henri Renon - Paris, França.

- Atochem grupo ELF, Sr. Pierre Jentet, empresa que detêm a Sociéte Usines Lambiotte (SUL), motivo da visita. Conta to na (SUL) Sr. Olivier Findeljing - Premery, França.

Deste modo, procurou-se ver o que está sendo feito em termos do desenvolvimento de tecnologias de conversão da madeira e como estão funcionando plantas de carbonização similares àquelas que julgamos necessárias ao próximo estágio tecnológico a ser vivido pela indústria de carvoejamento no Brasil.

Neste artigo são relatados os resultados destas visitas e tenta-se transplantá-los para a ótica da indústria de carvoejamento no Brasil.

2. CONVERSÃO DA BIOMASSA EM PRODUTOS QUÍMICOS - PRINCIPAIS PROCESSOS EM DESENVOLVIMENTO

2.1. Enfoque Geral das Principais Linhas de Pesquisa

Praticamente todos os programas de pesquisa na área de conversão da biomassa, buscam o desenvolvimento de processos diferentes da carbonização tal como é conhecida no Brasil. Assim, comprovou-se "in loco" o que se percebia no acompanhamento das recentes publicações na área de biomassa e nas informações dadas por visitantes estrangeiros, recebidos na Acesita Energética S/A.

É convicção dos pesquisadores dos países desenvolvidos visitados, notadamente os Estados Unidos da América e Canadá que o melhor processo de conversão da madeira em produtos químicos, será aquele que reduzir ao mínimo a produção de carvão ou outro resíduo sólido. Em outras palavras, há uma clara tendência de se fixar em processos que maximizem a conversão em produtos líquidos e gasosos. Além disto vem ganhando força os grupos que acreditam que a conversão da madeira para produtos químicos será mais fácil se for precedida de fracionamento em seus polímeros fundamentais: celulose, lignina e hemiceluloses. Estes pesquisadores acreditam que processos, como a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a hidrólise, terão mais sucesso, produzindo mesclas de produtos de mais fácil separação quando aplicados individualmente a cada um destes polímeros, de acordo com a vocação potencial de cada um deles.

Estes enfoques tornaram-se a base dos trabalhos de pesquisa do mundo, industrialmente, mais desenvolvido.

2.2. Processos Baseados na Pirólise

A pirólise deve ser entendida como o processo de decomposição da biomassa pela ação do calor. Entre as variantes estudadas, foram selecionados 3 processos para ilustrar o que vem sendo desenvolvido,

2.2.1 Carbonização

É o processo de pirólise em condições semelhantes às praticadas no Brasil, onde 28 - 35% da biomassa é convertida em carvão. Caracteriza-se por taxas de aquecimento moderado e pressões próximas à atmosférica.

As pesquisas, em sua maior parte, ficam restritas aos estudos cinéticos e da transferência de massa e calor durante a reação. O enfoque é, de modo geral, bastante acadêmico e o objetivo básico é um melhor entendimento dos fenômenos que precedem a combustão e a gaseificação da biomassa.

A nível industrial não são realizados trabalhos de relevância. Abre-se uma exceção para grupos da França, que buscam soluções para os problemas enfrentados pela indústria de carbonização deste país. Estes problemas derivam, basicamente, de restrições ambientais. A indústria de carbonização francesa (80.000 t de carvão/ano) tem que reduzir sua descarga de poluentes para a atmosfera. Os trabalhos recentes voltam-se, então, para o desenvolvimento de fornos de carbonização que facilitem a combustão integral e direta dos vapores e gases gerados na pirólise (CEMAGREF-FRAMATOME), ou de processos que interrompam a carbonização antes da liberação destes produtos poluentes (ARMINE-PECHYNEY), produzindo material semi carbonizado, o "Bois Torréfié".

Mas mesmo na França, um país com tradição no aproveitamento dos subprodutos da fabricação do carvão vegetal pouco se tem feito para viabilizar a permanência, em funcionamento, das plantas de carbonização com plantas químicas acopladas. Somente a planta de Premery pertencente à Société Usine Lambiotte (SUL) subsidiária da Atochem, permanece em operação com a mesma configuração de equipamentos de mais de 40 anos atrás. Todas as demais foram desativadas. A permanência em operação da planta de Premery deve-se ao desenvolvimento do processo de isolamento, a partir do licor pirolenhoso, de algumas substâncias usadas como aromas.

A comercialização destes aromas fez com que a planta de Premery equilibrasse sua situação financeira. Em 1982 estava para ser fechada. Na posição de detentora do mercado desses aromas, consegue manter os preços num patamar suficiente para obter uma margem capaz de cobrir os prejuízos com a venda de outros produtos abaixo do custo, como os casos do ácido acético e acetatos orgânicos.

Um dos problemas da usina de carbonização em Premery é que se trata de um projeto bastante antigo, com processamento de pirolenhoso que não procura otimizar o consumo energético nos processos de separação dos subprodutos. Segundo informações, durante o inverno, é queimado óleo combustível nos secadores de lenha para cobrir déficit energético ainda maior nes

te período. Isto, aliado ao alto custo da matéria-prima (madeira) e maiores restrições ambientais, por estar dentro da cidade de Premery, colocam o custo de produção de alguns produtos acima dos preços praticados no mercado interno e internacionais.

Outras instituições de pesquisa, na França, têm propostas de rotas mais adequadas, em termos de consumo energético que o sistema Lambiotte.

A Societé Usines Lambiotte, segundo o seu diretor-presidente não pretende discutir transferência da tecnologia para processamento do licor pirolenhoso com objetivo de obtenção de produtos químicos, nem mesmo discutir a produção conjunta com outra empresa, em outro país, cujas condições sejam, economicamente, mais favoráveis.

2.2.2 Pirólise Rápida

Em processos deste tipo o que se procura é pirolisar a biomassa, evitando a ocorrência de reações secundárias entre os constituintes dos gases e vapores gerados, pois o tempo de permanência dos mesmos na matriz sólida e no reator é muito pequeno. Com isto se maximiza a produção de líquidos (70 a 75% de óleos pirolíticos) e se reduz a de sólidos (8 a 12%), gases não condensáveis (48%) e água, a partir da biomassa seca.

A rapidez na reação de pirólise é alcançada sob condições que favorecem a ocorrência de taxas de transferência de calor extremamente elevadas. Para tal se utiliza madeira pulverizada e reatores que permitam fluxos com elevada turbulência, como os reatores tipo Vortex. Este processo vem sendo, extensivamente, estudado pelo SERI - Solar Energy Institute. Os parâmetros operacionais de um reator piloto foram estabelecidos e agora os estudos estão sendo concentrados na conversão catalítica dos óleos pirolíticos, em gasolina de alta octanagem. Para tal os óleos pirolíticos, passam por um leito fixo de catalizador do tipo zeolita ZSM-5 acoplado à saída do reator de pirólise.

A perspectiva de viabilidade deste processo é dependente do preço dos derivados do petróleo. Pesquisadores do SERI acreditam que é possível a médio prazo, produzir esta gasolina

a pouco mais de U\$S 1,00 por galão (*) posto fábrica, para as condições dos Estados Unidos da América. Existe interesse de uma companhia privada de construir uma planta piloto para processamento de 15t/dia de madeira seca, nos Estados Unidos da América.

2.2.3 Pirólise a Vácuo

Também se procura neste processo maximizar a produção de óleos pirolíticos, pela redução do tempo de permanência dos gases e vapores gerados durante a pirólise na matriz sólida e no reator. Para isto trabalha-se com uma pressão negativa (300 a 400 mmHg) no interior do reator e usa-se, ao contrário da pirólise rápida, taxas de aquecimento moderadas.

Este processo vem sendo desenvolvido no Canadá pelo professor Christian Roy (Universidade de Laval) e seus colaboradores. Para partículas de madeira variando de 0,5 a 2,0 cm obtém-se, até o presente, a seguinte faixa de distribuição de produtos: óleos pirolíticos 50 - 60%, água 16 - 13%, gás 13-11%, carvão 20-16%.

O reator de demonstração, desenvolvido pelo professor Roy tem 6 estágios de aquecimento e em cada um deles é acoplado um ponto de coleta dos condensáveis. Esta concepção se assemelha a uma coluna de destilação fracionada, ou seja, em cada um dos 6 pontos de saída do reator recolhem-se frações de produtos diferentes. A composição de cada uma destas frações é determinada pela fase da reação de pirólise que está ocorrendo no elemento aquecedor em questão.

O processo ainda está em fase de desenvolvimento. Os esforços da equipe concentram-se nesta etapa e nos métodos de análise para identificação dos componentes das frações de produtos obtidos. Numa segunda etapa, estas frações serão processadas para produtos químicos e combustíveis líquidos. Ainda não há uma idéia clara dos produtos que poderiam ser obtidos e dos processos utilizados para separá-los. O professor Roy

(*) Nota: 1 galão = 3,8 litros.

não descarta os métodos tradicionais para obtenção do ácido acético e metanol, mas estão sendo iniciados estudos para conversão catalítica dos óleos pirolíticos.

Devido ao elevado custo da biomassa no Canadá a aplicação industrial da pirólise a vácuo, para este material, só será viável na medida em que haja uma elevação substancial dos preços do petróleo. Entretanto o processo está sendo testado utilizando como matéria-prima pneus usados, que é um sério problema de rejeito no Canadá. A pirólise a vácuo mostrou-se uma técnica de reciclagem bastante promissora, já tendo sido iniciados estudos para construção de uma unidade piloto para 200 kg/h. Assim, a viabilização deste processo a nível industrial dar-se-á, provavelmente, com a reciclagem de pneus usados para produção de combustível líquido, segundo o professor Christian Roy.

2.3. Outros Processos de Termoquímica Forte

São processos distintos da pirólise mas que também são executados em condições severas de temperatura ou pressão.

2.3.1 Gaseificação

Neste processo a biomassa é convertida no chamado gás de síntese, composto principalmente de hidrogênio e monóxido de carbono. O gás pode ser usado como combustível, mas parece ser mais interessante utilizá-lo na fabricação de metanol, amônia ou outros combustíveis sintéticos.

O processo de gaseificação da biomassa é bastante conhecido e um de seus principais problemas é a contaminação do gás com os alcatrões gerados na fase inicial do processo, quando ocorre a pirólise da biomassa. Para sanar este problema é melhorar a conservação de energia do processo é que está sendo proposta uma série de inovações tecnológicas.

O uso de oxigênio, alta pressão e leitos fluidizados são as principais inovações nos gaseificadores da última geração. O oxigênio permite obter um gás mais puro, ao provocar a oxidação dos alcatrões que o contaminam. O uso do leito fluidizado a alta pressão torna os equipamentos mais compactos e permite o uso de areia como agente auxiliar de transferência de calor. As partículas de areia em seus constantes choques com

as partículas de biomassa, absorvem parte da energia gerada na fase exotérmica da gaseificação. Após serem captadas no ciclone estas partículas são reintroduzidas no gaseificador, no local em que ocorre a fase endotérmica de gaseificação. Nesta etapa o fluxo de calor ocorre de modo inverso, calor é transferido das partículas de areia para as de biomassa. Assim as partículas de areia melhoram as trocas térmicas e ao funcionarem como agente armazenador de energia, contribuem para melhorar a eficiência energética do processo.

Nos testes em escala piloto estes gaseificadores apresentaram boa performance e já se têm unidades de demonstração de porte industrial sendo implantadas. No Canadá o grupo Biosyn instalou uma unidade com capacidade para 10 t/h de biomassa seca onde se pretende, além de dominar o processo em escala industrial, estudar toda a logística de abastecimento de matéria-prima. Com estes mesmos objetivos, grupos franceses associaram-se (ASCABE) para a montagem de uma planta com capacidade de 7t/h de biomassa seca.

Ambas unidades estão restritas às plantas de gaseificação e foram montadas para demonstração do processo. A conversão do gás de síntese em metanol dar-se-á em uma segunda etapa após o domínio completo do processo de gaseificação. O gás gerado nestas plantas, na atual fase dos projetos, não tem nenhuma aplicação útil. São simplesmente queimados após análise de sua qualidade. A planta da Biosyn está sendo desenvolvida há mais de 6 anos. Outros processos que não utilizam leitos fluidizados, como os desenvolvidos pelo SERI - Solar Energy Research Institute nos Estados Unidos da América e pela CESP - Cia. Energética de São Paulo no Brasil já estão funcionando com plantas integradas onde o metanol é o produto final. Contudo os custos de produção ainda são muito altos quando comparados com as rotas usuais para produção de metanol.

2.3.2 Liquefação Direta

É um procedimento de hidrogenação direta da biomassa em condições severas de temperatura (330-370°C) e pressão (17-24 MPa). A biomassa pulverizada é mantida em uma suspensão com um solvente, à qual, opcionalmente, catalizadores podem ser adicionados. Deste modo a madeira é desfibrada e seus polímeros básicos são decompostos e hidrogenados. Isto dá origem a um óleo pesado, contendo 20-5% de oxigênio e tendo um poder calorífico da ordem de 30-35 MJ/Kg (7.200 a 8.400 KCal/Kg).

O rendimento destes óleos pesados é de 40-60% em relação ao peso de biomassa seca. As pesquisas procuram processos que permitam a transformação destes óleos pesados em combustíveis mais nobres, mas sua combustão direta também é uma aplicação não descartada.

O atual estágio de desenvolvimento da liquefação direta é o de unidades de demonstração de processo em escala laboratorial pois não ultrapassam capacidade de processar 20 kg/h de biomassa. Esta não implantação do processo se deve a sua baixa perspectiva de viabilidade econômica.

2.4 Fracionamento da Madeira nos seus Constituintes Básicos

Neste processo a madeira é fracionada em seus constituintes básicos, os polímeros: celulose, hemicelulose e a lignina. A estes polímeros aplicam-se outras técnicas de conversão que, segundo os pesquisadores, levam a produtos de mais elevado valor comercial e de mais fácil separação.

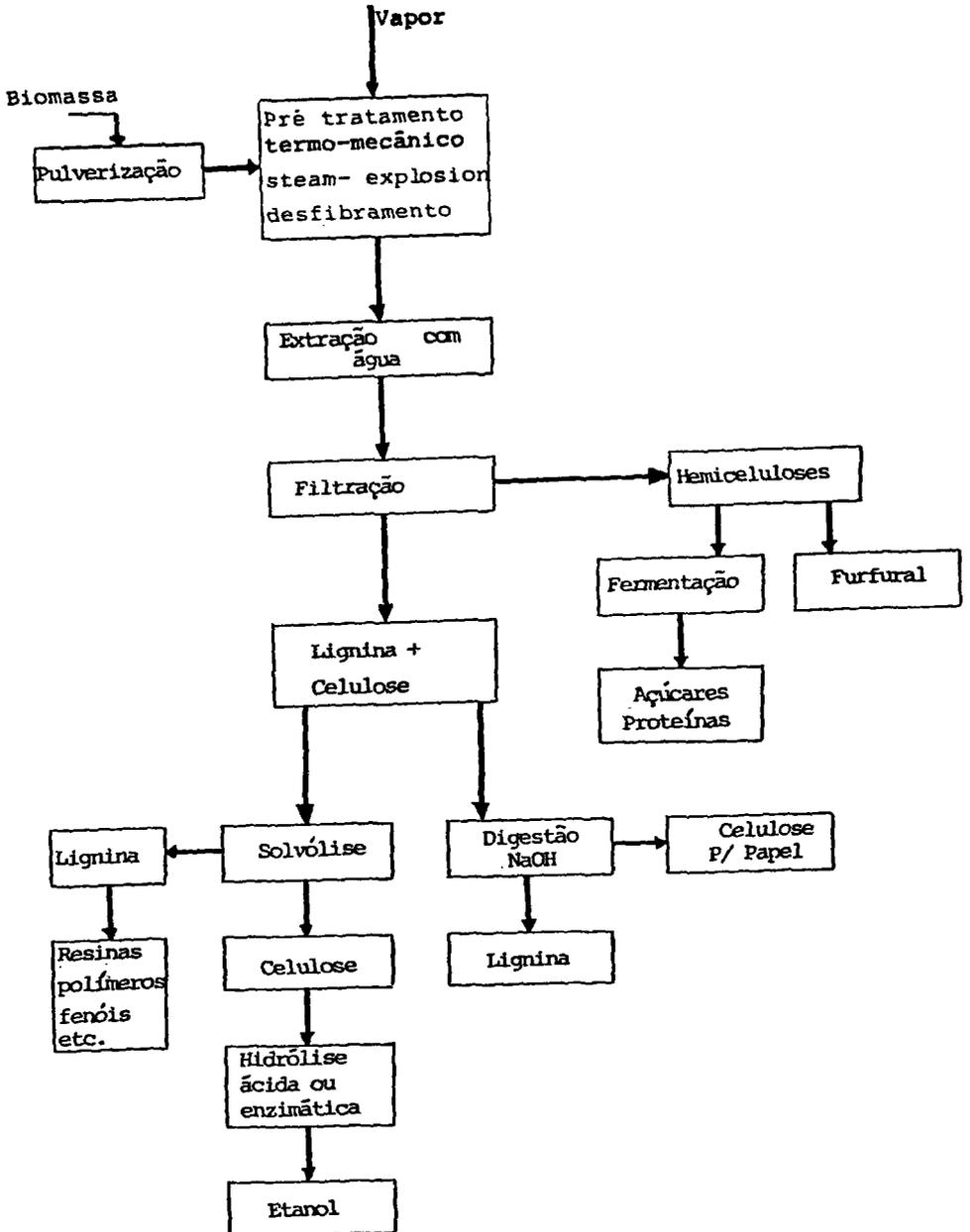
O fracionamento é, na verdade, uma seqüência de processos que podem ser estendidos até a obtenção de produtos finais. Na seqüência proposta pelo Prof. Chornet (Univ. Sherbrooke) e equipe, e mostrada na Figura 1, tem-se uma boa idéia do processo.

Inicialmente, a madeira, em forma de serragem, sobre um tratamento termo-mecânico conhecido por "steam-explosion", onde há um desfibramento e liberação das hemiceluloses. Após sua extração com água e filtração, as hemiceluloses são processadas para furfural ou açúcares e proteínas. No resíduo sólido, a lignina e a celulose são separadas por solvólise, com soda ou solventes orgânicos. A lignina poderá, então, ser empregada na produção de resinas, polímeros ou fenóis, enquanto a celulose seria utilizada como ração animal, polpa dissolvida para indústria de papel ou hidrolisada por via ácida ou enzimática para produção de etanol.

No Canadá já estão sendo iniciados entendimentos para construção de uma unidade industrial de demonstração utilizando a tecnologia de fracionamento. Os principais produtos desta unidade seriam a hemicelulose e a lignina. Esta última entraria com uma proporção de 20 a 30% na composição de resinas a base de fenol utilizadas na fabricação de compensados de madeira.

FIGURA 1

ESQUEMA DO FRACIONAMENTO E APROVEITAMENTO INTEGRAL DAS FRAÇÕES PROPOSTO PELA EQUIPE DE SHERBROOKE



3. PERSPECTIVA DE APLICAÇÃO DESTES PROCESSOS NO BRASIL

3.1 Aspectos Gerais

Todos os processos relatados têm, hoje, restritas chances de viabilidade econômica nos países visitados, por uma série de razões e entre elas o baixo potencial de crescimento de biomassa, principalmente nos países de climas mais frios. Mesmo assim os processos, técnica-economicamente mais promissoras, são levados à fase de unidades semi-industriais de demonstração, pois há interesse no domínio completo da tecnologia. É um interesse estratégico, pois mudanças na conjuntura internacional, principalmente no tocante aos preços dos derivados do petróleo, deverão viabilizar a aplicação em larga escala destes processos. São tecnologias passíveis de transferência para países onde a biomassa é produzida a menor custo.

O Brasil é colocado como um dos países de maior interesse por diversas razões: sua extensão territorial; suas condições edafoclimáticas propícias; por ser, no mundo, o país que mais se desenvolveu na cultura de biomassa, de ciclo curto (cana-de-açúcar) ou de ciclo longo (biomassa florestal) e apresentar um parque industrial bem desenvolvido no que tangere à utilização da biomassa como energia.

Para o Brasil, acredita-se que associações com grupos mais desenvolvidos em estudos de novas tecnologias de conversão da biomassa florestal seja interessante, pois hoje existe um número reduzido de grupos de pesquisa envolvidos com novas rotas de processamento da biomassa e mesmo porque falta uma política efetiva para a biomassa, principalmente a florestal, dentro do programa de desenvolvimento científico e tecnológico do país.

A nossa realidade mostra que nossas necessidades mais urgentes são aquelas que levem à introdução de melhorias tecnológicas no processo de carbonização. Em nenhum outro país este processo de conversão da biomassa é tão largamente utilizado quanto no Brasil. A sustentação da siderurgia a carvão vegetal, levando-se em conta a diminuição da cobertura vegetal nativa e o crescente aumento de custo na produção de biomassa florestal, devido a uma série de fatores (preço da terra, custos dos fertilizantes e da mão-de-obra), requer um melhor aproveitamento do recurso florestal em processos mais produtivos e mais rentáveis. Isto só pode ser conseguido a-

través do desenvolvimento do processo atual de carbonização pelo aumento do rendimento energético da conversão e utilização de processos contínuos de produção.

3.2 Tecnologia Atual e Perspectivas Futuras da Fabricação de Carvão Vegetal no Brasil

Todo o carvão vegetal no Brasil é produzido utilizando-se a tecnologia dos fornos de alvenaria. São fornos bastante simples feitos de tijolo e barro e que diferenciam entre si pelo tamanho e pela forma. O tipo de forno utilizado depende da origem da matéria-prima ou seja: mata nativa ou floresta plantada.

Geralmente na carbonização de material lenhoso proveniente da limpeza de terreno para uso alternativo, agropecuária, utiliza-se fornos de alvenaria de pequena capacidade de carga (10 a 15 ésteres de lenha), que apresentam um investimento baixo e uma vida útil também baixa, 1,5 a 2 anos. São os "Fornos Rabo Quente" e os "Fornos de Encosta". Como a atividade de carbonização neste caso, é nômade, procura-se adequar a vida útil e o investimento à economia do sistema de exploração ou seja, aproveitamento do material lenhoso disponível após derubada.

Já no caso de manejo sustentado de matas de maior porte ou de florestas homogêneas, como são atividades duradouras no mesmo local, procura-se adequar o sistema de fornos de carbonização para processos que otimizem a produtividade de mão-de-obra, podendo-se trabalhar com equipamentos de maior investimentos com vida útil mais longa. São os chamados fornos de alvenaria de superfície, com 5 metros de diâmetro, cujas características são:

- volume de carga = 36 a 44 ésteres (st)
- ciclo de carbonização = 1 dia para carga e descarga
 - 4 dias para carbonização
 - 4 dias para esfriamento

Total = 9 dias

- produção de carvão por fornada = 20 a 24 m³
- rendimento gravimétrico = 25% em peso (base úmida)
 - 30% em peso (base seca)
- vida útil = 4 anos, considerando uma reforma anual após 1,5 a 2,0 anos de vida útil.

Para florestas homogêneas estes fornos são agrupados em baterias de 9 fornos e que necessitam de 3 homens para carga e descarga. Então, 3 homens produzem por volta de 450 m³, entre 100 a 115 toneladas mensais de carvão vegetal.

Geralmente, quando a produtividade da floresta permite, formam-se carvoarias, agrupando-se 4 ou mais baterias, em um mesmo sítio, concentrando-se a fabricação do carvão.

De um modo geral, não se aproveita os voláteis oriundos da carbonização da madeira, A não ser em alguns casos de siderúrgicas integradas (Acesita, Belgo Mineira, Mannesmann e Metalur) que recuperam o alcatrão. Os voláteis (fumaças) são perdidos para a atmosfera, o que reduz, substancialmente, o rendimento energético da atividade de carvoejamento.

A Figura 2, mostra um esquema da carbonização de florestas de *Eucalyptus* hoje praticada. Ao se analisar estes sistemas, ver-se-á que mais da metade do conteúdo energético da biomassa florestal aérea não é aproveitada na simples transformação madeira \implies carvão.

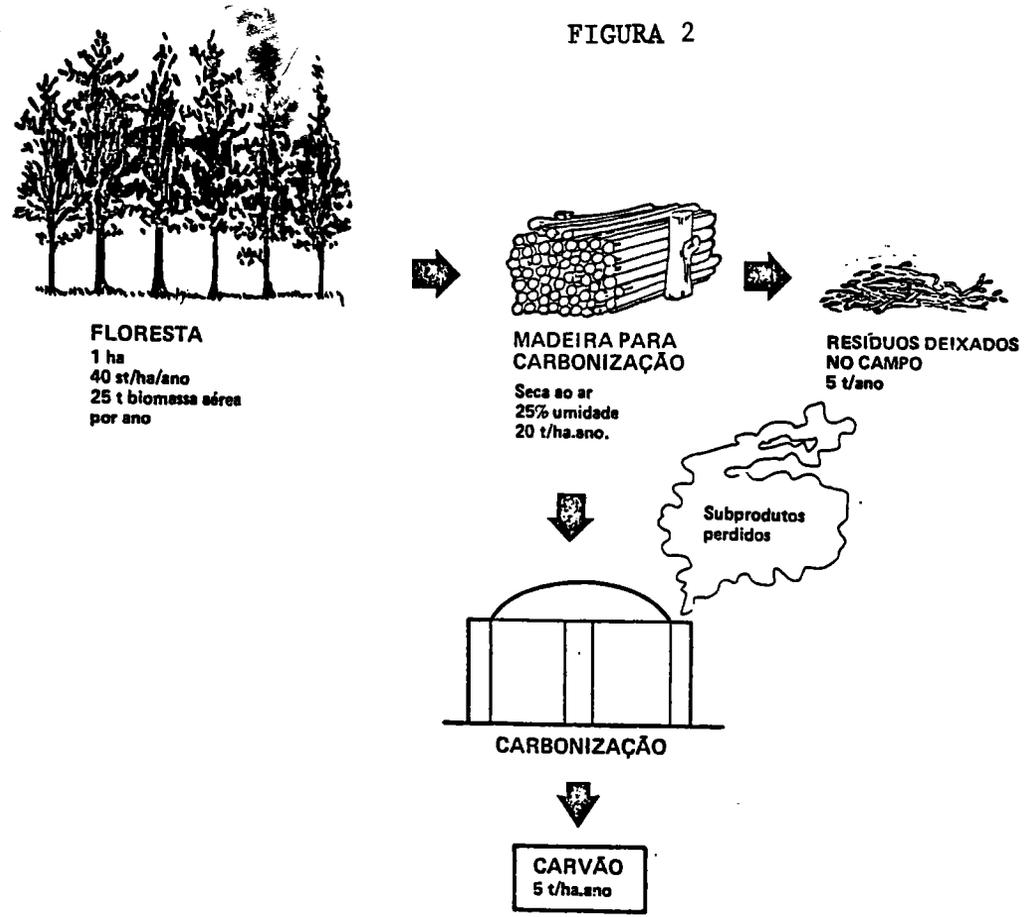
Em termos gravimétricos somente 30% da madeira anidra enfornada é aproveitada, sendo o restante 70%, contendo uma série de produtos importantes na indústria química, vaporizados e perdidos para a atmosfera.

Estes fatos se tornaram a base do desenvolvimento da tecnologia de carbonização que algumas empresas siderúrgicas vêm trabalhando, entre as quais se destaca a Acesita Energética, e que será tema dos próximos parágrafos.

O objetivo principal do programa de desenvolvimento na fabricação de carvão vegetal consiste em aumentar o aproveitamento energético na conversão madeira \implies carvão. Ganhos significativos foram conseguidos pelas melhorias introduzidas nos fornos de alvenaria e mais recentemente no desenvolvimento e aplicação dos processos de coleta de alcatrão nestes fornos. Com apoio da FINEP, a Acesita Energética S/A produz, comercialmente o alcatrão que, atualmente, é utilizado como substituto ao óleo combustível, derivado do petróleo, em fornos de aquecimento de barras da usina da Cia. Aços Especiais Itabira - ACESITA.

Entretanto, o grande passo em busca de tecnologias mais modernas de carbonização consiste no desenvolvimento do processo contínuo com aproveitamento total dos subprodutos. Além de elevar o rendimento energético na produção do carvão acima

FIGURA 2



$$\frac{5 \times 7.000 \times 100}{25 \times 3.000} = 47\% \text{ - Eficiência Energética}$$

dos parques 47% obtidos hoje, agrega novas receitas, viabilizando sistemas de carbonização menos dependentes da energia humana, não poluidores e que se mostram mais rentáveis que os tradicionais. Entrará em operação neste ano de 1986, um forno de carbonização contínua para produção diária de 15t de carvão, na cidade de Turmalina em Minas Gerais. Em sua primeira fase, produzirá carvão e alcatrão.

A existência destes processos contínuos só terá espaço no Brasil a partir do momento em que se possa aproveitar integralmente os subprodutos, ou seja, à medida em que se agregue ao faturamento do sistema, produtos com um valor comercial superior ao carvão vegetal.

O aproveitamento dos subprodutos, entretanto, pode se dar de dois modos:

- Combustão direta dos vapores e gases gerados na carbonização.
- Processamento dos vapores para produtos químicos ou energéticos.

Em desenvolvimento pelo CEMAGREF (França) e Framatome, a concepção da combustão direta dos vapores pirolenhosos tem o inconveniente de ser um aproveitamento imediato que deve ser feito próximo à planta de carbonização. Assim se apresentam duas alternativas: acoplar à planta de carbonização centrais geradoras de eletricidade ou de vapor para uso industrial. No último caso é necessário instalar a planta de carbonização junto a outras indústrias consumidoras de vapor. A geração de eletricidade é interessante principalmente para regiões remotas ainda não eletrificadas, pois poder-se-ia fornecer energia às comunidades próximas.

O processamento para produtos químicos ou energéticos é, seguramente, uma forma de agregar maior volume de receita à atividade de carvoejamento. Isto é demonstrado nas plantas ainda em atividade, onde o carvão representa apenas cerca de 1/3 do faturamento. Embora ainda existam plantas de fracionamento do licor pirolenhoso em funcionamento, a aquisição desta tecnologia é dificultada pelo fato de se tratar, hoje, de processos e equipamentos obsoletos. Outra dificuldade é a falta de interesse das detentoras destas tecnologias em transferi-la.

4: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo que se pôde observar durante as visitas às instituições listadas anteriormente e pelo que se conhece do Brasil como um grande produtor de biomassa, bem como utilizador em grande escala, industrialmente, vários processos em desenvolvimento para produção de combustíveis líquidos ou produtos químicos devem ter grande futuro no nosso país. Estas tecnologias podem ser utilizadas em consorciamento com a indústria florestal para carvão, como meio de se assegurar futuramente a produção da siderurgia a carvão vegetal em níveis rentáveis e competitivos.

Entretanto, pelo que se observa, o país investe pouco em pesquisa e desenvolvimento destes novos processos de conversão. Quando o faz não dá continuidade ou procura, politicamente, montar projetos industriais com tecnologias importadas, sem estudar sua adaptação ou comprovar sua eficiência para o que se propõe a produzir.

Recentemente o Centro de Reatores e Processos da Escola de Minas de Paris, liderado pelo prof. Henri Renon, pesquisou processos de separação de produtos químicos partindo-se dos vapores pirolenhosos e separando as frações ou substâncias em ordem decrescente aos seus pontos de ebulição. É um procedimento contrário ao processo clássico. A separação é iniciada com o pirolenhoso na fase de vapor (150°C), procurando minimizar o consumo de energia e utilizar como solventes os produtos gerados na própria carbonização.

Esta abordagem tecnológica mais recente de processamento do pirolenhoso deverá levar a processos mais eficientes e mais econômicos.

Esforços devem ser feitos para se trabalhar com o grupo do prof. Renon não somente pela atração da rota de trabalho mas, pelo que se pode verificar, da experiência do grupo na área de carbonização e do conhecimento da velha indústria, com um grande poder de crítica sobre ela. A isto deve-se somar os recursos de infra-estrutura laboratorial que possuem, não somente traduzidos por equipamentos mas também pelos procedimentos analíticos já estabelecidos para estas misturas complexas.

A França mantém, como um todo, uma memória viva da química vegetal. Ela ainda existe lá.

Neste aspecto a Acesita Energética S/A está em contato com o grupo para estudar um projeto de cooperação conjunto: Acesita Energética, Escola de Minas de Paris e Universidade Federal de Minas Gerais com a qual já se trabalha em conjunto no desenvolvimento dos processos clássicos de fracionamento do pirolenhoso.

Em termos mais gerais acredita-se que a conversão catalítica direta dos vapores da carbonização, a exemplo do que vem sendo testado para o processo de pirólise rápida desenvolvido pelo SERI, pode abrir novas e interessantes perspectivas para o aproveitamento da biomassa florestal.

O mesmo deve ser dito para o processo em desenvolvimento no Canadá pelo prof. Christian Roy, da Universidade de Laval.

O fracionamento da madeira em seus constituintes, processo STAKE (Universidade de Sherbrooke), mostra aspectos interessantes no processamento da biomassa para combustíveis, carburantes, produtos químicos ou matéria-prima celulósica para outras indústrias.

Na área de gaseificação industrial para produção de gás de síntese ou geração de energia, calorífica ou elétrica, enquanto o Brasil trabalha em leito fixo, os processos já estão em estado avançado utilizando reatores a leito fluido, alta pressão e enriquecimento do ar com oxigênio.

Pode-se considerar, hoje, que estas instituições consideram o Brasil como possível sócio no desenvolvimento em escala piloto ou industrial destas tecnologias e acredita-se que existe espaço para uma colaboração com instituições brasileiras, principalmente Universidades e Centros de Desenvolvimento Tecnológico.

Deve-se então, apoiar as instituições brasileiras no tocante ao desenvolvimento destas tecnologias, identificando os grupos que estão à frente, integrando-os em um projeto amplo, "Tecnologias de Conversão da Biomassa Florestal", em trabalho conjunto, porém cada um atuando em um processo específico.

Destaca-se, neste sentido, o grupo da estação Experimental de Corumbataí da Cia. Energética de São Paulo, CESP, que vem há algum tempo, desenvolvendo o processo de gaseificação a leito fixo para produção de metanol.

A coordenação e apoio a este projeto, partindo da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, com ajuda de empresas engajadas em desenvolvimento de processos de conversão da biomassa como a Acesita Energética, e em convênio com instituições de pesquisa mais avançadas como aquelas apontadas anteriormente, poderá trazer soluções para o crescente problema da rentabilidade na utilização da biomassa florestal pelo setor siderúrgico brasileiro.

Identificadas as instituições, universidades e empresas, pode-se promover um seminário nacional com participação de algumas instituições estrangeiras convidadas, tendo como ponto de apoio organizacional a Associação Brasileira de Carvão Vegetal. Sugere-se o tema "Florestas Plantadas para Produção de Energia - O Que Há Além do Carvão?" Seguindo a este Seminário deve-se promover um "Workshop", coordenado pela FINEP e com participação restrita de pessoas nacionais e estrangeiras com o objetivo de se avaliar as perspectivas das tecnologias apresentadas no cenário brasileiro e mundial, sob o ponto de vista social, tecnológico e econômico.

O resultado disto seria base para o programa futuro de desenvolvimento da conversão da biomassa florestal apoiado pela FINEP e/ou outros órgãos de financiamento.

* * *

A ANALISE ECOLÓGICA-ENERGÉTICA
APLICADA À AGRICULTURA

Angela C. Macedônio ()*

-
- (*) *Engenharia Operacional Modalidade Fabricação
Mecânica, Escola Técnica Federal "Celso Suckow da
Fonseca
Medicina Veterinária - Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro*
- (**) *Pesquisadora Secretária de Estado da Agricultura do
Paraná, Departamento de Economia Rural Programa de
Agroenergia Econômica.*

ÍNDICE

1. Introdução	149
2. Objetivos de análise ecológica-energética (AEE) . .	151
3. Cálculo de coeficientes energéticos na agricultura	156
4. Análise ecológica-energética aplicada aos sistemas de produção agropecuária familiares	163
5. Literatura consultada	173

* * *

1. INTRODUÇÃO

A análise Ecológica-Energética tem como objetivo o cálculo da eficiência produtiva. Como cálculo da eficiência produtiva entende-se a busca de indicadores para a comparação do desempenho técnico-administrativo entre unidades de produção.

A análise Ecológica-Energética - AEE surge, indiretamente, pelas mãos dos ecologistas, ainda no século XIX, nos estudos desenvolvidos sobre o aproveitamento dos ecossistemas ditos naturais: nas suas descrições e quantificações ao nível dos fluxos energéticos. Entretanto, mais recentemente, os ecologistas retomaram tais estudos em sistemas melhor delimitados como as lagunas, as ilhas, etc.

O desenvolvimento da AEE, até o momento, pode ser agrupado em 3 fases:

- a. a primeira fase, desenvolvida ainda no século passado pelos ecologistas, tomou duas direções distintas:
 - a descrição de ecossistemas, enquanto comunidades ditas naturais, onde os estudos se basearam sobretudo no estabelecimento das cadeias tróficas e na determinação dos fluxos de energia a elas ligadas;
 - a avaliação da produtividade de determinados tipos de exploração do meio (culturas isoladas). Mesmo nestes casos de estudo dos agro-ecossistemas, em que os fundamentos biológicos dos mecanismos de funcionamento do sistema estão melhor definidos e controlados, a intervenção humana, no entanto, não se dá dentro de uma abordagem global considerando-se o sistema como um todo;
- b. a segunda fase desenvolveu-se a partir do início da década de 70, devido à crise mundial de energia fóssil, a qual forçou o desenvolvimento de novos estudos capazes de dar respostas alternativas à utilização indiscriminada da energia fóssil. Nesse período, então, inicia-se a formulação das bases da análise energética dos sistemas ditos humanos;

- c. a terceira fase surge no mesmo período da segunda diferenciando-se, entretanto, desta por abordar uma perspectiva antropológica, procurando ligar os parâmetros energéticos aos parâmetros econômicos, sociais e culturais que intervêm na gestão dos ecossistemas. Em outras palavras, é o surgimento da AEE sob a ótica antropológica considerando os ecossistemas integrais homem e natureza dentro de um contexto sócio-econômico (*)

A AEE, integrando os princípios da termodinâmica e da ecologia, forma um novo sistema de análise que permite o estudo das bases ecológicas da gestão dos recursos naturais nos sistemas sócio-econômicos.

A AEE se constitui, assim entre outras aplicações, numa alternativa aos métodos de avaliação tradicionais de uma unidade de produção agropecuária, baseados unicamente nos cálculos econômicos e financeiros. A AEE vai além disto, utilizando a variável energia como meio de avaliação, não só das entradas a saídas de energia dos sistemas produtivos mas, também, dos fluxos internos que essas energias realizam nestes sistemas.

No capítulo dois desse trabalho, descreve-se como a AEE vem sendo utilizada mundialmente para dar conta das respostas necessárias à busca de soluções alternativas para o uso da energia fóssil na agricultura.

No capítulo terceiro apresenta-se o desenvolvimento teórico das fórmulas necessárias ao cálculo dos índices em que se baseia a AEE. A explanação teórica desses índices, respaldou-se no conhecimento adquirido a partir do estágio, por mim realizado, em Portugal.

(*) A separação do homem da natureza, em sistemas naturais e humanos, é antagônica à concepção que eu adoto. Todavia, uma discussão epistemológica mais aprofundada sobre o tema ultrapassa os objetivos deste trabalho.

No quarto capítulo comenta-se a aplicação da AEE a sistemas de produção agropecuária familiares, mas particularmente realiza-se uma exposição do sistema de análise eco-energética que vem sendo utilizado em Portugal, sua aplicabilidade e resultados.

2. OBJETIVOS DA ANÁLISE ECOLÓGICA-ENERGÉTICA- AEE (*)

A análise ecológica-energética ou eco-energética - AEE, surge como forma de investigação científica na França e nos Estados Unidos da América, durante a primeira crise mundial do petróleo em 1973. É o despertar de uma nova concepção da análise energética agora vislumbrando o campo da análise não só ecológica, mas também econômica e social dos sistemas de produção.

Dentre as inúmeras tentativas mundiais de redução e substituição da energia fóssil nos processos produtivos na agricultura, como em outros setores, a busca de fontes alternativas esteve a esta vinculada, à própria concepção do processo produtivo, ou seja:

- a garantia de preservação e melhoria das condições dos recursos naturais;

- a sanidade no processo de trabalho e dos produtos de origem agropecuária;

- a ampliação da oferta de emprego e melhoria das condições de trabalho no campo;

- a utilização de matérias-primas provenientes e/ou residuais do próprio setor.

Essa concepção de agricultura pressupõe, entretanto, a compreensão crítica de como se dá econômica, social, política e tecnicamente o processo de trabalho atual do setor agropecuário.

(*) As idéias centrais contidas neste capítulo se apoiam em trabalhos de Agostinho de Carvalho, Vitor Coelho de Barros e Carlos Borges Pires, conforme literatura citada.

Além da AEE, poucas tentativas têm sido feitas para explicar, do ponto de vista energético, a dinâmica das sociedades industriais, particularmente da agricultura moderna. Propor uma nova estratégia energética, dentro da realidade sócio-econômica contemporânea, levanta a questão mais radical de uma outra racionalidade econômica estruturada em novos critérios de escolha social.

A AEE permite estudar o funcionamento dos ecossistemas através da descrição dos fluxos energéticos. Sua aplicação em um dado sistema possibilita conhecer o quanto de energia é necessário gastar para se produzir um outro determinado tipo de energia. Ao se decompor o total de energia gasta em energia do trabalho humano, energia renovável e energia não renovável, pode-se identificar a dependência do sistema e produção a estas três formas de energia indicadas, bem como possibilitar o cálculo de índices de eficiência de cada tipo de energia que é colocada no sistema.

A necessidade de encontrar formas alternativas à utilização excessiva de energia fóssil nos processos produtivos, levou inúmeros cientistas a desenvolverem métodos capazes de explicar os sistemas de produção e, concomitantemente, determinar neles os momentos de estrangulamento ou de exageros na utilização dos fatores de produção.

A característica da decomposição das energias que entram num dado sistema de produção para posterior cálculo dos índices de eficiência, é que permitiu aos pesquisadores comprovarem cientificamente o uso abusivo da energia fóssil nos diferentes processos de produção dos países desenvolvidos.

Um dos estudos mais conhecidos, ligado à agricultura, entre os pesquisadores no campo da análise eco-energética é o de Pimentel (*) sobre a cultura do milho nos Estados Unidos da América. Ele demonstrou que em 1945 mais da metade da energia necessária à produção era gasta com combustíveis para as máquinas. Entretanto em 1970, essa proporção de energia fóssil

(*) Pimentel, D. et alli - *Food production and the energy crisis*. "Science", 182, 1973, p.p. 443-449.

passou a ser gasta com adubos químicos e com redução da eficiência energética (*) de 3,71 em 1945 para 2,82 em 1970.

Da mesma forma, o balanço eco-energético da produção agrícola francesa efetuado por Deleage (**), demonstrou que o sistema agrícola francês está tendo que importar cada vez mais energia para assegurar sua manutenção. Em 1970, por exemplo a eficiência energética agropecuária já se situava em 2,32 (valor abaixo do encontrado por Pimentel para o milho nos Estados Unidos da América no mesmo ano)

Pires (***) demonstrou que de 1920 a 1981 o rendimento energético da cultura do trigo em Portugal caiu de 1,59 para 1,12 e que a quantidade de produtos nitrogenados aplicados na cultura em 81 era energeticamente maior do que toda a energia gasta no plantio de trigo em 1920.

A intensificação da utilização de produtos nitrogenados na agricultura mundial tornou-se de tal monta que levou Odum, um dos precursores estudiosos de AEE, a comentar que "o homem já não consome batatas somente produzidas a partir da fotossíntese, atualmente come batatas parcialmente feitas de petróleo".

Muitos outros estudos foram desenvolvidos em diversos países no sentido de se perceber a dinâmica da produção agropecuária para, através desse entendimento, se poder propor formas alternativas de produção visando beneficiar os agroecossistemas e, conseqüentemente, melhorar a sua produtividade.

(*) Entende-se como eficiência energética a relação entre as saídas e entradas de energia calculadas para um dado sistema. É o mesmo que rendimento energético global.

(**) Deleage, J.P. et alli - *Analyse eco-énergétique du système agricole français en 1970*. Paris, Laboratoire d'Écologie générale et appliquée de Paris VII, C.E.G.E.R.N.A. Groupe interdisciplinaire de recherche - EDEN, 1977. (Mimeo).

(***) Pires, C. B. *Energia e agricultura: o cultivo do trigo, no Alentejo nos últimos sessenta anos*. Revista Crítica de Ciências Sociais, Coimbra, nº 14, nov. 1984 - pp. 111-124.

A AEE não se baseia apenas na busca da economia de determinados tipos de energia mas, também, no custo dessas energias para gerações futuras estando-se, portanto, atento aos custos sociais e ecológicos atuais de produção e consumo.

A observação, não somente quantitativa mas, também, qualitativa, dos consumos energéticos de um sistema de produção não poderá ser realizada a partir da mera transformação de valores monetários em equivalentes energéticos pois, os valores monetários atribuídos aos diversos bens ou serviços produzidos nas sociedades de economia capitalista estão atrelados às oscilações especulativas do mercado e não ao "valor" qualitativo do trabalho incorporado nesses bens, bem como das energias necessárias a sua produção.

Assim, o estudo dos fluxos energéticos de um sistema deve ser autônomo e com uma unidade dimensional própria.

O melhor exemplo a respeito do valor econômico e valor qualitativo das energias, pode ser dado pelo preço pago por um barril de petróleo, o qual antes de 1973 oscilava em torno de U\$S 2,00 o barril, enquanto que no período atual seu preço gira em torno de U\$S 18,00 o barril, sem que necessariamente tenha sido alterado significativamente (ou na mesma proporção acima) o trabalho incorporado ao seu processo de extração e transporte.

A AEE consiste assim no estudo do funcionamento de um ecossistema através de fluxos energéticos. Esses fluxos, expressos em unidades energéticas por unidade de tempo e de superfície, tornam a AEE um método de análise da eficiência produtiva das entradas de energia na agricultura. Ao se traduzir, sob forma de energia os fatores de produção bem como os consumos intermedíários necessários à produção, a AEE viabiliza o cálculo de indicadores que, quando analisados à luz de referenciais teóricos e empíricos, permitem decidir sobre alterações nesse sistema produtivo para melhorar sua eficiência.

É importante ressaltar que a análise eco-energética é essencialmente um método de comparação. O entendimento do rendimento energético de um sistema de produção só se torna possível quando comparado a um outro sistema, desde que se tenha adotado a mesma metodologia para todos os níveis da análise. Para tanto, a AEE baseia-se na hipótese de que é possível converter numa única unidade o conjunto das diversas formas de ener-

gia que intervêm nos sistemas de produção como os combustíveis fósseis, a energia mecânica ou térmica e a energia liberada pela matéria através da alimentação humana e animal.

Assim, um sistema de produção pode aparentar ser mais eficiente do que um outro por necessitar de menores quantidades de insumos para produzir uma mesma quantidade de produtos finais. Entretanto a AEE poderá demonstrar que o valor desses insumos quando transformados em valores energéticos, podem tornar-se maiores do que os utilizados pelo outro sistema. dito me-nos eficiente e que, nesse caso, o sistema de produção que apresentaria melhores rendimentos seria, então, o segundo.

Muitos estudiosos nesse assunto ainda são contrários à "hipótese da homogeneidade" (*) das energias que entram e se transformam no sistema. Os economistas ortodoxos consideram, inclusive que a energia que entra em um sistema é apenas mais um insumo necessário à produção e que, como todos os outros, pode ser, também, substituído no processo produtivo. Esse raciocínio, entretanto, é antagônico à "hipótese da homogeneidade" pois existem vários tipos de transformações energéticas possíveis, a partir de cada energia potencial, e que essas transformações nada mais são do que formas diferentes de liberação de uma mesma energia, a energia solar.

A energia solar é captada pelas plantas através da fotosíntese e sua utilização está integrada às cadeias tróficas dos sistemas ecológicos. Cada uma das energias liberadas, entretanto, não é quantificável da mesma maneira na medida em que as "perdas" originadas pelas diferentes transformações energéticas são distintas entre si. Mas, se se conhece os coeficientes de transformação que permitem passar de uma a outra forma de energia, a "homogeneidade das energias" torna-se viável de ser realizada. A dificuldade das conversões resumir-se-ia assim na qualidade dos coeficientes de transformação que dependem do conhecimento técnico dos processos de fabrico dos produtos industriais utilizados na agricultura.

(*) Pires, C.B. *Análise eco-energética de duas cooperativas de produção agrícola da freguesia de Albermoa*. Fundação Calouste Gulbenkian. Oeiras, Portugal. 1981. p. 9.

Assim sendo, quando se utiliza indiscriminadamente coeficientes de conversão, como os calculados para os fatores de produção de um determinado país ou região, cujas tecnologias de produção são distintas daquelas utilizadas nos processos de trabalho que se deseja estudar, poder-se-á estar cometendo ê quívocos de super ou sub-utilização de energias para os processos produtivos analisados.

É importante se ter presente de que a abstração necessária para se determinar o equivalente energético das diversas formas de energia, isto é, das quantidades de energia necessárias à obtenção de cada produto, não é mais abstrata que a determinação de um valor monetário ou físico num padrão comum, de finido pelos economistas para o capital e o trabalho nas sociedades capitalistas.

Sempre que possível é necessário se buscar a elaboração dos coeficientes de conversão energética para cada conjunto homogêneo de processos de trabalho. Entretanto, quando isso não é possível por falta de domínio no conhecimento dos processos produtivos e de transportes, deve-se ter em conta essas deficiências e não fazer dos resultados encontrados um fetiche quantificado inflexível, pois, como já foi assinalado, a AEE é fundamentalmente um método de análise comparativa. Ela em si é como o cálculo econômico financeiro isolado, um resultado numérico adimensional.

3. CÁLCULO DE COEFICIENTES ENERGÉTICOS NA AGRICULTURA

A compreensão da unidade de produção agropecuária, sob a ótica da AEE, exige o conhecimento dos valores energéticos das entradas e saídas de energia dessa unidade de produção, a qual passa a ser entendida como um ecossistema. Conforme comentado no capítulo anterior o cálculo dos valores energéticos dessas entradas e saídas pressupõe o estabelecimento de um equivalente em energia, o qual é a quilocaloria - Kcal.

A Kcal é então, considerada, dentro da "hipótese da homogeneidade" das energias, como a unidade capaz de melhor expressar a equivalência energética dos fatores de produção, bem como dos produtos finais.

A produção final de um determinado sistema torna-se assim um valor energético obtido a partir da utilização dos recursos

energéticos gratuitos (recursos naturais renováveis (*)) e dos fatores de produção que também podem ser traduzidos como energia (trabalho humano, fertilizantes, etc).

Conforme Carvalho (**), o rendimento de um sistema é dado pela relação:

$$\frac{\text{Produção Bruta Ecológica}}{\text{Conjunto de Entradas de Energia}}$$
 e que se pode decompor para:

$$\frac{\text{Produção utilizada pelo homem} + \text{Produção não utilizada}}{\text{Entradas de energias (não gratuitas + gratuitas)}}$$

Pela dificuldade que se teria em quantificar a totalidade da biomassa produzida no sistema, bem como dimensionar as quantidades de energias gratuitas fornecidas ao mesmo tempo (aqui particularmente se refere à energia solar), é que se considera a relação apenas dos itens que podem ser medidos em energia (***):

$$\frac{\text{Produção utilizada pelo homem}}{\text{Entradas de energias não gratuitas}} = \frac{\text{RENDIMIENTO}}{\text{ENERGÉTICO}}$$

-
- (*) Todos os recursos energéticos gratuitos são recursos naturais renováveis, entretanto, a recíproca dessa afirmação não é considerada como verdadeira. Energia gratuita e aquela disponível na natureza e que para ser utilizada como energia primária, não necessita de investimentos energéticos. Como exemplo cita-se a energia solar, a energia das marés, dos ventos ou das chuvas. É claro que para um melhor aproveitamento dessas energias é necessário se dispender trabalho como na produção de coletores de energia solar, eólica ou hidráulica. Considera-se ainda, como energia gratuita aquela cujo "valor" econômico primitivo ainda é capaz de existir na natureza por um período muito além de nossa escala temporal.
- (**) Carvalho, A. *Análise eco-energética dos sistemas de produção agrícola da zona vitícola de Dois Portos (Torres Vedras)*. Instituto Calouste Gulbenkian de Ciência. Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1980.p.6.
- (***) A maior ou menor dificuldade de cálculo da energia total, incluindo a energia gratuita, está diretamente vinculada à possibilidade de pesquisas nesta área.

O rendimento energético calculado pela fórmula acima, permite medir a eficiência da utilização das energias não gratuitas introduzidas em um sistema. Se as energias não gratuitas podem ser qualificadas separadamente, poder-se-á, também, calcular diferentes rendimentos energéticos tais como: rendimento energético do trabalho humano, dos insumos, do capital fixo e assim por diante.

Carvalho em seu trabalho (*), desenvolveu a AEE, para dois níveis de estudo: ao nível da exploração agrícola e ao nível da família do agricultor. O primeiro estudo visa observar o desempenho da empresa agrícola propriamente dita e o segundo a situação real do agricultor face à posse dos meios de produção. Neste caso se tenta conhecer a quantidade de energia final que a família retira da unidade produtiva.

Paralelamente, Carvalho também desenvolve a análise econômica da exploração comparando, a partir das formulações teóricas, os diferentes rendimentos eco-energéticos com as diversas produtividades que alicerçam a análise econômica.

Assim, essa AEE respaldou-se nos seguintes indicativos:

(*) Carvalho, A. op. p. 7.

AO NÍVEL DA EXPLORAÇÃO AGRÍCOLA

Análise eco-energética

- a₁ rendimento energético do trabalho. Energia obtida por unidade de energia do trabalho.

$$R_t = \frac{E}{T} \text{ sendo } E \text{ a energia sai}$$

da do sistema e T energia gasta em trabalho humano.

- b₁ rendimento energético global

$$R_g = \frac{E}{T_1} \text{ sendo } T_1 \text{ a energia colocada no sistema.}$$

- c₁ nível de intensificação energética $\frac{E}{SAU}$ sendo SAU a superfície agrícola útil.

- d₁ rendimento energético do capital

$$R_c = \frac{E}{M} \text{ sendo } M \text{ o investimento em capital fixo expresso em Kcal.}$$

- e₁ rendimento energético dos consumos intermédios

$$\frac{E}{CI} \text{ sendo } CI \text{ o valor dos consumos intermédios expresso em Kcal.}$$

Análise económica

- a₂ produtividade do trabalho $\frac{PB}{UHT}$ sendo PB o volume da produção e UHT unidade homem trabalho (*).

- b₂ produtividade total dos fatores (**)

$$\frac{PB}{\text{volume (trabalho + capital consumido + consumo intermédio)}}$$

- c₂ produtividade da terra

$$\frac{PB}{SAU} \text{ sendo } PB \text{ o volume da produção.}$$

- d₂ produtividade do capital

$$\frac{PB}{CFI} \text{ sendo } CFI \text{ o capital fixo inanimado}$$

- e₂ produtividade dos consumos intermédios

$$\frac{PB}{CI} \text{ sendo } CI \text{ o valor dos consumos intermédios.}$$

(*) Uma UHT corresponde à quantidade de trabalho que normalmente é fornecida por uma pessoa válida 18 a 64 anos. Considera-se (em Portugal) que uma UHT equivale a 2400 horas de trabalho anual.

(**) A produtividade total dos fatores é dada pelo somatório das seguintes relações das produtividades parciais:

$$\text{PRODUTIVIDADE DO TRABALHO} = \frac{\text{volume da produção}}{\text{volume do trabalho}}$$

$$\text{PRODUTIVIDADE DO CAPITAL} = \frac{\text{volume da produção}}{\text{volume do capital fixo produtivo}}$$

$$\text{PRODUTIVIDADE DOS CONSUMOS INTERMÉDIOS} = \frac{\text{volume da produção}}{\text{volume do capital fixo intermédios}}$$

AO NÍVEL DO AGRICULTOR

Os indicadores são semelhantes aos apresentados no item anterior (ao nível da exploração agrícola) substituindo-se, entretanto, a energia entrada do sistema (E) pela energia recebida pelo agricultor que são basicamente os alimentos por ele consumidos ou, no caso de somatório das forças de trabalho da unidade familiar, o total de alimentos consumidos por ele e pelo agregado familiar (crianças inclusive).

Uma freqüente dificuldade com que se depara no desenvolvimento da AEE é o conhecimento do valor energético dos produtos importados. Existem vários procedimentos para se solucionar questões desse tipo.

Entre as diferentes abordagens para se efetuar o cálculo do valor energético dos produtos importados pode-se comentar, ainda que apresentando limitações, a desenvolvida por Pires (*), no sentido de solucionar as questões referentes aos valores energéticos dos insumos importados por Portugal para a agricultura, pois, a maior parte dos fatores de produção utilizados pelo setor agrícola deste país são importados e não se conhecem seus equivalentes em energia primária.

Assim, Pires determinou os seguintes procedimentos para equacionar tal situação:

- se o produto não tem similar nacional, recorre-se ao equivalente monetário e aplica-se a taxa de câmbio no equivalente monetário do país de origem;
- se o produto importado também é fabricado no país, com técnicas de produção semelhantes, aplica-se o coeficiente de equivalência utilizado no país de origem acrescentando o valor da energia consumida no transporte.

(*) Pires, C.B. *Análise eco-energética de duas cooperativas de produção agrícola da freguesia de Albermoa*. Instituto Gulbenkian de Ciência. Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1981. 68p.

No caso de Portugal, para o cálculo do valor energético de um escudo em calorias partiu-se do valor monetário do PNB e dos valores do consumo calórico de energia, alimentos e de lenha em um mesmo ano. Nesse caso, o ano de escolha por ele de terminado foi 1975. Então, Pires chegou ao resultado de que um escudo valia $2,50 \times 10^2$ Kcal.

O melhor procedimento, entretanto, consiste em não se utilizar do artifício monetário como equivalente energético pois este não traduz o custo energético do produto uma vez que o preço dos produtos está atrelado à economia de mercado. Assim, o procedimento mais eficiente e preciso para se determinar o equivalente energético de um dado produto seria o conhecimento físico do seu processo de fabricação e a determinação dos valores energéticos nele embutidos.

O procedimento para a obtenção dos dados da unidade de produção, necessários ao cálculo energético, é o do inquérito direto e a análise das contabilidades existentes.

Para a realização do cálculo da biomassa animal é necessário conhecer todo o movimento do rebanho e o peso dos animais durante o período definido como o do exercício agrícola, bem como efetuar o inventário de abertura e encerramento do rebanho durante esse período. Nesse sentido, o cálculo para o conhecimento do peso de cada espécie animal é dado pelo somatório das seguintes parcelas:

$$\text{EFETIVO MÉDIO} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

onde P_1 é o peso dos animais do início do exercício menos o somatório dos pesos dos animais vendidos, perdidos e autoconsumidos.
 P_2 é o peso dos animais no fim do exercício, menos o somatório do peso dos animais comprados e nascidos no sistema.

$$\text{PESO DOS ANIMAIS VENDIDOS} = \frac{a+b}{2} \times \frac{\text{Nº de dias de presença}}{365}$$

onde a é o peso dos animais vendidos à data do registro de sua existência ou entrada;

b é o peso dos animais à data da venda.

$$\text{PESO DOS ANIMAIS COMPRADOS} = \frac{c + d}{2} \times \frac{\text{n}^\circ \text{ de dias de presença}}{365}$$

onde c é o peso dos animais à data da compra;

d é o peso dos animais comprados à data do registro sua saída.

$$\text{PESO DOS ANIMAIS AUTO-CONSUMIDOS} = \frac{e + f}{2} \times \frac{\text{n}^\circ \text{ de dias de presença}}{365}$$

onde e é o peso dos animais autoconsumidos à data do registro de sua existência ou entrada;

f é o peso dos animais à data do abate.

$$\text{PESO DOS ANIMAIS PERDIDOS} = \frac{g + h}{2} \times \frac{\text{n}^\circ \text{ de dias de presença}}{365}$$

onde g é o peso dos animais perdidos à data do registro de sua existência ou entrada;

h é o peso dos animais à data da perda.

O equivalente calórico é determinado pela relação de 1 grama de peso vivo corresponder a 1,5 Kcal.

Entretanto, pode-se utilizar o valor protéico das diferentes carnes animais ao invés do peso vivo e cuja equivalência energética varia de espécie para espécie. Esse valor corresponde mais à realidade energética quando os animais são consumidos como alimento, pois, não é contemplado assim o valor energético dos ossos, couro, pelos, penas, etc.

Para a biomassa vegetal o cálculo energético é baseado no levantamento do resultado do inquérito da unidade de produção e que, pelos volumes vendidos, trocados ou autoconsumidos pela unidade familiar tem-se o valor das saídas energéticas. É importante esclarecer que os produtos de origem vegetal utilizados para a alimentação animal não são computados como saídas de energia quando considerado o estabelecimento agrícola como um todo), pois se caso o fossem, estariam sendo somados duas vezes: uma como produto vegetal propriamente dito e outra como carne, ovos ou leite produzidos pela nutrição dos animais.

No caso da produção vegetal para sementes, computa-se seu valor como saída energética.

O cálculo da biomassa humana é determinado como as informações sobre o sexo, idade e peso dos agregados familiares e dos trabalhadores que esporadicamente venham a ser contratados. O valor energético da biomassa humana segue metodologia análoga à utilizada para a biomassa animal.

O conhecimento dos valores de todos os dados necessários ao cálculo dos indicadores para a AEE são extraídos da unidade produtiva mediante inquérito junto ao produtor e o agregado familiar. A montagem desse inquérito, entretanto, é baseada no conhecimento prévio da região a ser estudada bem como do tipo de produtor a ser inquirido.

4. A ANÁLISE ECOLÓGICA-ENERGÉTICA APLICADA AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIO FAMILIARES

A unidade de produção do tipo familiar apresenta características que a diferenciam da empresa capitalista clássica. A unidade de produção familiar está sendo compreendida aqui como "(...) o conjunto de indivíduos proprietários dos meios de produção e produtores simples de mercadorias cuja força de trabalho contratada externamente ao grupo doméstico produtor direto, para a realização do processo de trabalho, não ultrapasse, em trabalho produzido, o valor desta" (*). A unidade de produção do tipo familiar se tem caracterizado, também, pela tendência a apresentar uma maior diversificação da produção e um autoconsumo parcial da produção gerada internamente, ainda que contemporaneamente já se verifique em determinadas regiões do país uma intensa articulação entre a agroindústria e as unidades de produção familiares induzindo estas a uma especialização na produção.

Além disso, a unidade familiar permeia a produção agropecuária com a própria reprodução do seu agregado familiar o que impossibilita aos estudos de economia pura encontrar resultados satisfatórios de produtividade desses sistemas de exploração agrícola.

(*) Carvalho, H.M. *A estrutura das classes sociais no campo - versão preliminar*. Curitiba. Nov/86. p.31 (mimeo)

Desse modo, tornou-se necessário buscar indicadores de rendimentos energéticos, que viabilizassem a comparação dessas unidades produtivas com outras de produção do tipo empresarial ou mesmo familiar, mas que necessariamente não realizam ampla diversificação da produção.

Para a demonstração desses indicadores será utilizado como referência duas pesquisas realizadas em Portugal, uma tratando dos sistemas de produção leiteira e a outra dos sistemas de produção onde as culturas predominam sobre as criações (*).

Ambas as pesquisas tinham como objetivo central da análise a comparação entre sistemas de produção. Entretanto, as diferenças nas estruturas produtivas dos sistemas em análise levou à busca de soluções capazes de viabilizar a comparação, pois conforme Pires, a AEE "não é a simples leitura comparada de rendimentos que são meros indicadores. É necessário analisar a importância das estruturas das entradas e saídas de energia se se pretende proceder à comparação de sistemas de produção cuja orientação dominante é diferente" (**).

No trabalho de Barros são comparados três sistemas de produção onde a maior parte do rendimento bruto é devido à produção de origem animal. Assim, as quantidades dos produtos vegetais, das unidades produtivas estudadas, foram incluídos na cadeia de produção de leite ficando, então, todas as saídas energéticas expressas em "proteína animal corrigida", podendo-se assim utilizar como indicador de análise a "energia investida por quilograma de proteína animal "corrigida". Trata-se de um rendimento abstrato na medida em que o regime alimentar das vacas produtoras de leite não é necessariamente constituído de todos os produtos vegetais produzidos na natureza tais como frutas, verduras, etc. apesar de serem produtos com aplicabilidade na dieta dos animais.

(*) Barros, V.C. *Sistemas de produção leiteira na Beira Litoral*. Instituto de Investigação Agrária. Caderno Nº 8, Julho, 1982. 93 p.

Pires, C.B. *Análise eco-energética de duas cooperativas de produção agrícola da freguesia de Albernoa*. Fundação Calouste Gulbenkian. Oeiras, 1981. 69 p.

(**) Pires, C.B. P. cit., pp. 39.

A conversão do valor energético dos produtos agrícolas em unidades forrageiras - UF dar-se-á através dos seguintes procedimentos:

- quantidade do produto em apreço multiplicado pelo coeficiente de transformação do produto em UF (*);
- total de UF obtidas no passo anterior, para o produto em apreço multiplicado pelo coeficiente de 0,4 (**) o que dará a conversão do valor das UF desse produto em litros de leite;
- convertido cada produto em número de litros de leite, e sabendo-se que 1 litro de leite possui 0,034 kg de proteína, pode-se calcular então o valor protéico a que corresponde cada produto agrícola.

A seguir apresenta-se resumida exposição do que é considerado atualmente como unidade forrageira para fins de estudos e pesquisas.

Unidade forrageira (***) é uma unidade de mensuração de entrada de energia líquida de 1 kg de forragem. Existem, pois, várias unidades forrageiras: UF Leroy, UF Scandinava, UF de leite e UF de carne. Todavia, dessas unidades, as duas últimas, ou sejam, a UF leite e a UF carne, são mais gerais e apresentam melhores possibilidades técnicas para sua utilização no Brasil

-
- (*) Esses coeficientes expressam a composição química e valor forrageiro dos alimentos calculados nos institutos de pesquisa como, por exemplo, os apresentados na Tabela de Composição dos Alimentos do Estudo da Despesa Familiar (ENDEF) da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
 - (**) Nas tabelas européias já está estimado que para cada litro de leite produzido uma vaca consome 0,4 UF.
 - (***) Essas unidades forrageiras, bem como sua explanação teórica constam no Dicionário "Larousse Agricole".

UNIDADES FORRAGEIRAS DE CARNE

Para melhor se ter em conta os dados de pesquisas mais recentes, respeitantes à utilização de Energia Metabolizável pelo ruminante para as suas diferentes produções, os pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisa Agronômica (CRZV de Theix) elaboraram uma nova avaliação do valor da unidade forrageira da cevada, aqui utilizada como exemplo para a compreensão do cálculo da UF.

A expressão energética das entradas alimentares e das necessidades dos animais se efetua em energia líquida a partir do valor energético de 1 Kg de cevada de referência. Este valor é diferente para a produção do leite (UFL) e para a engorda (UFC). Distingue-se por conseguinte:

- o sistema UFL para as fêmeas leiteiras, novilhas e machos com ganho de peso lento (menos de 700 grs/dia);
- o sistema UFC para animais destinados à produção de carne com velocidade de crescimento elevada (mais de 700 grs/dia).

No sistema UFL (unidade forrageira leite)

$$\text{Valor Forragem Leite} = \frac{\text{EM} \times (0,463 + 0,002 \text{ q})}{1730}$$

onde: EM é a energia metabolizável pelo animal (*);

q é a relação da energia metabolizável com a energia bruta.

(*) A energia bruta-EB, é igual ao total da soma da energia digestível-ED mais a energia das perdas - E perdas (fezes e urina) e a energia digestível é igual ao total da soma da energia para a manutenção - E manutenção (respiração) mais a energia metabolizável - EM. Esta, por sua vez, subdivide-se em energia para conservação - E conservação (crescimento, reprodução), mais a energia líquida. EL, ou energia para produção (de carne, leite, ovos, lã, etc.). Assim tem-se: EB = E perdas + ED; ED = E manutenção + EM; EM = E conservação + EL. Os cálculos dos valores dessas quantidades de energia, expressas em Kcal por Kg de matéria seca, são realizados nas instituições de pesquisa que elaboram tabelas que permitem o conhecimento desses valores, mais par

No sistema UFC (unidade forrageira carne)

$$\text{Valor Forragem Carne} = \frac{\text{EM} \times \text{Kmf}}{1855}$$

$$\text{onde; Kmf} = \frac{(0,287 \text{ q} + 0,554) \times (0,78 \text{ q} - 0,006) \times 1,5}{0,922 + 0,28}$$

Os valores das UF dos produtos vegetais já se encontram calculados e ordenados em tabelas utilizadas nos diversos estudos que vêm sendo realizados em Portugal e em outros países europeus.

Um exemplo prático desse cálculo pode ser demonstrado com um inventário hipotético de uma unidade de produção que tenha produzido durante um ano 9.500 Kg de batatas, 4.800 Kg de milho 300 Kg de feijão, 7000 litros de leite e 160 Kg de carne bovina em peso vivo.

Esses produtos equivalem a 950 Kg de proteína animal "corrigida" calculada da seguinte forma:

Batata	_____	9.500 Kg x 0,24 (a)	= 2.280 UF
Milho	_____	4.800 Kg x 1,16 (a)	= 5.568 UF
Feijão	_____	300 Kg x 1,03 (a)	= 309 UF
T O T A L	+	8.157 UF

Se 0,4 UF equivalem a 1 ℓ de leite, 8.157 UF equivalem a 20392.5 litros de leite.

particularmente o valor da EM, para os diferentes produtos consumidos por cada tipo de animal.

- valores recolhidos da tabela de Composição e Valor Forrageiro dos Alimentos Portugueses de autoria de Joaquim da Silva Portugal, (mimeo).
- valores recolhidos da tabela de Composição de Alimentos do Estudo Nacional da Despesa Familiar da FIGBE.
- valor correspondente ao rendimento percentual da carcaça bovina.

Sabendo-se que: 1 litro de leite tem $0,034^{(b)}$ Kg de proteína e
 1 Kg de carne (peso morto) tem $0,2^{(b)}$ Kg de proteína tem-se:

1º em leite: 7.000 litros + 20.392,5 litros = 27.392,5 litros e, multiplicando por 0,034 tem-se: 931,35 Kg de proteína animal;

2º em carne: $160 \text{ Kg} \times 0,55^{(c)} \times 0,2^{(b)} = 17,6 \text{ Kg}$ de proteína animal;

3º em proteína animal "corrigida" total: $931,35 + 17,6 = 948,95 \text{ Kg}$.

Reportando-se agora aos estudos mencionados, Barros analisou três sistemas de produção e considerou a exploração C como sendo o modelo de pecuária do tipo empresarial por corresponder em tamanho e um número de cabeças, aos modelos preconizados nos estudos de produção e produtividade sendo portanto esse sistema, de acordo com tais modelos, o único dos três capaz de evoluir para níveis altos de produção, quer em quantidade quer em qualidade.

Assim, Barros fez corresponder a 100 todas as eficiências calculadas para a exploração C e proporcionalizou a este valor os resultados encontrados para as outras explorações.

Apesar das teses defendidas em diversas instituições governamentais portuguesas sobre a ineficiência da pequena propriedade e de que só as explorações com efetivo superior a 20 cabeças e com área suficiente é que são capazes de evoluir produtivamente, a exploração C, entretanto, somente apresentou-se superior às outras duas no cálculo da produtividade do trabalho.

Na Tabela 1, apresenta-se os valores físicos das três explorações, os índices de produtividade calculados e o rendimento energético global

Com efeito, o estudo que Barros desenvolveu demonstrou que a exploração agrícola A, com 1,1 ha de área total, foi a que apresentou melhor produtividade total dos fatores de produção, da terra, dos insumos, melhor rendimento energético e menor quantidade calórica investida por Kg de proteína animal produzida.

TABELA 1

VALORES FÍSICOS, ÍNDICES DE PRODUTIVIDADE E RENDIMENTO
ENERGÉTICO EM UNIDADES DE EXPLORAÇÃO LEITEIRA. BEIRA
LITORAL; PORTUGAL 1982

INDICADORES \ EXPLORAÇÃO	A	B	C
Área (ha)	1,1	9,9	51,6
Nº de cabeças	2	18	77
Produtividade da terra	229	167	100
Produtividade do trabalho	51	61	100
Produtividade dos consumos intermédios	236	171	100
Produtividade do capital fixo inanimado	315	79	100
Produtividade total dos fatores	156	133	100
Energia investida por Kg de proteína animal produzida (10 ³ Kcal)	58,9	89,1	181,3
Rendimento energético global	0,4	0,2	0,1

Fonte dos dados: Barros. V.C. op.cit.

Tabela elaborada por: Angela C. Macedônio.

O objetivo do trabalho de Barros era de lançar pistas sobre alguns aspectos da intensificação da produção leiteira em Portugal e de como ela vem se manifestando na prática, pois, apesar de todo um conjunto de políticas agrícolas dirigidas para a produção do tipo empresarial, e não as do tipo familiar predominantes nesse país, o que vem se percebendo é que as pequenas explorações agrícolas é que realmente têm atingido os melhores índices de produção e de produtividade. Daí, a tentativa de Barros em demonstrar, através do estudo de três explorações tipo, a incoerência entre o preconizado teoricamente pelos diversos segmentos do Governo de Portugal e o que realmente é observado a campo.

Da mesma forma, Pires (*) para tornar comparáveis os sistemas de produção que analisou, transformou as calorias animais produzidas em cada sistema em equivalentes de produção vegetal primária, pois, ao contrário do trabalho de Barros, as unidades de produção nesse caso tinham uma produção vegetal mais significativa que a produção animal. Entretanto, o motivo principal da citação do estudo de Pires situa-se ao nível da comparação por ele realizada entre a AEE e a análise técnico-econômica.

Pires estudou duas unidades de produção agrícola, designadas aqui como exploração A e exploração B, situadas no mesmo distrito e criadas pelos trabalhadores rurais, como consequências das alterações sociais e políticas ocorridas após abril de 1974.

A Tabela 2 a seguir, apresenta os indicativos econômicos levantados por Pires nas explorações analisadas. A exploração A apresenta uma produtividade total dos fatores, do trabalho e do capital fixo inanimado maior que a exploração B que só se apresenta mais produtiva no indicador dos consumos intermédios. A alta produtividade do trabalho e do capital fixo inanimado na exploração A é devido à baixa produtividade dos consumos intermédios (aluguel de material, conservação, aquisição de insumos, pagamento de luz, água, etc).

"A análise técnico-econômica leva-nos a concluir estarmos em presença de duas explorações diversas no que respeita ao grau de intensificação do sistema de produção, ao alongamento do processo produtivo e à tecnologia pecuária utilizada, revelando a exploração A maiores produtividades totais e parciais, com exceção dos consumos intermédios, consequência em parte do emprego mais intensivo do capital" (**).

(*) Pires, C.B. op. cit.

(**) Pires, C.B. op. cit., p. 50.

TABELA 2

ÁREA E CRITÉRIOS DE EFICIÊNCIA ECONÔMICA DE EXPLORAÇÕES
AGRÍCOLAS, ALBERNOA, PORTUGAL. 1981

EXPLORAÇÃO	A	B
INDICADORES		
Área (ha)	842,16	1 222,81
Produtividade total dos fatores	1,74	1,50
Produtividade do trabalho	5,67	3,12
Produtividade do capital fixo inanimado	15,03	11,42
Produtividade dos consumos intermédios	3,01	3,84
Produtividade da terra (escudos)	16 305 \$ 00	4 599 \$ 00

Fonte dos dados primários: Pires, C.B. op. cit., p. 50.

Tabela elaborada por: Angela C. Macedônio.

Por outro lado, ao serem analisados os rendimentos energéticos das duas explorações, Pires concluiu que ao contrário do que havia observado pela análise técnico-econômica, a exploração B é que era mais eficiente que a exploração A pois, a partir do estudo da capacidade de suporte meio (*), ficou demonstrado que a exploração B vem aproveitando melhor os recursos energéticos disponíveis necessitando, portanto, de menores quantidades de energias externas ao sistema para produzir uma determinada quantidade de energia.

Assim, por exemplo, Pires demonstrou que, o índice de intensificação energética mostra que a exploração B utiliza cerca de 92% da sua capacidade de suporte ao passo que a exploração A utiliza somente 72%.

A Tabela 3 finaliza esta apresentação demonstrando os diferentes valores de rendimento energético calculados no documento em apreço.

(*) Corresponde à produção máxima do ecossistema, ou seja, é quando se utiliza todos os recursos possíveis de energia gratuita de um determinado sistema.

TABELA 3
INDICADORES ENERGÉTICOS CALCULADOS COM BASE EM CONTAS
DE CULTURA

EXPLORAÇÃO	A	B
INDICADORES		
Rendimento energético global ao nível da exploração	1,48	2,81
Rendimento energético do trabalho humano	171,72	198,48
Rendimento energético do capital fixo inanimado	14,48	21,60
Rendimento energético dos consumos intermédios	1,66	2,52
Intensificação energética	555,82	241,78

Fonte: Pires, C.B. op. cit., p.55.

O objetivo da exposição desses trabalhos realizados em Portugal foi o de demonstrar a potencialidade da AEE em fornecer inúmeras informações sobre a unidade de produção agropecuária.

Tais informações, quando avaliadas convenientemente, podem trazer respostas a problemas de desenvolvimento, não só da estrutura da produção, mas também da situação social e ecológica dos sistemas de produção.

Assim, é que, em Portugal, após a realização de estudos e análises, particularmente de análises eco-energéticas, os governos do país que assumiram após abril de 1974, começaram a buscar soluções que viabilizassem a pequena produção pecuária leiteira, pois, essa representava mais de 90% dos produtores rurais com até 5 vacas.

5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BARROS, V.C., *Sistemas de produção leiteira na beira litoral*. Caderno nº 8, Instituto Nacional de Investigação Agrária. Departamento de Estudos de Economia e Sociologia Agrárias. Lisboa, julho 1982. 93 p.
- CARVALHO, A., *Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de "Torres"*. Instituto Gulbenkian de Ciência, Centro de Estudos de Economia Agrária Oeiras, 1974. 79 p.
- _____, *Tipologia das explorações agrícolas da sub-região vitícola de "Torres"*. Instituto Gulbenkian de Ciência, Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1979. 79 p.
- _____, *Análise eco-energética dos sistemas de produção agrícola da zona vitícola de Dois Portos (Torres Vedras)*. Instituto Gulbenkian de Ciência, Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1980, 43 p.
- _____, *Pequenos e médios agricultores e a Política Agrária no período 1960-1975. Perspectivas de Desenvolvimento da Agricultura*. Instituto Gulbenkian de Ciência, Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1984 423 p.
- _____, *Estratégia de Desenvolvimento da pequena Agricultura na região de Entre-Douro e Minho*. Fundação Calouste Gulbenkian, Centro de Estudos de Economia Agrária. Lisboa, 1985. 66 p.
- CARVALHO, H.M., *Tecnologia Socialmente -apropriada: Muito além da questão semântica*. Londrina, IAPAR. Agosto/1982, 36p. (documento 4).
- _____, *A estrutura das classes sociais no campo. Versão preliminar*. Curitiba, novembro/1986. 66 p.
- FRAGATA, A., *Aplicação da análise eco-energética a um ecossistema agrícola do Minho - análise económica da exploração agrícola*. (documento de trabalho). Instituto Nacional de Investigação Agrária. Departamento de Estudos de Economia e Sociologia Agrárias. Lisboa. Fevereiro, 1980. 104 p.

_____, *As Cooperativas de Produção agrícola da Freguesia de Albermoa*. Instituto Gulbenkian de Ciência. Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1981. 45 p.

_____, *Política de emprego e intensificação das atividades desenvolvidas numa cooperativa de produção agrícola*. Instituto Gulbenkian de Ciência. Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1981. 22 p.

_____, *Análise eco-energética de duas cooperativas de produção agrícola da Freguesia de Albermoa*. Instituto Gulbenkian de Ciência. Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1981. 69 p.

_____, *Operários - agricultores. O caso de Águeda*. Fundação Calouste Gulbenkian. Centro de Estudos de Economia Agrária. Oeiras, 1984. 24 p.

_____, *Energia e Agricultura. A cultura do trigo no Alentejo nos últimos sessenta anos*. Revista Crítica de Ciências Sociais. Coimbra, 14 de novembro de 1984. p.111-124.

SILVA, J.V., *Écologie et développement; le rôle de l'énergie*. Paris, Université Paris VII/Laboratoire d'Écologie Générale et Appliquée, s.d. 10 p.

STANHILL, G., *Energy and Agriculture*. Springer - Verlag, Berlin-Heidelberg, Nova Iorque-Tóquio, 1984. 192 p.

* * *

PLANEJAMENTO ENERGÉTICO REGIONAL E
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS
APROPRIADAS PARA O MEIO RURAL

Maria Solange Maroni Vidal ()*

() Mestre em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de
Paraíba/U.F.Pb
Coordenadora do Núcleo de Energia NERF/UFPb*

ÍNDICE

Resumo	181
1. Introdução	182
2. A importância da Informação para o planejamento energético	182
2.1 Balanço Energético Nacional	182
2.2 Balanço Energético Regional (BER)	183
2.3 A Necessidade do Balanço Energético Rural	184
2.4 A Experiência da Universidade de Los Andes	184
2.4.1. Realização do BE Rural da Colômbia	185
3. Tecnologia Apropriada	189
3.1 Integração Universidades/Centros de Pesquisa/ Indústria/Produtores	189
3.2 Transferência de Tecnologia	190
3.3 A Experiência do Centro de Las Gaviotas	192
3.3.1 Origem do Centro	192
4. Estado-da-Arte	195
4.1 Política no Brasil	195
4.2 Política no Nordeste do Brasil	195
4.3 Quadro Atual	196
5. O caso do Nordeste e do Estado da Paraíba	197
5.1 Secretaria das Minas e Energia Seguindo as Diretrizes do PIMEB	198
5.2 Atuação na Universidade Federal da Paraíba em Fontes Alternativas de Energia	198
5.2.1 NERG - Núcleo de Energia	199

6.	Proposta de um plano de atuação para a efetivação de um Planejamento energético na região rural	201
6.1	Linhas Específicas para Planejamento de Energia na Área Rural	201
6.1.1	Construção de Balanço Energético Rural para a confecção de um modelo energético rural onde será definido	201
6.1.2	Economia de Energia	201
6.1.3	Contabilidade Energética	202
6.1.4	Política Energética	202
7.	Proposta para uma política de transferência de Tecnologia Alternativa	203
7.1	Na Geração	203
7.2	No Estudo e Pesquisa	203
7.3	Na Extensão	205
7.4	Na Fabricação	205
8.	Conclusões	206
9.	Bibliografia	206

* * *

RESUMO

O meio rural ressen-te-se de uma melhor atenção, que correspon-da à incorporação de novas tecnologias, estreitamente ligadas com os recursos naturais e os estilos de produção per-tinentes à região e ao meio sócio-econômico.

Na transferência de tecnologia, as Universidades e Ins-tituições de pesquisas não têm sido suficientemente sensíveis na escolha correta dos temas, guardando nas "prateleiras" os pacotes desenvolvidos.

O sistema de financiamento à agricultura, aliado aos programas de extensão rural, recebem forte pressão das em-presas multinacionais, sendo estas um dos principais obstácu-los à colocação de tecnologias apropriadas no meio rural.

E recente, porém com frutos já significativos, o apare-cimento de grupos de pesquisa em tecnologia e planejamento de energia. No entanto, pouco tem sido feito na direção de Ba-lanços Energéticos Rurais.

A América Latina tem demonstrado um vivo interesse nesta direção, e observações efetuadas na Argentina e Colômbia se-rão abordadas neste texto.

Algumas recomendações de natureza Institucional e espe-cíficas, nos campos de planejamento de energia e transferên-cia de tecnologia são também fornecidas.

1. INTRODUÇÃO

Hoje se reconhece que a crise petrolífera da década passada não foi um fenômeno conjuntural e transitório que afeta unicamente as economias dos países industrializados importadores de petróleo, e se constitui em uma realidade profunda e duradoura que indubitavelmente tem gerado e seguirá conduzindo mudanças significativas nas economias de todo o mundo.

As mudanças não se referem unicamente às tecnologias e padrões de uso energético, aos preços relativos dos diferentes combustíveis ou a outras condições tipicamente econômicas ou técnicas, mas também aos mecanismos e instrumentos de planejamento empregados tradicionalmente para a tomada de decisões no setor energético.

2. A IMPORTÂNCIA DA INFORMAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Um balanço energético é simplesmente um "conjunto de relações de equilíbrio que contabiliza os fluxos físicos pelos quais a energia se produz e se troca com o exterior, transforma-se, consome-se, etc. tudo isto calculado em uma unidade comum, dentro de um dado país e para um período determinado (geralmente um ano). Tomado isoladamente, o balanço dá uma imagem das relações físicas do sistema energético.

É através de sua relação com outras variáveis sócio-econômicas que o balanço se converte num instrumento de planificação" Olade, 1980, p.2.

2.1 Balanço Energético Nacional (BEN)

Os países industrializados com suas estruturas, estatísticas, humana e financeira rapidamente criaram uma série de modelos matemáticos para planejamento, avaliação e projeções das alternativas energéticas nacionais.

Nos países em desenvolvimento também tem sido relativamente rápida a mobilização de recursos financeiros e humanos para a compreensão, análise e a solução dos problemas energéticos.

Como característica deste movimento, e preocupação dominante, temos os balanços energéticos em quase todos os países da América Latina, sejam orientados pela OLADE sejam instituídos pelos próprios governos.

O surgimento de grupos de estudo e de pesquisa, neste setor, visando o planejamento, análise das relações e necessidades energéticas, tem se tornado uma constante, influenciando e direcionando os meios decisórios dos países.

2.2 Balanço Energético Regional (BER)

O modelo Energético Nacional aplicado ao Nordeste com sua estrutura globalizada não responde às necessidades específicas da região e sugere o desenvolvimento de uma metodologia voltada para o planejamento regional de energia, integrado com sua estrutura produtiva, sua realidade sócio-econômica e seus recursos naturais bem como o uso de fontes alternativas de energia convivendo com as atuais.

Torna-se necessário, portanto, estabelecer um estudo específico para avaliar o uso, oferta e potencial energético da região.

A quase inexistência de dados confiáveis sobre reservas recursos, produção, centro de transformação e consumo por setor de atividade econômica, torna difícil o ataque ao problema.

A penetração e participação de uma determinada fonte de energia, ou sua substituição por outra, constitui-se numa questão de disponibilidade física (recursos naturais) e de viabilidade econômica, que necessitam ser identificados e estudados, haja vista implicarem diretamente na adoção de uma Política Energética Regional.

2.3 A Necessidade do Balanço Energético Rural

A situação nacional é duplamente mascarada, uma vez que as quantidades de energia requeridas no BEN não permitem realçar tipos de fontes descentralizadas e de pequenas contribuições num horizonte até o ano 2000. Em segundo lugar, o desenvolvimento fortemente desigual do território nacional indica que o uso de certas fontes seria bem mais adequado e economicamente viável em setores produtivos rurais e em empregos de conforto ambiental em localidades distantes dos centros urbanos.

As possibilidades de uma intervenção real no meio rural, das fontes de energia não convencionais, cujos resultados levam a uma modificação na situação energética regional, geram a necessidade de uma abordagem específica, porém não divorciada do conjunto, para se conhecer e analisar as grandes do consumo rural, a produção de combustíveis auto-apropriados, assim como as relações entre produção e utilização de tecnologias alternativas. Com base nestes estudos pode-se elaborar metodologias de planificação, onde as decisões adotadas possibilitem um desenvolvimento harmônico e integrado nos diversos campos: social, tecnológico e econômico.

2.4 A Experiência da Universidade de Los Andes.

A Universidade de Los Andes, Instituição Privada, localizada na cidade de Bogotá, cujas estruturas de ensino, pesquisa e instalações de laboratórios estão consolidadas, dado ao nível de ensino e pesquisa desenvolvido pelos seus vários departamentos, mantém um lugar de vanguarda no país.

A necessidade de uma integração da Universidade ao meio colombiano, principalmente o rural, faz com que ela venha progressivamente se voltando para o setor de energia e desenvolvimento de tecnologia alternativa.

A partir de trabalhos realizados, durante quase uma década, por estudantes (tese de graduação) e professores da Faculdade de Economia e Engenharia, verifica-se um direcionamento das linhas de trabalho para o setor de energia rural. As necessidades do meio são avaliadas e podem ser resumidas da seguinte maneira: Agroindústrias, Centrais Térmicas, Dejetos e sua utilização, Energia Eólica, Energia Hidráulica, Energia Solar, Obras civis, Refrigeração e Tratamento d'água. Estes estudos de tecnologia apropriada têm sido direcionados às comu-

nidades pequenas. Contudo, se bem que a energia seja necessária ao desenvolvimento local ela pode ser cara e inacessível para os grupos de baixa renda. As buscas de soluções das necessidades energéticas têm tropeçado com sérios problemas: altos custos, ineficiências de adaptação entre a solução e as necessidades reais que não são energéticas, senão de bem-estar, saúde, condições de trabalho, possibilidade de mudanças nas formas de produção e cultura dos próprios usuários. As tecnologias energéticas já existem num amplo leque, porém muitas delas são definitivamente desadaptadas sem um cuidadoso procedimento de escolha, transferência e desenvolvimento.

Trata-se de usar basicamente as análises sócio-econômicas como orientação para adaptação ou rejeito social das soluções técnicas. A adoção destas soluções, agora podem aplicar-se, mais extensamente que no passado, às soluções dos problemas reais de necessidades mais críticas.

As experiências positivas mostram que, em ótimas condições de adaptação da solução técnico-administrativa a grupos humanos associadas às suas necessidades, têm produzido benefícios reais nos campos sociais, agro-econômicos, educacionais, etc. Trata-se, portanto, atingir esquemas que permitam elevar de forma significativa a eficiência social.

Reafirmando sua vocação para planejamento energético e desenvolvimento de pesquisas em tecnologias apropriadas, a Universidade de Los Andes reformulou sua estrutura adotando as seguintes políticas: criação de grupos interdisciplinares formando um Programa Conjunto de Energia com pesquisadores das áreas de Economia e Engenharia. Inclusão de várias disciplinas sobre energia (aproximadamente 13 disciplinas) na graduação curricular. Adoção de uma opção de especialização nas carreiras profissionais com o título de "Especialização menor em Energia" e duração 16 a 18 créditos cursados durante os últimos semestres do curso.

2.4.1 Realização do BE Rural da Colômbia

Nos últimos anos, a Colômbia tem realizado esforços tanto para construir os balanços tipo OLADE e consolidar as bases para sua atualização permanente, como para explicar e modelar o comportamento e perspectivas do sistema energético global do país. O ENE - Estudo Nacional de Energia complementando este esforço tem abordado o setor rural de uma forma mais compreensiva e conjunta. Ainda assim o setor rural não apare-

ce na forma explícita ante o desenvolvimento das grandezas do consumo rural de combustíveis de qualquer natureza e da produção de combustíveis autoapropriados. Diante da impossibilidade de estabelecer as relações entre um balanço energético físico e seu contexto tecnológico, econômico e sócio-cultural se chegou à conclusão que para o caso do setor rural colombiano, era necessário empreender uma pesquisa para superar os objetivos mais reduzidos dos estudos anteriores latino-americanos sobre balanços de energia não comerciais.

Os objetivos amplos deste estudo exigiram do grupo do "Programa Conjunto de Energia" da Universidade de Los Andes a busca da consolidação de uma pesquisa para o meio rural. A referida pesquisa, marco inicial da busca de identificação do Meio Rural será abordada aqui dado sua importância de forma esquemática e simplificada.

- Referências: - Balance Energético Rural y su Contexto socio-económico 1981
 José Eddy Torres CEDE Universidade de Los Andes, Bogotá, Novembro 1982
 Colciencias OEA ICEL RFF
- Alternativas Metodológicas Criollas: El Balance Energético Regionalizado del Sector Rural Colombiano como Instrumento de Planificación. José Eddy Torres
 Anais do Seminário Latino-Americano de Modelagem para Planejamento Energético S. Paulo, Setembro. 1984.
 Capacitação para a tomada de decisões na Área de Energia - FINEP/UNESCO.

Título: Balance Energético Rural y su Contexto socioeconómico 1981.

CEDE: - Universidade de Los Andes
 José Eddy Torres.

Apoio: Colciencias OEA ICEL RFF.

Objetivo: Gerar e implementar uma metodologia operacional que permita:

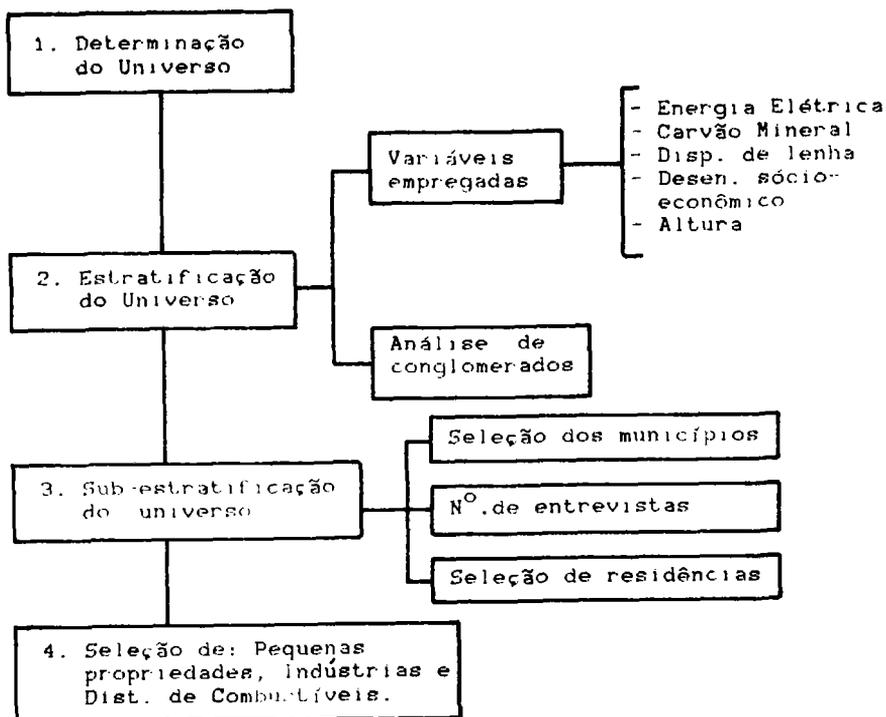
1. Quantificar os padrões de consumo energético rural (por uso final), a nível nacional.

2. Medir as interações entre o uso de energia e os fatores condicionantes ou determinantes, é dizer, o contexto econômico, sócio-cultural e tecnológico abaixo do qual se gera esse padrão de uso.
3. Avaliar algumas opções estratégicas de desenvolvimento energético rural, tais como a eletrificação rural, o biogás, fogões melhorados de lenha e mecanização agrícola entre outras.

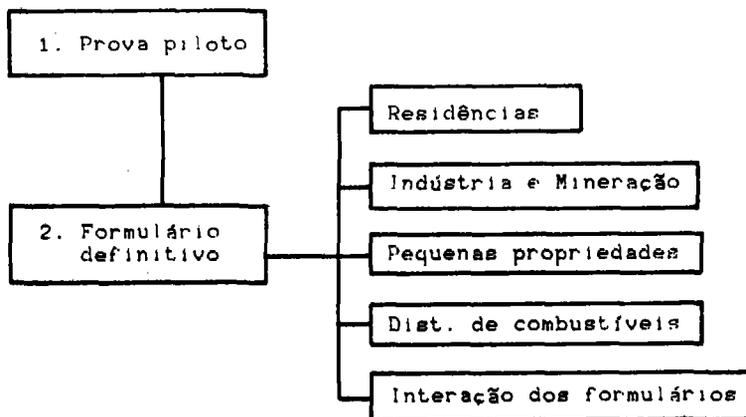
Metodologia:

O marco amostral usado para a pesquisa de residências ser viu de base também para as demais pesquisas das unidades pr dutivas.

A. SISTEMA DE AMOSTRAGEM



B. PROJETO DOS FORMULÁRIOS



C. TRABALHO DE CAMPO

D. CRÍTICA E CODIFICAÇÃO

E. RESULTADOS MAIS IMPORTANTES

- Comportamento energético das residências rurais.
- Consumo energético do setor.
- Estimação do consumo energético.
- Resultados das entrevistas aos distribuidores.

Comentários finais:

Para finalizar a apreciação do trabalho de Eddy Torres seria interessante assinalar dois motores fundamentais:

- Na medida em que há uma grande disponibilidade de modelos no mercado internacional, basicamente nos países do Norte, requer-se uma postura teórica-metodológica para justificar a

realização de concepções e elaboração de novos modelos "Os modelos são simples ferramentas auxiliares para o processo de planificação, e devem surgir de (não preceder) nossa concepção dos sistemas, restrições e oportunidades energéticas próprias de nossa realidade".

- Por outro lado, na medida em que se procura explicitar a oferta e demanda de energia a nível regional e especificamente rural, justifica-se, sobremaneira, o desenvolvimento de modelos específicos que atendam a estas necessidades.

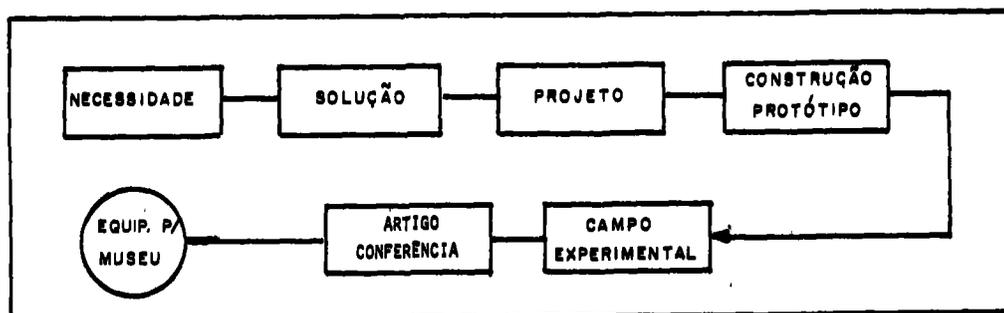
3. TECNOLOGIA APROPRIADA

3.1 Integração Universidades/Centros de Pesquisa/Indústria/Produtores

As dificuldades derivadas do correto desenvolvimento de equipamentos e sua possível utilização, no meio rural, levam a um assunto de permanente atualidade. As possibilidades de uma intervenção no meio rural, das fontes de energia não convencionais, cujos resultados possibilitem uma modificação significativa na situação energética do Nordeste Brasileiro, são metas a alcançar.

O delineamento de uma política de desenvolvimento e transferência de tecnologia alternativa deverá ser coerente e integrado com o meio sócio-econômico a que se destina.

Esta política contribuirá para superar alguns obstáculos tradicionais vividos pelos pesquisadores. O diagrama abaixo mostra claramente o fluxo no processo de desenvolvimento das pesquisas nas Universidades e nas principais Instituições.



Pesquisa e desenvolvimento de equipamentos saem das Universidades e Institutos de Pesquisa, freqüentemente sem levar em conta a relevância da identificação da necessidade para a escolha do tema, assegurando que os resultados dos trabalhos sejam incorporados à indústria.

É essencial que desde o início do projeto seja dada maior atenção:

- às possibilidades de fabricação;
- ao mercado local (utilização dos seus recursos, consumo e fontes de abastecimento).

Por outro lado, a questão de repasse para a indústria é de fundamental importância embora, muitas vezes completamente negligenciada.

A principal crítica a algumas Instituições de Pesquisa não recai sobre a qualidade de seus trabalhos, freqüentemente bons, nem na escolha do tema a ser pesquisado, mas como o produto da pesquisa pode ser usado ou não usado.

Sem dúvida alguma, um dos mecanismos que melhor possibilitam o conhecimento qualitativo e quantitativo das alternativas energéticas do meio rural, é a construção de um balanço energético rural, articulado com os mais abrangentes a nível regional e nacional.

3.2 Transferência de Tecnologia

Os requerimentos particulares de uma comunidade dependem do seu estágio de desenvolvimento. Identificar estas necessidades é um problema complexo. Diferentes soluções têm sido empregadas em distintas áreas. Alguns dos problemas são de natureza política e econômica, outros de ordem social e cultural. Levando-se em conta estes fatores, o delineamento de uma política de desenvolvimento e transferência de tecnologia apropriada será necessariamente coerente e integrada com o meio sócio-econômico à que se destina, por ter sido gerada nas reais necessidades do meio.

A partir do conhecimento da região e informações contidas e processadas nos diversos Balanços Energéticos, e em particular no Balanço Energético Rural, pode-se delinear pontos de uma política de desenvolvimento.

- Objetivo do desenvolvimento:

- . melhoria da qualidade de vida;
- . maximização do uso de recursos renováveis da região;
- . criação de mercado de trabalho na própria região.

- Soluções para satisfazer o objetivo:

- . emprego de mão-de-obra local;
- . emprego de recursos naturais locais;
- . emprego de recursos financeiros locais;
- . compatibilidade com a prática e cultura local;
- . satisfação local dos requerimentos e necessidades.

- Requerimento e necessidades básicas da comunidade:

- . alimento;
- . água;
- . vestuário;
- . moradia;
- . previdência social, higiene e assistência sanitária;
- . educação e treinamento.

- Requerimento da tecnologia apropriada:

A tecnologia apropriada é atinente a todos os aspectos do desenvolvimento global das pequenas comunidades, propiciando uma melhoria na qualidade de vida aos seus membros individualmente.

Apesar da grande maioria da população pobre viver nas áreas rurais, ligadas a entidades agrícolas, o conceito de tecnologia apropriada não é exclusivamente voltado às áreas rurais, mas também aplicável aos problemas da população da periferia urbana.

3.3 A Experiência do Centro de Las Gaviotas

O Centro de Las Gaviotas é uma Fundação de caráter privado cuja visão com respeito à difusão e transferência de tecnologia se mostra reticente aos trabalhos desenvolvidos pelas Universidades, preferindo enfrentar por si mesma os riscos inerentes ao desenvolvimento, construção, difusão e implementação de novos equipamentos.

3.3.1 Origem do Centro

A equipe de diretores, pesquisadores e alguns técnicos originalmente trabalhavam nas diversas Universidades da Colômbia. Hoje alguns destes membros ainda mantêm um vínculo parcial com as Universidades e órgãos oficiais de pesquisa.

Talvez, a falta de agressividade e agilidade reinantes nas Instituições Oficiais de Pesquisa, tenha originado este afastamento da Universidade e em alguns aspectos a descrença na importância do papel da universidade e de sua capacidade de veículo social difusor de tecnologia, levaram o grupo do Centro a um desenvolvimento de pesquisa independente e à criação de uma filosofia própria, algumas vezes distanciados de seus objetivos iniciais.

Diversos pesquisadores da Colômbia, e de outros países questionam alguns objetivos do Centro e assinalam o comportamento fechado da organização, com relação ao intercâmbio com pesquisadores de outros Centros e, principalmente, da Universidade.

- Estrutura Física

1. Escritório e centro de projetos em Bogotá;
2. Fábrica de coletores solares em Bogotá;
3. Centro de Las Gaviotas no baixo trópico - Orinoquia Colombiana no oriente do país. Lugar escolhido para implantação de um Núcleo populacional;
4. Fábrica de cataventos no centro de Las Gaviotas.

- Objetivos do centro:

Proporcionar um modelo de assentamento humano (Las Gaviotas) relativamente auto-suficiente para o trópico Baixo em harmonia com a natureza, o que implica integrar diferentes disciplinas sociais e técnicas. Para conseguir este objetivo no aspecto técnico e dentro de um conceito de racionalidade tropical, criou-se o Departamento de Tecnologia Apropriada, que tem dirigido suas investigações fundamentalmente para o aproveitamento da energia solar, mini-hidráulica e eólica, sistemas de agricultura ambiental para produção de alimentos, aproveitamento dos solos pobres da Orinoquia para plantações florestais com espécies tropicais.

- Áreas de atuação:

Urbana: Fabricação e montagem de coletores solares, mediante contratos com o Banco Central Hipotecário, em conjuntos habitacionais de Bogotá e Medellín.

Pesquisa: Desenvolvimento de equipamentos de "Impacto ambiental zero", implantados em várias regiões do país, principalmente na Orinoquia.

Fabricação: 1) Fábrica de cataventos com uma produção a proximada de 1500 u/ano ao preço de 828 Estados Unidos da América, 71.208 pesos Colombianos (Nov. de 1983).

2) Fábrica de coletores solares. Atividade atualmente mais rentável e produtiva, de vido aos planos de habitação do país.

Centro Experimental Las Gaviotas: Onde se tenta um assentamento humano com uma média de 200 pessoas residindo permanentemente. Este Centro, como aliás toda a organização das Gaviotas, são objeto das mais variadas críticas contraditórias nos diversos meios de Pesquisa, Comunicação e Oficiais.

- Ligações com o Exterior;
- Assistência e construção de uma fábrica de ariete em Sirilanca;
- Assistência e construção de uma fábrica de ralador de mandioca nas Guianas;
- Produção e vendas de equipamentos para "África, Ásia e América Latina".

Com estas áreas de atuação, o Centro demonstra uma experiência no desenvolvimento de tecnologia apropriada. Podemos relacionar uma lista dos mesmos, implantados nas diversas regiões do país. Algumas mais difundidas que outras:

1. Cataventos
2. Coletores solares
3. Bomba de camisa (bomba manual)
4. Microturbina hidráulica de 1 Kw e 10 Kw
5. Ariete para elevar água
6. Ralador de Mandioca
7. Trapiche manual p/cana-de-açúcar (moedor)

Outras atividades são desenvolvidas pelo centro:

1. Sistema de irrigação localizada
2. Cultura de plantas nativas (reflorestamento)
3. Construção de represas (sacos plásticos cheios de solo-cimento)
4. Invernadeiros para produção de hortaliças
5. Tubulação subterrânea (solo-cimento)

- Conclusões

Apesar do afastamento nítido dos objetivos iniciais, o Centro de Las Gaviotas com uma estrutura burocrática mais leve e um departamento financeiro mais flexível possibilita uma ação multi-disciplinar e uma integração mais direta com a comunidade e suas necessidades.

Com 20 anos de funcionamento o Centro de Las Gaviotas apresenta um elenco de atividades quase que integralmente para produção industrial com suas duas fábricas em franca atividade.

Podemos afirmar que os equipamentos e tecnologias desenvolvidas nas Gaviotas estão sendo difundidos e utilizados em maior escala que aqueles desenvolvidos pelos Centros de Pesquisa e de Universidades, tanto da Colômbia como aqui no Brasil. Os fatores que levam a isto podem ser resumidos no seguinte :

- . O capital, os lucros e perdas envolvem diretamente a empresa e seus dirigentes.
- . O poder de decisão.

4. ESTADO-DA-ARTE

4.1 Política no Brasil

A mecanização agrícola é, como se sabe, componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural a nível mundial. No Brasil, a mecanização agrícola constituiu-se na força indutora principal das transformações que ocorreram na agricultura na década de 1970.

A mecanização tratorizada substitui os métodos tradicionais, e as culturas diversificadas dão lugar a grandes culturas de exportação (ex. soja). Estas transformações são evidenciadas pela profunda mudança no processo de produção, onde técnicas tradicionais são abandonadas cedendo lugar às técnicas que privilegiam os componentes industriais, como fertilização química, uso intensivo de agrotóxicos, uso de sementes altamente produtivas e exigentes e mecanização total das operações.

Estas características do progresso tecnológico na agricultura são determinadas não pelo objetivo de atender à problemática da produção ou do consumo, mas pelas necessidades do processo de acumulação.

O governo passou a estimular a absorção de novas tecnologias através de diversos instrumentos dentre os quais sobressaiu a política de crédito. Estas políticas privilegiam os médios e grandes proprietários, porque estes têm a que oferecer garantia hipotecária para o crédito de investimento associado a uma taxa de juro subsidiada.

Grande parte dos recursos até hoje aplicados no Brasil se destinam às propriedades de médio e grande porte, com estrutura de empresas, onde predomina a maior densidade de capital, enquanto que o setor tradicional, de pequenas propriedades, tem ficado à margem desses benefícios.

4.2 Política no Nordeste do Brasil

No Nordeste do Brasil, os cultivos mais privilegiados no tocante à pesquisa têm sido a cana-de-açúcar e o cacau.

Tentativas de corrigir e solucionar estes problemas fazem parte de um elenco de programas que estão sendo implantados no Nordeste.

A exemplo podemos citar:

Programa PDCT/CNPq/BID

Sub-programa: Alternativas Tecnológicas para o Semi-Árido do Nordeste Brasileiro.

Componentes do programa:

- Geração e adaptação de tecnologia para o produtor de baixa renda (GAT);
- Desenvolvimento de pesquisas relativas ao semi-árido em instituições do Nordeste;
- Instalações e equipamentos de laboratórios de pesquisa de Instituições do Nordeste.

Numa primeira avaliação, pode-se identificar dois pontos de estrangulamento neste tipo de projeto. Um primeiro diz respeito à forma como o elemento energia intervém nos projetos de desenvolvimento agrícola. Na prática não há uma avaliação de quais alternativas energéticas melhor se adaptam ao meio a que são destinadas.

Num segundo ângulo, pode-se constatar a ausência de uma preocupação sistêmica, impedindo a adoção de medidas amplas, tais como reflorestamento, planejamento energético, além do pouco interesse dedicado à construção do balanço rural.

4.3 Quadro Atual

O cadastro do INCRA acusa cerca de 5,5 milhões de propriedades rurais, das quais 4,4 milhões são pequenas propriedades. Uma pequena parcela (menor que 18%) é eletrificada.

Dados recentes indicam que há uma maior incidência de propriedades cujo consumo não excede 1,5 MWh/ano. Em geral, o consumo ainda se destina primordialmente a fins domésticos, exceção feita a avicultura e a agropecuária irrigada (com consumo na faixa de 5 a 10 MWh/ano), as quais representam os maiores índices de consumo médio, pois apesar de constituírem 21% dos consumidores rurais, estes respondem por 35,2% do consumo total.

Tudo isto vem demonstrar, na maioria dos casos, a má utilização da energia. Raramente ela está associada diretamente ao aumento da produção agrícola, como forma de desenvolvimento do setor primário da economia. Um dos fatores determinantes destes quadros está na política de implantação dos sistemas de eletrificação rural fortemente subsidiados e sem uma contrapartida produtiva.

É indiscutível o potencial das tecnologias apropriadas no atendimento aos requerimentos energéticos do meio rural.

Não é suficiente o desenvolvimento de novas ofertas de energia alternativa. É importante a constituição de grupos interdisciplinares que conduzam o desenvolvimento de projetos integrados, possibilitando, no lado da oferta, uma melhor adequação dos projetos, e no lado da demanda uma revisão nos conceitos de planejamento da energia no meio rural. Será necessário e imperioso que, um sistema novo (repensado) possa surgir, compatibilizando os portes e aliatoriedades das fontes alternativas aos usos de sistemas poupadores de energia e com alta rentabilidade de águas.

Além da questão técnica, medidas de caráter político devem ser tomadas, de modo a tornar atrativa estas fontes, medidas creditícias ou de subsídios deveriam permitir sua compatibilidade com as alternativas convencionais, além de exigências, quanto aos resultados, no sistema produtivo associado.

Por outro lado, uma revisão na atual política de preços dos energéticos comerciais permitiriam necessariamente, uma melhor competitividade das demais fontes de energia.

5. O CASO DO NORDESTE E DO ESTADO DA PARAÍBA

A falta de informações sistematizadas e confiáveis, a nível nacional e mais gravemente a nível regional e estadual constitui um impedimento à determinação objetiva de elementos de política e planejamento energético. O Balanço Energético se constitui em instrumento fundamental, através da coleta de dados, sistematização e unificação de informações existentes, elaboração de estatísticas confiáveis e conseqüentemente sua continuação lógica, para a confecção de um modelo energético. Hoje, o Balanço Energético tem alcançado níveis sofisticados de elaboração (desagregação da oferta e demanda de energéticos, por setores de produção e consumo), que viabilizam programas consistentes de substituição e conservação de energia.

O Balanço Energético Nacional começou a ser realizado a partir de 1976, e de cinco anos para cá têm sido criados vários programas, a nível de aperfeiçoamento e pós-graduação, em planejamento e economia de energia. Nesta mesma linha, vários Estados criaram Secretarias de Energia ou segmentos bem definidos nas estruturas já existentes, orientados para estudar e avaliar os potenciais e tecnologias das diversas formas de energia. A criação do PIMEB a nível nacional, veio reforçar o interesse pela área. No entanto, nota-se ainda, a inexistência de balanços rurais, com um nível de desagregação, em fontes e usos, que permita a adoção de uma política de substituição de fontes e usos, priorizando-se as renováveis e os recursos naturais da região.

Por outro lado, as desigualdades regionais salientam um desequilíbrio muito grande com relação ao uso da energia na agricultura. Tomando-se por referência o BEN verifica-se o estado de insuficiência energético do Estado da Paraíba, um dos primeiros em densidade demográfica do país, com uma parcela de 0,2% da energia do setor agropecuário do país.

5.1 Secretaria das Minas e Energia Seguindo as Diretrizes do PIMEB

A secretaria das Minas e Energia da Paraíba está consolidando o Balanço Energético da Paraíba. Existe também uma grande preocupação com a formação de recursos humanos nesta área. Apesar da atuação da UFPb em todo o Estado nos diversos campos do conhecimento e especificamente no campo da energia as relações funcionais entre estes órgãos carece de um grau mais eficaz de intercâmbio e cooperação.

5.2 Atuação na Universidade Federal da Paraíba em Fontes Alternativas de Energia

Apesar da pequena dimensão, o Estado da Paraíba, localizado no NE do Brasil, comporta regiões com características profundamente distintas, do ponto de vista de suas condições naturais, bem como de formas e processos de organização Social e da ocupação da terra.

A UFPb desenvolve atividades em sete campos, distribuídos ao longo do Estado, com desafios distintos em cada um deles.

Basicamente a UFPb tem atuado no campo da Energia da seguinte forma:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| - Solar | - João Pessoa |
| - Eólica | - Campina Grande |
| - Sistemas hidrelétricos | - Campina Grande |
| - Biomassa | - Areia/Campina Grande |
| - Reflorestamento | - Patos |
| - Planejamento Energético | - Campina Grande/J. Pessoa |
| - Gasogênio | - Campina Grande |
| - Conservação de Alimentos | - João Pessoa |

5.2.1 NERG - Núcleo de Energia

Órgão suplementar da UFPb

- Objetivos:

Pesquisa e desenvolvimento no campo da energia, com ênfase em fontes não convencionais de energia, articulando-se com os diversos segmentos da área tecnológica e das ciências humanas, visando o desenvolvimento de dispositivos e suas implantações nos sistemas produtivos da região Nordeste.

- Atuação:

Estende-se aos energéticos enquadrados numa política de energização regional com ênfase no meio rural, procurando desenvolver soluções tecnológicas para a evolução da realidade de Nordeste.

- Linhas de Pesquisa:

Atualmente o NERG conta com as seguintes linhas de pesquisa:

. Sistema eólico para geração elétrica:

Estudo, desenvolvimento e testes de sistemas de conversão de energia eólica em geração elétrica e de seus componentes, assim como viabilização de seu emprego para sistemas isolados, em aplicação típica ou em pequenas comunidades.

. Sistema eólico para bombeamento:

Estudo, desenvolvimento e testes de sistemas de conversão de energia eólica em bombeamento. Viabilização de sua integração a outros sistemas do meio rural.

. Planejamento energético:

Estudos gerais e específicos que permitam explicitar as características fundamentais da produção e uso de energia no Nordeste e em particular, no meio rural.

. Gases combustíveis:

Obtenção de gases combustíveis para uso no meio rural.

. Energia no meio rural:

Levantamento das formas de utilização e das potencialidades energéticas no meio rural no Estado da Paraíba, dentro das perspectivas de uma melhor adequação do emprego dos fatores energéticos e da aplicação de alternativas em programas setoriais e regionais.

- Dificuldades para apresentação de resultados efetivos:

. Balanço energético: apesar da vocação, recursos humanos, cursos de extensão e propostas de projetos, os resultados no campo de planejamento para o setor rural não tem sido o desejado por falta de uma política oficial de apoio e financiamento de projetos na área de planejamento e economia de energia.

. Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias energéticas: dentro de suas linhas de pesquisa o NERG vem desenvolvendo com razoável eficiência equipamentos em tecnologia alternativa. O ponto de estrangulamento da cadeia está sistematicamente relacionada ao repasse desta tecnologia ao setor produtivo e ao usuário devido a fatores enumerados a seguir:

- Falta de mecanismos que possibilitem as pequenas e médias empresas de absorver as pesquisas da universidade através de linhas especiais de crédito e acompanhamento tecnológico.

- O risco de fabricar novos equipamentos não é acolhido no sistema capitalista sem garantias do retorno de capital.

- Falta de financiamento para implementar planos piloto, testes de pesquisa de longa duração, para dar maior confiabilidade aos resultados obtidos.

6. PROPOSTA DE UM PLANO DE ATUAÇÃO PARA EFETIVAÇÃO DE UM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NA REGIÃO RURAL

A efetivação de um Planejamento Energético na região rural requer uma série de levantamentos básicos e primários sem os quais é impossível uma planificação do setor e um acompanhamento crítico dos resultados obtidos. A falta de informações sistematizadas e confiáveis se constitui assim num grave impedimento à determinação objetiva de elementos de política e planejamento.

6.1 Linhas específicas para Planejamento de Energia na Área Rural

6.1.1 *Construção de Balanço Energético Rural para confecção de um modelo energético rural onde será definido:*

- Estrutura energética da região.
- Relações funcionais entre o setor energético e os principais setores de atividades econômicas.
- Grau de dependência e possíveis substituições de fontes por outras.
- Participação de fontes não convencionais, destacando em particular o caso da lenha dada a sua importância.

OBS.: O estudo específico da lenha deve ser focado com a prioridade determinada por sua importância para uma região semi-árida, como no caso do Nordeste.

6.1.2 *Economia de Energia*

- Elementos de estrutura de oferta: Análise e caracterização das diferentes estruturas de oferta de formas convencionais de energia; Caracterização e especificação de fontes alternativas de energia; Levantamento dos recursos e reservas de fontes comerciais e não comerciais de energia.

- Elementos da estrutura de demanda: Identificação dos hábitos de consumo residencial de energia em função da classe de renda familiar; Análise da demanda de energia pelo setor agropecuário e industrial; Estudo dos rendimentos dos principais utensílios domésticos.

6.1.3 *Contabilidade Energética*

- Identificação e coleta de dados: necessários à elaboração de balanços e matrizes; Elaboração de metodologia de construção de balanço energético regional que possibilite a agregação deste em balanço do NE.

- Análise energética: Criação de metodologias que possibilitem a análise mediante conceitos técnicos, das diversas cadeias de produção de energia procurando o estabelecimento de critérios que possibilitem comparações entre elas.

6.1.4 *Política energética*

- Impactos causados pelo setor de oferta: Estudo dos impactos causados pelo setor ofertante de energia na economia, sociedade e meio-ambiente.

- Potenciais dos recursos naturais; Estudo dos potenciais de aproveitamento dos recursos naturais regionais, visando minimizar o nível de dependência.

- Viabilidade técnico-econômica: Estudo de viabilidade técnico-econômica da substituição de derivados do petróleo por combustíveis alternativos.

7. PROPOSTA PARA UMA POLÍTICA DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA ALTERNATIVA

No Brasil e no Nordeste já se dispõe de um acervo razoável de conhecimentos e técnicas disponíveis, porém não mobilizadas e difundidas.

A criação de centros de informações tem uma importância vital no planejamento do setor de energia visando a orientação das diversas linhas de pesquisa.

7.1 Na Geração

- Estabelecer o potencial científico-tecnológico do Sistema Universitário e Institutos de Pesquisa . Reunindo a maior parte dos pesquisadores do país, as Universidades têm encontrado dificuldades para tomar a iniciativa de gerar e transferir tecnologia.

- Adequar mecanismos institucionais existentes para dinamizar e viabilizar as relações entre os Centros de pesquisa, geradores efetivos e potenciais de tecnologia e seus usuários.

- Seleção de projetos para financiamento e desenvolvimento. Os projetos em Tecnologia Apropriada, devem ser selecionados tendo em mente os seguintes objetivos.

- . contribuição positiva para qualidade de vida;
- . impulsos inovadores para indústria;
- . substituição de importação;
- . formação de mão-de-obra local;

7.2 No estudo e Pesquisa

. Banco de dados. O tempo envolvido na obtenção, processamento e análise de dados é longo, correspondendo a altos custos. Por outro lado, trabalhar com informações inadequadas põe em risco a consecução global de um programa de pesquisa.

. Seminários e grupos de trabalho com a participação de pesquisadores, técnicos de Instituições de Fomento para planejar e avaliar os programas do setor de energia e projetos integrados.

. Publicações científicas e técnicas quando feitas em revistas de boa qualidade, dotadas de sistemas adequados de avaliação e críticas de manuscritos, desempenham funções primordiais junto ao pesquisador.

. A curto prazo: os cursos das Universidades deveriam oferecer disciplinas ou tópicos especiais sobre energia em seus diversos currículos, levando em conta que a energia guarda uma relação de interdependência muito estreita com as demais áreas do conhecimento, (hidráulica, mecânica, civil, agrícola, meteorologia, elétrica, etc).

. A médio prazo: Viabilizar um ordenamento das disciplinas optativas de energia. Estas disciplinas seriam selecionadas pelo aluno mediante uma orientação para cobrir todo um bloco de aprendizagem, a exemplo da Especialização Menor em Energia (Universidade de Los Andes).

. Realização de cursos de pós-graduação, centrados em política, economia e planejamento de energia.

. Desenvolvimento de teses aplicadas ao setor de energia, dentro do curso de mestrado das áreas tecnológicas e sócio-econômicas.

. Cursos de especialização e treinamento em Planejamento e Economia de Energia de curta e média duração para gerentes das empresas de energia. Ver exemplo: COPPE, BARILOCHE, NERG.

Adaptação de currículos de ensino de 19 e 29 graus, com vistas à introdução de textos próprios sobre energia (hábitos, usos, fontes alternativas, tecnologia e modos de operação). Desenvolvimento de trabalhos sobre o tema.

7.3 Na Extensão

. Cursos de treinamento para técnicos de extensão compreendendo técnicas de repasse de novas tecnologias, modos de operação, especificação, sistema de financiamento, avaliação e acompanhamento de projeto.

. Centro de demonstração com exemplos de produção integrado ao setor de energia.

. Estimular o debate franco e aberto dos extensionistas com todas as classes sociais presentes e atuantes no meio rural, sindicatos, associações, cooperativas e comunidades. Objetivando um conhecimento das reais necessidades do meio-sócio-econômico.

. Estandes de demonstrações em Freiras, principalmente as voltadas para o setor rural.

. Manuais e folhetos em linguagem acessível, difundindo: utilidade, vantagem, aquisição, manutenção e conservação de tecnologia alternativas e o uso das várias fontes.

. Utilizar todos os veículos de comunicação da massa, rádio, TV, jornais, nos seus programas mais populares.

7.4 Na fabricação

. Modificação e aperfeiçoamento de práticas tradicionais.

. Reativação de velhas técnicas.

. Redução em escala de processos industriais modernos.

. Exploração e avanços tecnológicos em materiais e técnicas.

. Ativação de pequenas indústrias e indústrias caseiras.

8. CONCLUSÕES

Na região Nordeste existem centros de pesquisa, em Universidades e outras Instituições, capazes de gerar e adaptar tecnologias, além de possibilitar ou contribuir a sua transferência.

O conhecimento destas Instituições executoras de pesquisa é essencial a qualquer análise de políticas ou esforço de planejamento. A abordagem unificada das atividades de pesquisa, difusão e adoção de Tecnologia Apropriada através de um programa integrado superaria a atuação isolada das agências (fomento e execução), visto que, na pesquisa e transferência de Tecnologia Apropriada, os principais obstáculos são precisamente a dispersão e a precária existência de linhas de pesquisa claramente definidas.

Devido à ligação que tem o desenvolvimento econômico e científico com a política e a estrutura social do país, a pesquisa e o desenvolvimento de novas técnicas terão seus objetivos comprometidos se sua produção e emprego não forem viabilizados mediante o estabelecimento de uma política institucional coordenada.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Informe Trimestral Revista ICA - Julio - Setiembre 1983.
2. OSPINA, Alberto. El Desarrollo Científico y Tecnológico como Función Social. Bogotá, Universidade de Los Andes, 1974. 51 p.
3. RESTREPO, Iván; PHILLIPS, David. La Basura: Consumo y Desperdicio en el Distrito Federal. México, Instituto Nacional del Consumidor, 1982, 193 p.
4. TORRES, José Eddy. Balance Energético Rural de Colombia y su Contexto Socioeconómico, Bogotá, CEDE - Universidade de Los Andes, 1982.
5. TOLEDO, Alexandro - Cómo destruir el Paraíso: El Desastre Ecológico del Sudeste. México, Centro de Ecodesarrollo, 1983, 151 p.

6. TOLEDO, Alexandro - Petróleo y Ecodesarrollo en el Sudeste de México, Centro de Ecodesarrollo, 1982, 253 p.
7. PADILHA, Romeu - Extensão rural no Brasil: Novos Tempos, RBT, Vol. 15 Nº 4, 1984.
8. DUNN, PD - Appropriate Technology, Technology With a Human Face, 1987.
9. SHIKI, Shigeo - Mecanização Agrícola: Homem e terra sob Impacto, RBT, Vol. 15 Nº 2, 1984.
10. III PBDCT, Ação Programada em Ciência e Tecnologia. Energia 1983.
11. Balanço Energético Nacional, MME, 1984.
12. BARROSO, Eduardo - Equipamentos Agrícolas Apropriados ao Pequeno Produtor Rural, 1983.
13. ENDA - Third World Document Series Nº 20-81, 1981.
14. TORRES, José Eddy - Alternativas metodológicas: Anais do Seminário Latino Americano de Modelagem para Planejamento Energético - Capacitação para a tomada de decisões na Área de Energia. S. Paulo, Setembro de 1984- FINEP/UNESCO:

* * *

- Capacitação para a tomada de decisões na área de energia - Energia e desenvolvimento: A política energética no Brasil.
- Capacitação para a tomada de decisões na área de energia - Tecnologias energéticas alternativas. Subsídios para uma política científica e tecnológica - Segunda coletânea.
- Capacitação para a tomada de decisões na área de energia - Planejamento energético: Elementos para um novo enfoque.
- Capacitação para a tomada de decisões na área de energia - O planejamento do setor elétrico - Desafios e controvérsias.