

RESUMO

A geração de energia elétrica no Brasil provém, essencialmente, de duas fontes energéticas: o potencial hidráulico e o petróleo, com grande predominância da primeira. Apesar da importância dessas fontes, elas tendem a sofrer um processo de esgotamento no futuro. O Brasil dispõe de várias alternativas para geração de energia elétrica, dentre as quais se destaca o uso da biomassa. Esta, particularmente, provém de uma grande variedade de recursos energéticos, desde culturas nativas até resíduos de diversas origens. No entanto, a pouca informação a respeito do potencial energético desses resíduos limita seu efetivo aproveitamento.

No intuito de consolidar as informações existentes, o presente trabalho mostra um panorama do potencial de biomassa no Brasil como fonte energética e seus aspectos sociais, econômicos e ambientais.

PALAVRAS-CHAVE

Biomassa, fonte de energia, impactos socioeconômicos, energia limpa, cana-de-açúcar, biodiesel, biogás.

ABSTRACT

There are two essential power sources that have provided electricity in Brazil, and the most used is by hydroelectric power stations and oil.

Nowadays, these sources have occupied an importance place in the world power matrix but there is a tendency to suffer a break due to be drained in the future and more they have left negative impacts to the environmental. However, Brazil has several alternatives to get electricity, where biomass is one of them. A great variety resources provides biomass, since those extracted from native cultures until those gotten by waste of different ways. But the few information about the real power potential of wastes has difficulty using them more effectively.

This work shows Brazil potential figures of biomass as power source, joining several existent information and exploring its economical, social and environmental aspects.

KEY WORDS

Biomass, power source, social and economical impacts, clean energy, sugar cane, biodiesel, biogas.

A BIOMASSA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA O BRASIL

Celso Roberto Alves da Silva

Engenheiro civil, formado pela Universidade Mackenzie.
celsorobsilva@sabesp.com.br

Maria Teresa Flosi Garrafa

Engenheira eletrônica, formada pela Faculdade de Engenharia Industrial (FEI).
thegarrafa@uol.com.br

Paulo Laguna Navarenho

Engenheiro civil, formado pela Faculdade de Engenharia São Paulo (FESP).
pnavarenho@sabesp.com.br

Rodolfo Gado

Engenheiro civil, formado pela Universidade Mackenzie.
rgado@sabesp.com.br

Sérgio Yoshima

Engenheiro eletrônico, formado pela Universidade São Judas Tadeu.
syoshima@sabesp.com.br

INTRODUÇÃO

Todos os processos da cadeia energética (produção, transformação, transporte, distribuição, armazenagem e uso final) envolvem uma série de perdas que reduzem a quantidade de energia, efetivamente útil à sociedade, a apenas uma fração do total de energia captada da natureza. Por contingência das próprias leis físicas, um certo nível de perdas é inevitável ao longo da cadeia de transformações energéticas.

Como contrapartida a toda incorporação de um aporte de fontes energéticas, existe a perda da energia degradada, rejeitada para o ambiente externo na forma de calor ou de resíduos (gases, material particulado).

Além disso, o uso de energia também origina impactos sociais e econômicos decorrentes do próprio aproveitamento de recursos naturais. Alguns deles podem ser significativos, mesmo no caso de fontes, em virtude das áreas extensas as quais são necessárias para a produção em grande escala.

Durante muito tempo, utilizando as forças disponíveis da natureza e adequando-as à sua localização, o homem pode gerar, transmitir e consumir energia sem alterar significativamente o ambiente global, o uso do espaço e os modos de produzir ou distribuir bens, de acordo com os modelos sociais, políticos e culturais prevaletes. Apesar de ter se confrontado com vários episódios de escassez, provocados pela apropriação intensa das fontes disponíveis, como foi o caso da lenha durante a idade média, até a Revolução Industrial a humanidade evoluiu com um consumo de energia relativamente moderado. A inserção de uma nova tecnologia – a máquina a vapor – no modo de produção provocou uma ruptura no sistema, exigindo uma nova ordem de grandeza no uso da energia.

A maioria das negociações ambientais relacionada à energia ainda está a meio termo. A padronização dos critérios de segurança no transporte de petróleo e as diretrizes internacionais para construção de grandes hidrelétricas estão em debate e a Convenção sobre Segurança Nuclear, assim como o Protocolo de Kyoto, ainda aguardam a ratificação dos países signatários.

No âmbito brasileiro, até a década de 70, as grandes barragens e centrais hidrelétricas eram consideradas ícones do desenvolvimento energético e desfrutavam da convicção de serem projetos de baixo impacto, com possibilidade de agregar usos múltiplos (atenuação de cheias e abastecimento de água na região circunvizinha, habilitação de áreas para lazer e aquicultura), sem oferecer riscos ambientais como a emissão de poluentes.

As mudanças produzidas no ambiente construído se encarregariam de demonstrar conseqüências mais drásticas do que se poderia mensurar. O elevado nível de eutrofização (aumento de nutrientes na água resultante da decomposição orgânica submersa), associado ao descontrole do grau de assoreamento de rios represados favoreceram, em grande parte dos casos, a proliferação de determinadas espécies vegetais e animais (algas, mosquitos, parasitas), comprometendo o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida em seu entorno.

Resultados de pesquisas recentes apontam outro problema a ser considerado: a decomposição orgânica da biomassa, submersa nos lagos das represas, produz dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) em quantidades similares às termoelétricas, quando considerados períodos históricos relativamente pequenos (menos de 100 anos). Com relação à necessidade da busca de alternativas para a geração de

eletricidade, o racionamento de 2001 demonstrou que a manutenção da dependência de mais de 90% da hidreletricidade é estrategicamente arriscada. Além disso, o potencial hídrico de geração de eletricidade a baixo custo é, hoje, bastante limitado, sendo os melhores sítios encontrados na região Norte, distante dos grandes centros consumidores.

A crítica ambientalista ao plano de instalação de um parque termoelétrico movido a gás natural, uma fonte considerada mais limpa que o petróleo, reside, justamente, no aumento da emissão nacional de óxidos de nitrogênio (NO_x), resultantes do processo de queima, e de ozônio de baixa altitude (O_3), formado pela reação fotoquímica do NO_x à radiação solar. Além dos resíduos produzidos no processo de queima, a alta porcentagem de metano (CH_4), contido no gás natural (90%), transforma as perdas potenciais (estimadas em 1% do total) na rede de transporte e distribuição em fontes com contribuição significativa para o aumento do efeito estufa, conforme veremos adiante.

O século 20 ficará conhecido como o século dos combustíveis fósseis, uma vez que o carvão, o petróleo e o gás, praticamente, dominaram o sistema energético de todos os países industrializados. O desenvolvimento e a otimização das tecnologias para utilização desses combustíveis e alguns dos progressos extraordinários os quais testemunhamos, tais como as viagens aéreas e a geração de eletricidade por turbinas a gás, são verdadeiramente notáveis.

Por esses motivos, a tendência era esquecer que, até a metade do século 19, mais de 85% do total da energia usada no mundo era biomassa, na forma de lenha, resíduos da agricultura e de animais.

A tecnologia utilizada naquela época era um tanto primitiva, e não evoluiu de forma significativa devido à predominância das tecnologias mais avançadas de uso dos combustíveis fósseis. Não é surpresa, portanto, que a "biomassa", enquanto fonte de energia, tenha acabado com uma péssima reputação. A esses dados acrescenta-se que em grande parte dos países menos desenvolvidos, ainda é muito importante a utilização da lenha, seja para cozinhar ou aquecer, em fornos rudimentares, de eficiência bastante reduzida.

Essa situação está começando a mudar: os combustíveis fósseis não durarão para sempre, sua utilização é a causa de a maioria das agressões ao meio ambiente, as quais hoje testemunhamos, e as tecnologias para aumentar a eficiência da biomassa estão evoluindo bastante nos últimos anos.

Apresenta-se, assim, a possibilidade do "renascimento" da biomassa nas próximas décadas, de maneira a tornar-se uma fonte de energia tão importante quanto há 200 anos. O sucesso do programa de biomassa no Brasil – especialmente a expansão do uso do etanol, proveniente da cana-de-açúcar como alternativa ao uso da gasolina, são fortes indicadores que as estratégias para se atingir, no futuro, um sistema sustentável, na área de energia, são possíveis e realísticas.

A BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA

Do ponto de vista energético, biomassa é toda matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma

forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, pela fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos.

Embora grande parte do planeta esteja desprovida de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas; o que significa cerca de 400 toneladas *per capita*. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano; ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano).

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, pela combustão em fornos, caldeiras, etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão eficiente, como a gaseificação e a pirólise.

A médio e longo prazos, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas acarretarão maior aproveitamento energético da biomassa. Mesmo atualmente, a biomassa vem sendo mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade de comunidades isoladas da rede elétrica.

Embora grande parte da biomassa seja de difícil contabilização, devido ao uso não-comercial, estima-se que, atualmente, ela representa cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária. Esse índice é superior ao do carvão mineral e similar ao do gás natural e ao da eletricidade. Nos países em desenvolvimento, essa parcela aumenta para 34%, chegando a 60% na África.

Hoje, várias tecnologias de aproveitamento estão em fase de desenvolvimento e aplicação. Mesmo

assim, estimativas da Agência Internacional de Energia (IEA) indicam que, futuramente, a biomassa ocupará uma menor proporção na matriz energética mundial. Outros estudos mostram que, ao contrário da visão geral, o uso da biomassa deverá se manter estável ou até mesmo aumentar, devido a duas razões, a saber: crescimento populacional; urbanização e melhoria nos padrões de vida.

Um aumento nos padrões de vida leva pessoas de áreas rurais e urbanas de países em desenvolvimento a usar mais carvão vegetal e lenha, em lugar de resíduos (pequenos galhos de árvore, restos de material de construção, etc.). Ou seja, a urbanização não conduz necessariamente à substituição completa da biomassa por combustíveis fósseis. A precariedade e falta de informações oficiais sobre o uso da biomassa para fins energéticos deve-se, principalmente, aos seguintes fatores:

- Trata-se de um energético tradicionalmente utilizado em países pobres e setores menos desenvolvidos;
- trata-se de uma fonte energética dispersa, cujo uso tradicional é muito ineficiente;
- uso tradicional da biomassa para fins energéticos é indevidamente associado a problemas de desflorestamento e desertificação.

Contudo, essa imagem relativamente pobre da biomassa está mudando, graças aos seguintes fatores:

- Esforços recentes de mensuração mais acurada de seu uso e potencial, por meio de novos estudos, demonstrações e plantas piloto;
- uso crescente da biomassa como um vetor energético moderno (graças ao desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão), sobretudo em países industrializados;
- reconhecimento das vantagens ambientais do uso racional da biomassa,

essencialmente no controle das emissões de CO₂ e enxofre.

No Brasil, além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica. Os setores sucroalcooleiro e de papel e celulose geram uma grande quantidade de resíduos, a qual pode ser aproveitada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração. A produção de madeira, em forma de lenha, carvão vegetal ou toras também gera uma grande quantidade de resíduos, que pode, igualmente, ser aproveitada na geração de energia elétrica.

O aproveitamento da biomassa pode ser feito pela combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra, etc.), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou processos

biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). A Figura 1 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energéticos.

GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE BIOMASSA

Embora ainda muito restrito, o uso de biomassa para a geração de eletricidade tem sido objeto de vários estudos e aplicações, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Entre outras razões estão a busca de fontes mais competitivas de geração e a necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono.

Na busca de soluções para esses e outros problemas subjacentes, as reformas institucionais do setor elétrico têm proporcionado maior espaço para a geração descentralizada de energia

elétrica e a cogeração (produção combinada de calor útil e energia mecânica).

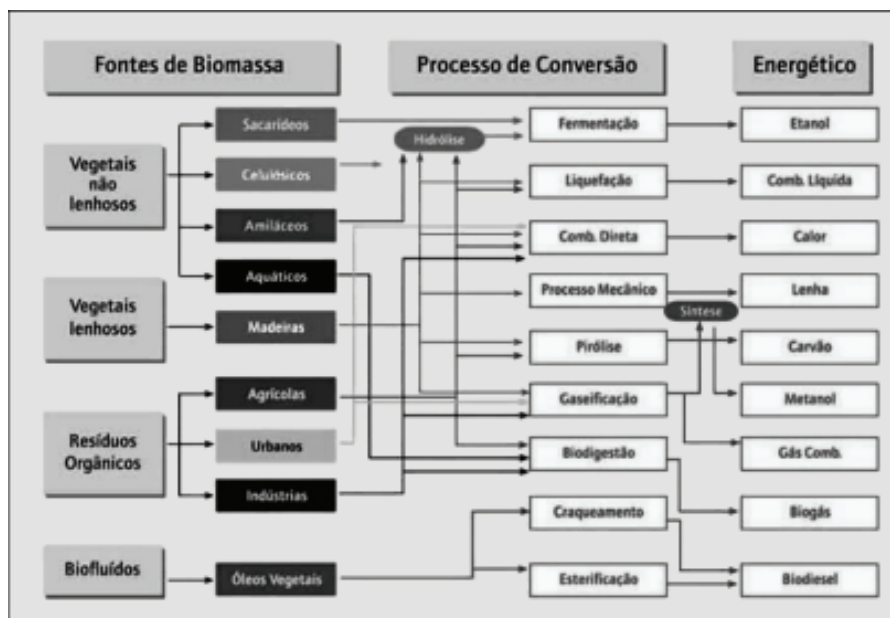
Embora seja difícil avaliar o peso relativo da biomassa na geração mundial de eletricidade, por conta da falta de informações confiáveis, projeções da Agência Internacional de Energia indicam que ela deverá passar de 10 TWh em 1995 para 27 TWh em 2020.

No Brasil, a biomassa representa cerca de 20% da oferta primária de energia. A imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Apesar disso, o desmatamento de florestas naturais vem acontecendo por razões essencialmente não-energéticas, como a expansão da pecuária extensiva e da agricultura itinerante.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 1999, a participação da biomassa na produção de energia elétrica é resumida em 3%, dividida entre o bagaço de cana-de-açúcar (1,2%), os resíduos madeireiros da indústria de papel e celulose (0,8%), resíduos agrícolas e silvícolas diversos (0,6%) e a lenha (0,2%).

Contudo, a conjuntura atual do setor elétrico brasileiro sinaliza um novo quadro para a biomassa no país. Entre outros mecanismos de incentivo ao uso da biomassa para a geração de energia elétrica, destaca-se a criação do Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA –, instituído pela Medida Provisória n. 14, de 21 de dezembro de 2001. Esse programa tem a finalidade de agregar ao sistema elétrico brasileiro 3.300 MW de potência, instalada a partir de fontes alternativas renováveis, cujos prazos e regras estão sendo definidos e regulamentados pela Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – GCE – e

Figura 1 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa



Fonte: Elaborado a partir de MME, 1982

pelo Ministério de Minas e Energia – MME, com a colaboração de outras instituições, entre elas a ANEEL e a Eletrobrás.

Os principais mecanismos de incentivo previstos no PROINFA são a garantia de compra, por um prazo de até 15 anos, da energia gerada, e o estabelecimento de um valor de referência compatível com as características técnico-econômicas do empreendimento. Entre outros incentivos, destaca-se a redução não-inferior a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica.

No que diz respeito à biomassa, particularmente, está sendo elaborado pelo MME e pela GCE um programa de incentivo específico, com a finalidade de agregar ao sistema elétrico nacional, até dezembro de 2003, 2.000 MW de geração de energia elétrica a partir de biomassa. Além dos incentivos previstos pelo PROINFA, deverá haver um programa de financiamento com taxas de juros reduzidas e prazos de carência e amortização coerentes com a natureza dos investimentos.

Além disso, a ANEEL tem estimulado e procurado regulamentar o uso da biomassa na geração de energia elétrica. Entre outras ações, destaca-se a definição de regras para a entrada de novos empreendedores, particularmente

autoprodutores e produtores independentes, levando em consideração as peculiaridades e custos desse tipo de geração em sistemas elétricos isolados e interligados.

COGERAÇÃO

Cogeração é um vocábulo de origem americana empregado desde os anos 70 para designar a geração simultânea de calor e trabalho (energia mecânica/elétrica). Nas unidades de cogeração, o calor e o trabalho são produzidos a partir da queima de um único combustível, com a recuperação de parte do calor rejeitado, qualquer que seja o ciclo termodinâmico empregado.

Dessa forma trata-se de um processo de geração de energia mais eficiente do que simplesmente a geração de energia elétrica, pois a partir da cogeração ocorrem dois produtos. Em consequência imediata da maior eficiência, tem-se a menor emissão de poluentes, desde que seja utilizado o mesmo combustível.

É uma tecnologia conhecida e empregada desde o início do século 20, porém, com o passar dos anos, foi perdendo a importância (meados dos anos 70) e a partir da década de 80 foi recuperando sua posição devido às tendências de desregulamentação do

setor elétrico em alguns países e à adoção de políticas de racionalização do uso da energia. No final dessa década passou a ser valorizada também pela minimização dos impactos ambientais, com redução das emissões globais de CO₂ (o sistema consome quantidade menor de combustível, comparado com os sistemas convencionais) e pela maior possibilidade de emprego de combustíveis renováveis, como a biomassa.

Devido às limitações econômicas do setor elétrico, dependente da participação do capital privado, a cogeração se apresenta como uma opção interessante na contribuição à oferta de energia elétrica, permitindo a geração descentralizada, com unidades menores, mais flexíveis, próximas aos centros de consumo, além de serem sistemas mais eficientes e menos poluentes.

As tecnologias de cogeração podem ser separadas em dois grandes grupos, de acordo com a ordem relativa de geração de potência e calor: os ciclos *topping* (Figura 2) e os ciclos *bottoming* (Figura 3).

Nas tecnologias que operam segundo o ciclo *topping*, os gases de combustão a uma temperatura mais elevada são utilizados para geração de eletricidade ou de energia mecânica. O calor rejeitado pelo sistema de geração de potência é

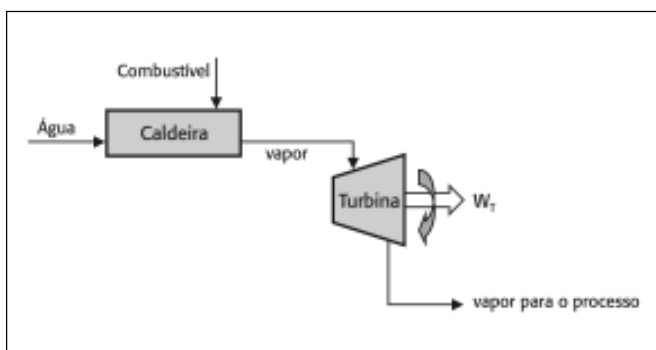


Figura 2 – Sistema de cogeração tipo *topping*
Fonte: VELASQUEZ (2000)

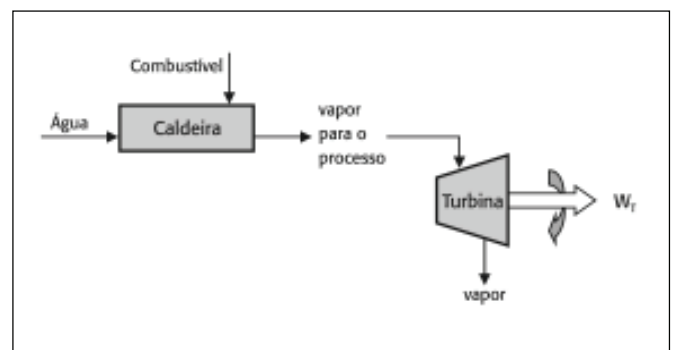


Figura 3 – Sistema de cogeração tipo *bottoming*
Fonte: VELASQUEZ (2000)

utilizado para atender aos requisitos de energia térmica do processo; assim, essa modalidade de cogeração produz energia elétrica ou mecânica para depois recuperar calor, fornecido geralmente na forma de vapor para o processo (podendo também fornecer água quente ou fria e ar quente ou frio). Essa é a configuração mais comum dos processos de cogeração.

As tecnologias que operam segundo o ciclo *bottoming* envolvem a recuperação direta de calor residual (que normalmente é descarregado na atmosfera), para a produção de vapor e energia mecânica ou elétrica (em turbinas de condensação e/ou contrapressão). Nesse tipo de tecnologia, primeiro a energia térmica é usada no processo, e então a energia dos gases de exaustão é utilizada para a produção de energia elétrica ou mecânica.

Apenas os ciclos *topping* podem fornecer real economia na energia primária, pois a maioria das aplicações dos processos requer vapor de baixa pressão, convenientemente produzido neste ciclo.

A produção de eletricidade em um ciclo a vapor, de forma geral, é feita por meio do ciclo de Rankine tradicional com turbina a vapor, o que corresponde a uma tecnologia em uso comercial há mais de 100 anos.

SETOR SUCROALCOOLEIRO

O setor sucroalcooleiro no Brasil possui 377 usinas cadastradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; destas, 272 unidades estão localizadas na região Centro-Sul. O estado de São Paulo possui o maior número de usinas; no total são 165 unidades produtoras.

O mercado sucroalcooleiro movimentou em torno de R\$ 12,7 bilhões

por ano, entre faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a 2,3% do PIB brasileiro, sendo responsável por aproximadamente 1 milhão de empregos diretos.

O estado de São Paulo é também o maior produtor de açúcar e álcool do país, produzindo cerca de 60% do total nacional.

O período de safra na região Centro-Sul acontece entre os meses de maio e novembro, enquanto na região Norte-Nordeste o período é de dezembro a abril.

Bagaço de cana

O bagaço de cana é um grande empecilho nas usinas, pois é produzido em grandes quantidades (30% da cana), ocupa grandes áreas e pode vir a sofrer combustão espontânea. Por outro lado, possui grande porcentagem de fibras, o que lhe concede boas características combustíveis; por esse motivo, juntamente como fato de ser um combustível gratuito, o bagaço de cana é queimado nas caldeiras visando à geração de vapor para o processo.

Tecnologias para geração de eletricidade

A tecnologia utilizada na indústria sucroalcooleira é baseada no ciclo convencional de vapor (ciclo Rankine), usando-se, em grande parte, o bagaço de cana, *in natura*, com 50% de umidade, para a queima em caldeiras que produzem vapor com pressão de 21 kgf/cm² e temperatura de 300 °C em média. Esse vapor aciona uma turbina acoplada a um gerador, produzindo parte da energia elétrica necessária para sua operação.

O vapor gerado pela caldeira não é usado, exclusivamente, para a geração de energia elétrica, porque também é empregado como fluido de trabalho para equipamentos de preparação, moagem da cana e para utilização no

processo industrial. Esse tipo de utilização do vapor é chamado de cogeração.

Aspectos socioeconômicos e ambientais

– Geração descentralizada, próxima aos pontos de carga: em particular, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste ocorre durante o período de baixa hidraulicidade, podendo complementar de forma eficiente a geração hidrelétrica. A cogeração de eletricidade poderia colaborar com esse objetivo, fornecendo esta às regiões rurais próximas às usinas/destilarias. Com uma eletrificação rural, poderiam ser oferecidas melhores condições de vida àquela população, colaborando para fixar o trabalhador no campo e reduzindo o êxodo rural.

– Utilização de mão-de-obra na zona rural: a geração de empregos é particularmente importante. Na agroindústria canavieira, a mão-de-obra representa 48% do custo total de produção.

– Combustível limpo e renovável: a queima de energéticos oriundos da cana-de-açúcar apresenta balanço de carbono nulo, pois o carbono emitido pela combustão desses materiais é absorvido e fixado pela cana-de-açúcar durante seu crescimento. No entanto, a queima desses combustíveis emite óxidos de nitrogênio; isto ocorre porque o nitrogênio faz parte da constituição química dos vegetais. Esse problema pode ser reduzido aplicando-se lavadores de gases e filtros, já disponíveis comercialmente no país.

SETOR DE PAPEL E CELULOSE

O setor de produção de papel e celulose se caracteriza por um processo produtivo que apresenta uma excelente relação entre as demandas de eletricidade e de calor (vapor) para

efeito de cogeração, além da geração de um combustível importante; intrínseco ao processo – o licor negro.

Além do licor negro (o efluente combustível inerente ao processo, com um poder calorífico em torno de 13.400 kJ/kg), produzido a uma taxa entre 1,0 e 1,4 kg de licor concentrado por quilo de celulose, o setor conta com outros insumos energéticos agregados como cascas, lascas e resíduos de madeira, e cavacos de lenha, utilizados como combustíveis complementares para atender às necessidades energéticas do processo.

O sistema de cogeração utilizado na planta de uma indústria de papel e celulose é composto de turbina a vapor de condensação com duas extrações para atender às demandas térmicas do processo.

Em um sistema de cogeração, o vapor é gerado pela queima de licor negro na caldeira de recuperação química, e de resíduos de madeira e lenha em caldeiras do tipo leiteo fluidizado (este último, quando necessário para suprir a demanda de vapor no processo).

O processo de produção de celulose demanda vapor a ser utilizado, sobretudo, nos secadores e digestores e vapor de baixa pressão empregados nos evaporadores, entre outros setores.

A central de utilidades recebe da planta industrial a lixívia e os resíduos/cascas de madeira, queimados em caldeira de recuperação e leiteo fluidizado, respectivamente, gerando vapor de alta pressão, que aciona o sistema de cogeração fornecendo energia elétrica, vapor de média e de baixa pressão para o processo de fabricação.

Aspectos socioeconômicos e ambientais

O segmento de celulose e papel gera, hoje, cerca de 130 mil empregos, se forem considerados os de natureza direta e indireta. Mas a relevante

contribuição social do segmento não é claramente representada por essa imagem, e sim pelos valores de impostos arrecadados anualmente e por seus benefícios socioeconômicos, observados nas regiões as quais cercam os setores das empresas (florestal, industrial, comercial, etc.).

Dando seguimento aos aspectos sociais, não pode ser deixado de lado avaliar a relação existente entre a instalação da unidade produtora de papel e celulose e o desenvolvimento local. A maioria das unidades produtoras, no Brasil, localiza-se próxima à sua área de reflorestamento, levando em conta os altos custos de extração e transporte que seriam gerados, caso suas fábricas fossem localizadas a grandes distâncias de seus reflorestamentos, provocando, assim, um fenômeno de descentralização e fuga dos grandes centros urbanos.

Tal descentralização, dentro do segmento de papel e celulose, exerce um papel de suma importância, pois consegue obter bons índices de desenvolvimento regionais, gerando empregos e construindo uma estrutura para suportar as necessidades do crescimento da região.

O tema meio ambiente é um assunto de grande importância e preocupação para as indústrias produtoras de papel e celulose, visto que sua matéria-prima básica é fornecida diretamente da exploração controlada de madeira, respeitando leis e normas ambientais rigorosas. Como principais aspectos ambientais do segmento de papel e celulose, destacam-se:

- Reflorestamento: No Brasil, as principais matérias-primas utilizadas pelo segmento de papel e celulose são o eucalipto e o pinus. O setor conta com em torno de 1,4 x 106 hectares de reflorestamentos próprios, principalmente eucalipto (69,2%) e pinus (29,3%),

sendo o restante de outras espécies. A produção de celulose é, exclusivamente, feita a partir de madeira oriunda de florestas plantadas, nas quais se incorporam modernas técnicas de silviculturas e de manejo florestal sustentável.

- Reciclagem: Como um rótulo ecológico importante, a reciclagem do papel carrega consigo um apelo, não somente ambiental, mas sim uma solução para a diminuição ou “controle” de aterros sanitários e também uma solução financeira para algumas pessoas que dependem da coleta seletiva para sobreviver. A indústria de papel e celulose, tendo como principal matéria-prima a madeira e gerando resíduos orgânicos em seu processo, é um forte exemplo de utilização da biomassa como uma alternativa energética ambiental.

- Lixívia: A lixívia (licor negro), um resíduo inevitável do processo de fabricação da celulose, altamente tóxico e poluente, comporta inúmeras vantagens em sua recuperação. Nela estão presentes todos os produtos químicos utilizados no processo “sulfato” de fabricação de celulose, e, se não fosse utilizada como combustível, na caldeira de recuperação (com a finalidade de recuperar esses produtos químicos e gerar vapor), deveria ser descartada com elevados impactos ambientais em rios, lagos e lençóis freáticos. Como exemplo, o fato ocorrido em março de 2003 na Indústria de Papel Cataguases, onde toneladas de licor negro poluíram a bacia do rio Paraíba do Sul.

BIODIESEL

A idéia da utilização de óleos vegetais em motores a combustão é quase tão antiga quanto a própria invenção destes. Há mais de 100 anos foram

realizados testes com óleos vegetais em motores estacionários, sendo Rudolf Diesel um empreendedor pioneiro nesse sentido. No entanto, apesar de fazer o motor funcionar de modo satisfatório, os primeiros testes de longa duração revelaram que a utilização de óleos vegetais apresentava alguns inconvenientes. Além disso, com a redução do custo de prospecção do petróleo e aumento da oferta do produto, algumas frações derivadas do refino do óleo cru mostraram-se bastante adequadas à utilização como combustível em motores de combustão interna. Assim, e com o passar dos anos, novos melhoramentos foram realizados tanto no combustível derivado do petróleo quanto no motor que o utilizava, levando ao esquecimento a idéia da utilização direta de óleos vegetais para esse fim. A origem das limitações ao uso automotivo de óleos *in natura* está relacionada com certas características intrínsecas aos óleos vegetais, tais como alta viscosidade, composição em ácidos graxos livres, assim como pela tendência que apresentam à formação de gomas por processos de oxidação e polimerização, durante sua estocagem ou combustão. No entanto, vários estudos demonstraram que uma simples reação de transesterificação poderia dirimir muito dos problemas associados à combustão de óleos vegetais, tais como a baixa qualidade de ignição, ponto de fluidez elevado e altos índices de viscosidade e densidade específica, gerando um biocombustível denominado biodiesel, bastante compatível com o óleo diesel convencional. De modo geral, biodiesel é definido como derivados monoalquil éster de fontes renováveis como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está associada à substituição

de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão interna (motores do ciclo Diesel).

Processo de produção de biodiesel

A transesterificação é um processo químico que consiste da reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio). Os produtos dessa reação química são a glicerina e uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel). O biodiesel tem características físico-químicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna, de uso veicular ou estacionário.

Fontes de matérias-primas para a produção de biodiesel

- Óleos Vegetais: Todos os óleos vegetais, enquadrados na categoria de óleos fixos ou triglicéridicos, podem ser transformados em biodiesel: grão de amendoim, polpa do dendê, amêndoa do coco de dendê, amêndoa do coco da praia, caroço de algodão, amêndoa do coco de babaçu, semente de girassol, babaçu, semente de colza, semente de maracujá, polpa de abacate, caroço de oiticica, semente de linhaça, semente de tomate, entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas.
- Gorduras de Animais: Os óleos e gorduras de animais possuem estruturas químicas semelhantes as dos óleos

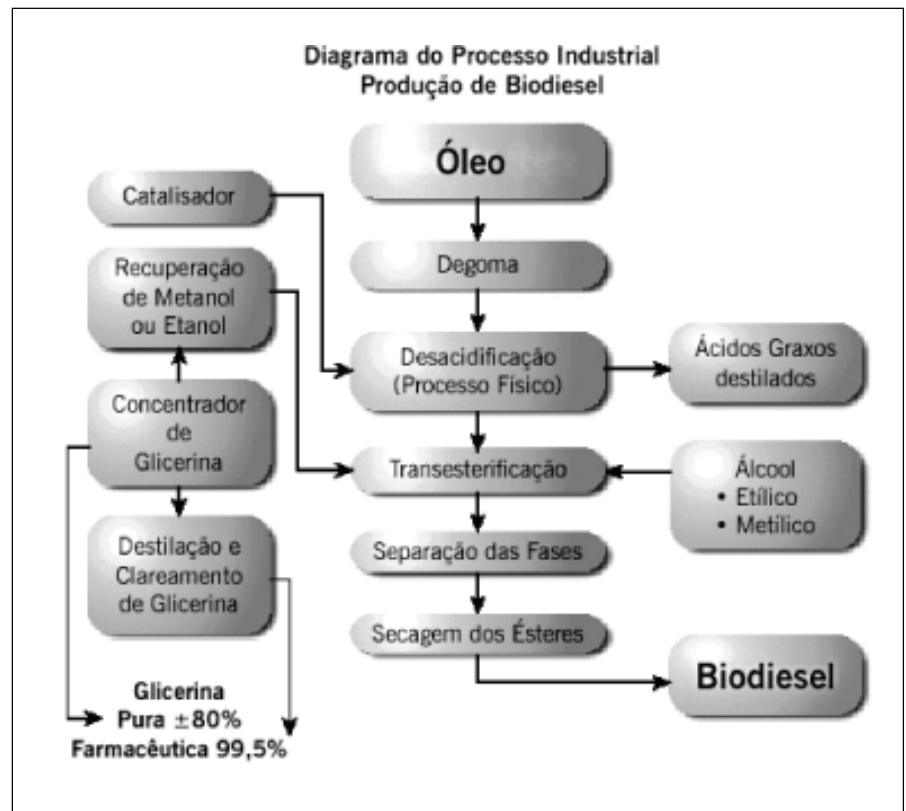


Figura 4 – Processo de obtenção de biodiesel
Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – ABIOVE

vegetais. Como moléculas triglicéridicas de ácidos graxos, também podem ser transformadas em biodiesel: o sebo bovino, os óleos de peixes, o óleo de mocotó, a banha de porco, entre outras matérias graxas de origem animal.

- Óleos e Gorduras Residuais: Os óleos e gorduras residuais, resultantes de processamentos domésticos, comerciais e industriais: as lanchonetes e as cozinhas industriais, comerciais e domésticas, onde são praticadas as frituras de alimentos; as indústrias nas quais processam frituras de produtos alimentícios, como amêndoas, tubérculos, salgadinhos, e várias outras modalidades de petiscos; os esgotos municipais, onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, é possível extrair-se óleos e gorduras; águas residuais de processos de certas indústrias alimentícias, como as indústrias de pescados, de couro, etc.

Biodiesel no Brasil

Os estudos e testes sobre combustíveis alternativos e renováveis no Brasil não são recentes. Na década de 20, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) já desenvolvia pesquisas nessa direção. Desde a década de 70, esse instituto, com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e com a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), vêm desenvolvendo pesquisas relativas à utilização de óleos vegetais como combustível, dentre as quais merece destaque o DENDIESEL, baseado no óleo de dendê.

Em 1983, o governo federal, motivado pela alta nos preços de petróleo, lançou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG), no qual foi testada a utilização de biodiesel e misturas combustíveis em veículos que percorreram mais de 1 milhão de quilômetros. É importante ressaltar que essa iniciativa, coordenada pela Secretaria de Tecnologia Industrial, contou com a

participação do setor privado, como institutos de pesquisa, indústrias automobilísticas e de óleos vegetais, fabricantes de peças e produtores de lubrificantes e combustíveis.

Embora tenham sido desenvolvidos vários testes com biocombustíveis, dentre os quais o éster etílico de soja puro e a mistura 30% de éster etílico de soja e 70% de óleo diesel (cujos resultados constataram a viabilidade técnica da utilização do biodiesel como combustível) e realizadas diversas tentativas para o desenvolvimento de mercado para o produto, os elevados custos de produção em relação ao óleo diesel impediram seu uso em escala comercial.

Com a elevação dos preços do óleo diesel e o interesse do governo federal em reduzir sua importação, o biodiesel passou a ser visto com maior interesse, levando o Ministério da Ciência e Tecnologia a lançar o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel (Probiobiodiesel), em 30 de outubro de 2002, pela Portaria Ministerial n. 702. Ele tem como objetivo fomentar a produção e utilização do biodiesel no país, de modo a atingir sua viabilidade técnica, socioambiental e econômica. Na primeira fase, encerrada em 2003, foram testados o éster etílico e metílico de soja e etanol. Na fase II, que deverá se estender até 2005, serão desenvolvidas as cadeias produtivas do biodiesel produzido a partir de outros óleos vegetais e/ou óleos residuais. O programa prevê, para 2005, o uso comercial de misturas com 5% de biodiesel e 95% de óleo diesel (mistura B5), esperando-se para 2010 o aumento da participação do biodiesel para 10% (B10) e até 2020 para 20% (B20).

Além do Probiobiodiesel, há alguns projetos de lei tramitando no Congresso, prevendo a inclusão do biodiesel na

matriz energética brasileira. Desses, cabe destacar o PL n. 6983/2002, o qual prevê a mistura de 5% de biodiesel no diesel, a partir de janeiro de 2004, e 15% a partir de 2006, e o PL n. 526/2003, que regulamenta o uso do biodiesel no Brasil.

Aspectos socioeconômicos e ambientais

O biodiesel é um combustível renovável e, portanto, uma alternativa aos combustíveis tradicionais, obtidos do petróleo. Sua utilização traz uma série de vantagens ambientais, econômicas e sociais.

Em termos ambientais, uma das mais expressivas vantagens trazidas pelo biodiesel refere-se à redução da emissão de gases poluentes. Estudos realizados pela Universidade de São Paulo demonstram que a substituição do óleo diesel mineral pelo biodiesel resulta em reduções de emissões de 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não-queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio.

Os benefícios ambientais podem, ainda, gerar vantagens econômicas. O país poderia enquadrar o biodiesel nos acordos estabelecidos no Protocolo de Kyoto e nas diretrizes dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), já que existe a possibilidade de venda de cotas de carbono por intermédio do Fundo Protótipo de Carbono (PCF), pela redução das emissões de gases poluentes e também créditos de "seqüestro de carbono", por meio do Fundo Bio de Carbono (CBF), administrados pelo Banco Mundial.

Outra vantagem econômica é a possibilidade de redução das importações de petróleo e diesel refinado. Segundo estatísticas da Agência Nacional do Petróleo (ANP), o consumo brasileiro de óleo diesel apresentou um

crescimento acumulado de 42,5%, no período de 1992 a 2001. Para suprir a demanda crescente, foi necessário aumentar o volume importado do combustível, de 2,3 milhões de m³, em 1992, para 6,6 milhões de m³, em 2001. É importante destacar que, em 1992, 8,5% do consumo brasileiro de óleo diesel era suprido via importações. Em 2001, essa participação já havia saltado para 16,5%. De acordo com a ANP, cada 5% de biodiesel misturado ao óleo diesel consumido no país representa uma economia de divisas em torno de US\$ 350 milhões/ano.

O aproveitamento energético de óleos vegetais e a produção de biodiesel são também benéficos para a sociedade, pois gera postos de trabalho, especialmente no setor primário. Outro aspecto positivo de sua utilização refere-se ao aumento da oferta de espécies oleaginosas, as quais são um importante insumo para a indústria de alimentos e ração animal, além de funcionarem como fonte de nitrogênio para o solo.

BIOGÁS

Até há pouco tempo, o biogás era simplesmente encarado como um subproduto, obtido a partir da decomposição anaeróbica (sem presença de oxigênio) de lixo urbano, resíduos animais e de lodo proveniente de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o aquecimento da economia nos últimos anos e a subida acentuada do preço dos combustíveis convencionais têm encorajado as investigações na produção de energia, a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas, tentando, sempre que possível, criar formas de produção energética que possibilitem a redução do uso dos recursos naturais esgotáveis.

Diante do grande volume de resíduos provenientes das explorações agrícolas e pecuárias, assim como aqueles produzidos por matadouros, destilarias, fábricas de laticínios, tratamentos de esgotos domésticos e aterros sanitários, a conversão energética do biogás se apresenta como uma solução a agregar ganho ambiental e redução de custos na medida em que reduz o potencial tóxico das emissões de metano, ao mesmo tempo em que produz energia elétrica.

Processo de formação do biogás

O processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos.

O tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais, etc.) podem ser feitos pela digestão anaeróbica em biodigestores, na qual o processo é favorecido pela umidade e aquecimento. Este é provocado pela própria ação das bactérias, mas, em regiões ou épocas de frio, pode ser necessário calor adicional, pois a temperatura deve ser de pelo menos 35 °C.

Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto, essencialmente, por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. Seu conteúdo energético gira em torno de 5.500 kcal por metro cúbico.

Principais tecnologias de conversão do biogás

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma

um tipo de energia em outro. No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador o qual a converte em energia elétrica.

Não podemos esquecer de mencionar o uso da queima direta do biogás em caldeiras para cogeração e do surgimento de tecnologias remanescentes, porém atualmente não comerciais, como a da célula combustível. Mas as turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo "ciclo Otto" são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética.

Aspectos socioeconômicos e ambientais

O primeiro fator a ser analisado é o da utilização de um gás combustível de baixo custo, uma vez que o biogás é um subproduto de um processo de digestão anaeróbica e, normalmente, é desprezado, ora emitido diretamente na atmosfera e agravando o impacto ambiental por meio da emissão de gases de efeito estufa, ora pela queima em "flares" para minimizar o impacto ambiental.

Uma receita adicional pode ser gerada pela venda do gás ou pelo uso do mesmo na geração de energia elétrica. É importante salientar que, no caso do tratamento de esgoto, o uso do biogás para geração de energia elétrica possibilita a redução do consumo de energia, enquanto, no caso de um aterro sanitário, possibilita a venda da energia elétrica gerada à rede.

A emissão do biogás para a atmosfera provoca impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade, pois contribui para o agravamento do efeito estufa pela emissão de metano (CH₄) na atmosfera (o impacto do metano é 24 vezes maior que o do dióxido de carbono (CO₂)), provocando odores

desagradáveis pela emissão de gases fétidos e tóxicos, sobretudo pela concentração de compostos de enxofre presentes no gás, além de uma pequena, mas não-desprezível, presença de bactérias responsáveis pela digestão anaeróbica dos resíduos orgânicos. A presença do metano no biogás sugere que o mesmo seja queimado em “flare”, por exemplo, para que seja convertido para dióxido de carbono (CO₂) pelo processo de combustão, com o objetivo de minimizar o impacto ambiental provocado pela emissão de gases de efeito estufa.

O aproveitamento energético do biogás, gerado pela digestão anaeróbica de resíduos, contribui com a preservação do meio ambiente e também traz benefícios para a sociedade:

- Promove a utilização ou reaproveitamento de recursos “descartáveis” e/ou de baixo custo (o biogás é considerado como um gás residual de processo);
- colabora com a não-dependência de uma única fonte de energia fóssil (oferecendo uma maior variedade de combustíveis);
- possibilita a geração descentralizada de energia (gerando-a em comunidades isoladas);
- aumento da oferta de energia;
- geração de empregos para pessoas menos qualificadas;
- reduz os odores e as toxinas do ar que contribuem para a poluição do ar local;
- diminui as emissões poluentes pela substituição de combustíveis fósseis;
- colabora para a viabilidade econômica dos aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto, aumentando a viabilidade do saneamento básico;
- reduz significativamente a emissão de gases efeito estufa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil apresenta condições favoráveis para se tornar uma grande potência no que diz respeito a fontes renováveis de energia, sobretudo a biomassa, dado os seguintes fatores:

– Vasta extensão territorial, propícia à agricultura alimentícia e possível de (re)florestamento;

– condições bioclimáticas e a experiência atingida quanto ao trato e exploração florestal a permitirem a obtenção de produtividade quatro a cinco vezes superiores às obtidas nos países de clima temperado (essencialmente os países desenvolvidos);

– a existência de grande quantidade de biomassa disponível pela expansão da fronteira agrícola e implantação de grandes projetos na região Norte e a existência de excedente de bagaço de cana na indústria sucroalcooleira;

– o aprimoramento das tecnologias de transformação e o surgimento de novas, possibilitando melhores rendimentos.

Como conseqüência, os fatores acima apresentados trazem alguns benefícios, dentre os quais citamos:

- incentivo à produção agrícola e florestal, ambas em ascensão;
- incentivo ao desenvolvimento de novas tecnologias;
- geração de energia descentralizada e possibilidade de fornecimento de energia excedente às concessionárias locais;
- geração de empregos na zona rural, diminuindo o êxodo para as grandes metrópoles;
- desenvolvimento sustentável (qualidade de vida, transporte e energia);
- menor emissão de poluentes na atmosfera;

• balanço de carbono praticamente nulo, o que incentiva a venda de créditos de carbono para os países desenvolvidos.

A experiência nacional de geração de energia a partir da biomassa tem maior tradição na indústria sucroalcooleira, mostrando-se plenamente viável sob os pontos de vista técnico, operacional e econômico.

É recomendável, portanto, que as experiências operacionais de geração de energia elétrica com biomassa florestal na região Norte, como as dos sistemas eletricamente isolados e a dos reservatórios de usinas hidrelétricas concretizem-se, possibilitando o aproveitamento de grande potencial florestal o qual estará disponível nos próximos anos. No caso do bagaço de cana, cuja experiência operativa se encontra mais aprofundada, requer-se incentivos institucionais, técnicos e financeiros por parte do governo federal a possibilitar a implantação de um programa de cogeração na indústria sucroalcooleira.

Quanto ao aproveitamento das extensas áreas reflorestáveis, recomenda-se programas pilotos que desenvolvam a experiência florestal e tecnológica de usinas com alto rendimento energético de modo a possibilitar, em um futuro próximo, a execução de programas de geração térmica da biomassa florestal de porte tal, que venham a contribuir com a complementação do sistema hidrelétrico, principalmente nas regiões nas quais já se vislumbra o esgotamento do potencial de recursos hídricos.

Considerando-se as alternativas apresentadas hoje e as perspectivas para o setor elétrico no Brasil, discute-se a potencialidade do uso de biomassa nas usinas termoeletricas já existentes. O custo de produção de MWh (nuclear, carvão ou óleo) é elevado em relação às hidrelétricas, apesar de apresentarem

períodos de construção, no caso das termoelétricas a óleo, de três anos somente. Foi considerada a possibilidade de operação de termoelétricas a bagaço de cana com operação em 11 meses/ano, ampliando-se a discussão sobre a possibilidade de trabalhar não só com bagaço excedente, mas também com a palha da cana-de-açúcar, resíduos provenientes do processo de fabricação de papel e celulose, e até mesmo bagaço de laranja.

Energeticamente, as vantagens para o país são devidamente atraentes. Lançando mão de uso de recursos locais e renováveis, diminuindo-se a pressão futura sobre o balanço de pagamentos, com uma importação de petróleo compatível às receitas das exportações e a despesa das importações totais, além de internacionalizar a geração de benefícios. Afora isso, a remuneração das usinas sucroalcooleiras, pelas noções de custo evitado, gera nova receita aos produtores e transfere ao setor privado, que já produz álcool combustível, também a responsabilidade pela geração de energia, evitando a construção de novas centrais térmicas pelas concessionárias de energia elétrica. Como autoprodutores, essas empresas também economizariam na construção de redes de transmissão de energia, com a eliminação das linhas de transmissão, pois o abastecimento seria obtido da própria fonte.

Quanto à questão ambiental, a energia da biomassa não apresenta

aspectos críticos com relação ao processo de conversão. Praticamente o único efluente a requerer controle específico em uma termoelétrica é material particulado dos gases de combustão. O uso de precipitadores ou filtros de mangas leva o nível de emissão desse poluente a valores aceitáveis pelas legislações mais rigorosas.

O assunto mostra outra face quando se aborda o lado da obtenção do combustível. É inegável que para algumas situações o aproveitamento de biomassa pode ser extremamente benéfico, como no caso de resíduos urbanos agrícolas e industriais (lixo, esgoto), evitando problemas com a disposição final.

Finalmente, entendemos que o uso da biomassa na geração de energia elétrica constitui-se em uma das opções mais viáveis para a participação do capital privado, no atendimento da parcela do mercado de eletricidade no Brasil.

Algumas questões ficam no ar após a realização do trabalho:

1 – Como a prática da biomassa, tão antiga e ambientalmente correta, pôde ser esquecida pela humanidade?

2 – Por que o combustível à base de cana-de-açúcar (o álcool), nacional e de tamanho valor de interdependência energética, não se perpetuou com sucesso?

3 – O que se pode fazer para que a implementação desses programas se tornem ações definitivas e permanentes?

BIBLIOGRAFIA

ATLAS de Energia Elétrica do Brasil. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica. 2002. 153 p.

COELHO, S. T. *Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo*. 1999. 278 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COELHO, S. T.; SILVA, O. C.; CONSÍGLIO, M.; PISETTA, M.; MONTEIRO, M. B. C. A. *Panorama do potencial de biomassa no Brasil – Projeto BRA/00/029 – Capacitação do setor elétrico brasileiro em relação à mudança global do clima*. Brasília, DF: ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002. 80 p.

COSTA, D. F. *Biomassa como fonte de energia, conservação e utilização*. 2002. 38 p. Monografia (Especialização). Instituto de Energia / Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PARENTE, E. J. S. *Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado*. Fortaleza: Tecbio Tecnologias Bioenergéticas Ltda, 2003. 66 p.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G. *A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: Contribuição à matriz energética do Brasil*. 2000. 205 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

Visita à Unidade Fabril da Klabin Monte Alegre – Telêmaco Borba/PR.

Sites:

www.cenbio.org.br

www.aneel.org.br

www.iee.usp.br

www.unica.com.br