
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA ÁREA DE ENERGIA

JOSÉ GOLDEMBERG

Professor do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo

Resumo: É feita uma análise do perfil de consumo de energia no Brasil e as suas perspectivas para as próximas décadas. Com essa abordagem, verifica-se que energias renováveis representam 58% do consumo, sendo que o restante provém de combustíveis fósseis, com riscos de exaustão nos próximos 20 anos. Decorre daí a necessidade de acelerar os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento para enfrentar esta situação atuando em três frentes: eficiência energética; aumento da participação de fontes renováveis de energia; e novas tecnologias. *Palavras-chave:* fontes renováveis; eficiência energética; novas tecnologias; perfil de consumo de energia.

Energia é um ingrediente essencial para o desenvolvimento. Basta comparar o consumo per capita nos países industrializados da OCDE de 5,5 TEP per capita por ano com o consumo brasileiro de 1,39 TEP per capita por ano em 1998 para se dar conta do longo caminho que o país tem a percorrer. O perfil de consumo de energia da OCDE e o do Brasil são, contudo, substancialmente diferentes. Enquanto na OCDE combustíveis fósseis representam 81% do consumo, no Brasil, significam apenas 42% (Gráfico 1).

O consumo de energia no mundo cresce cerca de 2% ao ano e deverá dobrar em 30 anos se prosseguirem as tendências atuais. O crescimento não é uniforme: nos países industrializados é de apenas cerca de 1% ao ano, mas chega a 4% ao ano nos países em desenvolvimento que estão crescendo rapidamente e que vão dominar o cenário mundial no que se refere ao consumo de energia dentro de 15 anos. Cerca de 400 bilhões de dólares são investidos, por ano, neste setor.

As principais conseqüências desta evolução são o aumento do consumo de combustíveis fósseis e a resultante poluição ambiental em todos os níveis – local regional e global. Cerca de 85% do enxofre lançado na atmosfera (principal responsável pela poluição urbana e pela chuva ácida) origina-se na queima de carvão e petróleo, bem como 75% das emissões de carbono (responsável pelo “efeito estufa”).

O consumo per capita de energia no Brasil tem crescido a uma taxa anual de 2,2% nos últimos anos, mas o país não precisa repetir a trajetória de desenvolvimento seguida pelos países que são hoje industrializados, nos quais o elevado consumo de energia de origem fóssil resultou em sérios problemas ambientais.

No Brasil, 78,5% da energia consumida é produzida internamente e o restante é importado, principalmente petróleo e gás natural. A importação de petróleo e derivados representa 16,3% da oferta interna total de energia.

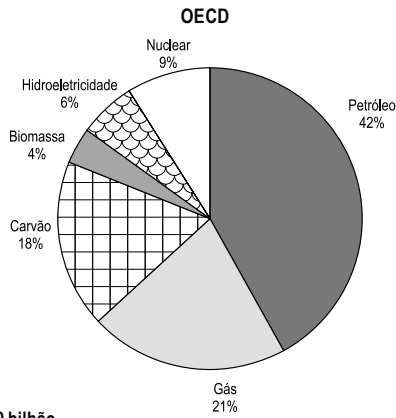
A evolução do consumo de energia elétrica entre 1970 e 1998 mostra que o consumo de petróleo e o de lenha vêm se reduzindo em termos percentuais. Em contrapartida, estão crescendo o consumo de cana-de-açúcar e o de energia hidroelétrica (Gráfico 2). A importação de petróleo, que representava cerca de 50% no passado, tem caído lentamente e se encontra hoje no patamar de 30%.

Fontes renováveis de energia significam cerca de 58% do consumo, em 1998, e sua percentagem tem se mantido aproximadamente constante desde 1970. Porém, a situação das reservas brasileiras de combustíveis fósseis não é encorajante (Tabela 1). Para o petróleo e gás, estas reservas não são superiores a 20 anos, mesmo considerando os recursos medidos e reservas estimadas.

O Brasil encontra-se numa situação em que, por um lado, o consumo de energia está crescendo, o que levará

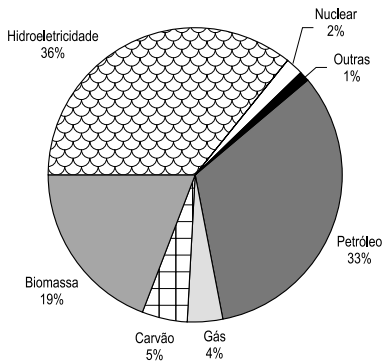
GRÁFICO 1

**Perfil do Consumo de Energia
OECD e Brasil – 1998**



População: 1,0 bilhão
Consumo Total: 5.503,00 x 10³ TEP
Consumo per capita: 5,5 TEP

Brasil



População: 160 milhões
Consumo Total: 250.088 x 10³ TEP
Consumo per capita: 1,39 TEP

Fonte: UNDP/DESA/WECC, 2000; Ministério de Minas e Energia, 1999.

TABELA 1

**Produção e Recursos de Energia
Brasil – 1998**

Produção e Recursos de Energia	Petróleo	Gás Natural	Carvão
Produção de Energia Primária (x10 ³ TEP)	49.571	10.443	2.030
Recursos Medidos (RM)	513.880	120.400	80.175
RM/Produção (em anos)	10,4	11,6	39,5
Reservas Estimadas (RE)	499.124	980.200	175.910
RE/Produção (em anos)	10,1	9,4	86,6
Recursos Totais (1) (RT)	1.017.030	218.671	256.137
RT/Produção (2) (em anos)	20,5	21,0	126,1

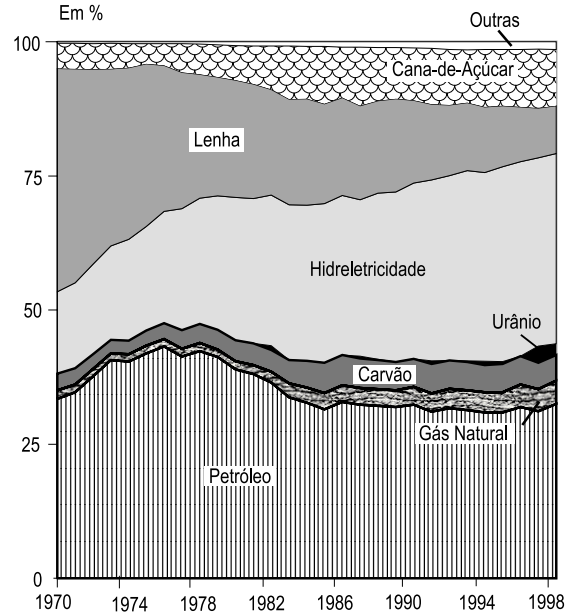
Fonte: Ministério de Minas e Energia, 1999.

(1) RT = recursos medidos + reservas estimadas.

(2) Assumindo que o consumo e as reservas medidas se mantenham constantes.

GRÁFICO 2

**Consumo de Energia, segundo Fontes
Brasil – 1970-1998**



Fonte: Ministério de Minas e Energia, 1999.

certamente à exaustão rápida das reservas de combustíveis fósseis, e, por outro, o aumento do consumo agrava os problemas ambientais. A pergunta a se fazer é: existem soluções técnicas para este dilema?

A resposta é afirmativa e as soluções são basicamente as seguintes:

- melhorar a eficiência com que os combustíveis fósseis são usados, o que reduziria o seu uso e, conseqüentemente, prolongaria a vida das reservas. Com isso, seriam reduzidas as emissões anuais de poluentes. Isto já está ocorrendo porque inúmeros progressos tecnológicos estão sendo feitos o tempo todo, mas estes progressos não têm bastado para diminuir suficientemente a taxa de crescimento com que os combustíveis fósseis são usados;
- aumentar a participação de fontes renováveis de energia, sobretudo as modernas, como a energia dos ventos, células fotovoltaicas e combustíveis obtidos da biomassa, como etanol no Brasil. Hoje, estas fontes representam apenas 2% do consumo mundial;
- acelerar o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias, como células de combustíveis baseadas no uso de hidrogênio, o uso “limpo” de carvão e, eventualmente, energia nuclear em formas que evitem os problemas criados no presente.

Em todas estas opções, Pesquisa e Desenvolvimento tem um papel relevante.

O USO EFICIENTE DE ENERGIA

A maioria dos equipamentos e processos utilizados nos dias de hoje nos setores de transporte, industrial e residencial foi desenvolvida numa época de energia abundante e barata e quando as preocupações ambientais ou não existiam ou eram pouco compreendidas. Estes são os motivos pelos quais haja tantas oportunidades para melhorias na economia de energia, seja para aumentar a competitividade das empresas, seja para melhorar a imagem pública de indústrias que deixaram de ser poluentes.

Nos países em desenvolvimento, a indústria foi estabelecida tardiamente: nas antigas colônias, a maior parte dos produtos industrializados era importada da Europa ou dos EUA, com exceção de alguns bens produzidos localmente, sobretudo por métodos artesanais. Ao longo dos anos, à medida que os mercados locais cresciam, máquinas ou fábricas inteiras foram transferidas para os países em desenvolvimento e serviram como a base para o desenvolvimento local. Geralmente, o equipamento era usado ou obsoleto, mas ainda assim servia à finalidade de produzir bens de consumo de baixa qualidade. Na maioria dos casos, o equipamento era ineficiente e apenas recentemente as melhorias feitas nos países industrializados começaram a chegar aos países em desenvolvimento. A integração de muitos deles na economia internacional e o aumento no comércio e nas exportações estão levando a uma modernização do desenvolvimento industrial de muitos desses países.

Atualmente a eficiência global de conversão de energia primária em energia útil é de aproximadamente um terço (33%). Em outras palavras, dois terços da energia primária são dissipados no processo de conversão, principalmente sob a forma de calor a baixas temperaturas.

Nos próximos 20 anos, a quantidade de energia primária poderá ser reduzida de 25% a 35% nos países industrializados com ganhos econômicos significativos. Reduções de mais de 40% poderão ser obtidas na economia em transição da Europa Oriental e ex-União Soviética. Nos países em desenvolvimento, que se caracterizam por um alto índice de crescimento econômico e também por uma grande presença de equipamentos obsoletos, os potenciais de melhora são ainda maiores, entre 30% e 45%.

A seguir, apresentam-se os principais ganhos que poderão ser obtidos em diversas áreas.

Setor Industrial

Há diversas “tecnologias horizontais” de conservação de energia que são empregadas em muitas indústrias, podendo ser de dois tipos: componentes básicos dos equipamentos em todas as áreas da indústria; e tecnologias para aplicações individuais.

Na categoria de *componentes básicos* estão incluídos:

- motores/engrenagens – desenvolvimento de controladores de motor mais rápidos e mais inteligentes (com novos sistemas eletrônicos de potência);
- caldeiras para a produção de vapor ou de água quente (usando queimadores de pequena emissão);
- compressores com superisolamento contra barulho para uso direto nos lugares de trabalho;
- sistemas de manejo energético para processos industriais e construções.

Na categoria de *tecnologias com aplicações individuais*, podem ser incluídos:

- controle de processo (novos sensores, microeletrônica);
- separação de substâncias a baixas temperaturas (por meio de membranas);
- processamento a laser (têmpera, corte e perfuração de buracos no aço);
- aquecimento infravermelho, secagem;
- aquecimento solar para a indústria (especialmente nos climas mais quentes).

Setor Residencial

Aproximadamente 20% de toda a energia usada nos países da União Européia é consumida em casas e apartamentos, sendo que a situação não é muito diferente no resto do mundo. Nos países industrializados, onde o problema de moradia da população já foi em boa parte resolvido, a tarefa é, principalmente, readaptar as construções existentes, o que poderá significar considerável economia de energia. Nos países em desenvolvimento, cujo problema é diferente porque há um enorme “déficit” de moradias, grandes economias podem ser obtidas melhorando o projeto e a construção de novos prédios. Essa é uma área muito promissora, pois a experiência mostra que para construir um prédio mais eficiente custa apenas um pequeno percentual a mais do que um convencional. No aspecto regulatório, ações importantes podem ser tomadas, tais como:

- códigos de construção para os prédios existentes;
- códigos de construção para novos prédios (bem rigorosos, pois seria mais caro retardar sua introdução e depois adicionar melhorias comparáveis em prédios existentes);
- certificados energéticos para os prédios;
- incentivos financeiros (redução de impostos, financiamento) para prédios energeticamente eficientes.

Na Suíça, por exemplo, os prédios comerciais construídos atualmente consomem, por metro quadrado, apenas metade da energia consumida 20 anos atrás, o que foi obtido graças a códigos de construção mais rigorosos.

No que concerne a tecnologias específicas, há três áreas principais de ação: aparelhos domésticos, iluminação e aquecimento ambiental.

Os *aparelhos domésticos*, especialmente os elétricos, estão sendo cada vez mais utilizados. Há, portanto, amplas oportunidades para melhorias técnicas em cada uma das seguintes áreas:

- refrigeração (incorporando isolamento livre de CFC que é mais eficiente, usando aerogel, e painéis cheios de gás e placas de vácuo);
- novos tipos de aparelhos para cozinhar (microondas avançados, indução eletromagnética) e isolamento do forno melhorado;
- aquecedores de madeira eficientes;
- máquinas de lavar modernas (exigindo menos água para aquecer, temperaturas de lavagem menores e secagem mecânica a velocidades de rotação maiores, que reduzem as necessidades térmicas);
- aparelhos de televisão e computadores de baixo consumo de energia;
- equipamentos de escritório (aparelhos de fax com perdas reduzidas em *standy-by*).

A *iluminação* é uma área na qual o potencial para se economizar energia pela readaptação de velhos sistemas é da ordem de 60%. São possíveis até economias maiores com a incorporação de “arquitetura solar passiva” no projeto de novos prédios.

As áreas específicas são:

- lâmpadas e refletores de alta eficiência;
- controle automático da iluminação artificial como uma função da luz do dia;
- sensores que controlam a iluminação de um ambiente de acordo com a sua ocupação;

- sistemas avançados de controle de luz mais próxima.

Aquecimento ambiental e água quente são frequentemente produzidos em conjunto. Assim, as técnicas para melhorar a eficiência podem ser aplicadas simultaneamente a ambos. Exemplos são os seguintes:

- aquecedores de água com condensadores;
- aquecedores solares de água;
- aquecimento distrital;
- bombas térmicas avançadas com custo competitivo para fornecer aquecimento e refrigeração;
- reaproveitamento do calor desperdiçado por condicionadores-de-ar, sistemas de refrigeração, etc., para aquecimento local de água.

Transporte

O setor de transporte representa 22% do consumo total de energia dos países industrializados, principalmente pelos automóveis. Embora este seja o setor de crescimento mais rápido, a taxa de aumento na demanda por energia no transporte rodoviário tem diminuído na maioria destes países desde o final da década de 60. Isso reflete tanto uma melhoria na eficiência dos veículos quanto uma redução no número de automóveis por moradia. Contrastando com isso, o número de moradias com dois ou mais automóveis cresceu sistematicamente nas últimas décadas.

Nos países em desenvolvimento, o transporte representa 14% do consumo total de energia, mas o número de automóveis é de aproximadamente 20 por 1.000 pessoas, comparado com 600/1.000 pessoas nos países industrializados. Se a utilização dos automóveis, em todo o mundo, alcançasse os níveis dos países da OECD, os problemas ambientais tornar-se-iam insolúveis. O congestionamento e o uso de terra para as estradas imporiam tensões adicionais em diversos países como, por exemplo, na China.

As soluções técnicas para melhorar a eficiência e reduzir as emissões do setor de transporte são:

- melhoria na eficiência do motor, aumentando o desempenho com o qual a energia no combustível é convertida em trabalho útil para mover o automóvel. A eficiência do motor é o produto de dois fatores: *eficiência térmica*, que reflete quanta energia de combustível é convertida em trabalho para mover o motor e o veículo; e a *eficiência mecânica*, que representa a fração deste trabalho que é transmitido pelo motor ao veículo;

- uso de combustíveis alternativos à gasolina e ao óleo diesel.

A eficiência térmica pode ser melhorada, em princípio, aumentando a taxa de compressão dos motores a gasolina, passando dos atuais nove para cerca de 15, o que resultaria numa melhora da eficiência térmica nominal de aproximadamente 15%. Na prática, os ganhos são menores não apenas porque o atrito aumenta com a taxa de compressão, mas também porque crescem os efeitos de parede (esfriamento e combustível não queimado associado com a superfície).

O aproveitamento da energia do gás de escape pode também ser significativo. Os gases de escape contêm aproximadamente 40% da energia do combustível usado pelo veículo, embora a qualidade dessa energia seja baixa por causa da temperatura reduzida.

Uma melhora na eficiência mecânica pode ser alcançada diminuindo a potência exigida do motor ao reduzir a resistência do ar e de rotação, o peso, o atrito do sistema de transmissão de potência e as cargas acessórias do veículo. Ao contrário da eficiência térmica, para a qual não se pode esperar eficiências maiores de 50% devido às limitações dos ciclos termodinâmicos, é possível aumentar a eficiência mecânica média dos 40% atuais para aproximadamente 65%.

A eficiência mecânica dos automóveis norte-americanos típicos é de aproximadamente 35%, quando se faz a média por todo o ciclo de transporte urbano, e de cerca de 50% nas estradas. A eficiência mecânica global tem uma média de 40%, sendo menor para os automóveis de alta potência e maior para aqueles de baixa potência.

Turbinas a gás têm sido propostas para veículos devido a seu baixo peso, pequeno ruído e redução de emissões de escape (exceto NOx) e alta eficiência. Abaixo de 100 kW, contudo, elas atualmente são muito caras e ineficientes, tornando-as, assim, inconvenientes para uso na maioria dos automóveis.

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

As principais fontes renováveis disponíveis são apresentadas na Tabela 2, bem como o estágio que já atingiram tanto do ponto de vista técnico como comercial. Dentre elas, a mais relevante para o Brasil é a energia de biomassa, que representa uma importante contribuição ao consumo de energia no Brasil.

Os avanços tecnológicos ocorreram sobretudo em duas áreas: produção de álcool e co-geração de eletricidade a partir de cana-de-açúcar.

TABELA 2
Características Mundiais das Tecnologias de Energia Renovável 1994

Tecnologias	"Status" Técnico (1)	"Status" Comercial Atual (2)
Biomassa		
Rejeitos Agrícolas	P-D	A
"Fazendas" Energéticas	P-D	A
Lixo Urbano	P-D	A
Biogás	D	A
Álcool	M	E
Geotérmica		
Hidrotérmica	M	E
Geopressurizada	D	NE
Rochas Secas Quentes	P-D	NE
Magma	P	NE
Hidroelétrica		
Pequena Escala	M	A
Grande Escala	M	A
Oceânica		
Marés	M	A?
Corrente de Maré	P	NE
Ondas Costeiras	P-D	A?
Ondas no Mar	P	NE
Térmica Oceânica (Otec)	P-D	A?
Gradiente de Salinidade	P	NE
Solar		
Termoelétrica Solar	P-D	NE
Térmica Solar	M	E
Arquitetura Solar	M-D	E
Fotovoltaica	M-D	A
Termoquímica	M-P	A?
Fotoquímica	P	NE
Vento		
Em Terra Firme	M-D	A
No Mar	D	A?
Bombas de Ar	M	A

Fonte: "Energy and Environment Technology to Respond to Global Climate Concerns", Scoping Study 1994, IAE/OECD, Paris, 1994.

(1) P = Pesquisa; D = Demonstrado; M = Maduro.

(2) A = Econômico em certas áreas ou nichos de mercado; E = Econômico; NE = Não-Econômico.

Produção de Álcool

O desenvolvimento tecnológico das usinas de açúcar e álcool foi inicialmente dificultado pelo baixo nível técnico. Com o aumento na produção, avanços tecnológicos foram introduzidos nas fases agrícola e industrial:

- uso de variedades selecionadas de cana-de-açúcar;
- redução do consumo de combustível na maquinaria e mecanização da colheita;
- acoplamento de vários "contêineres" a um veículo para a transferência da cana-de-açúcar;

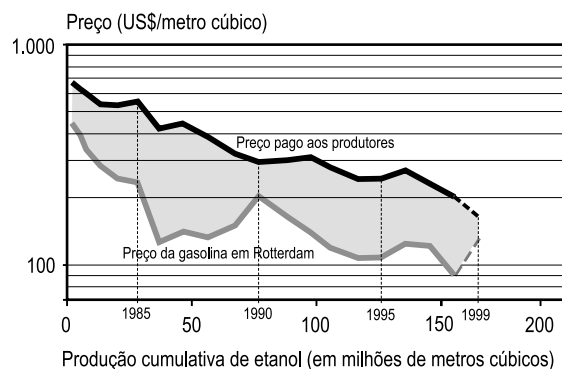
TABELA 3
Potencial de Redução do Custo de Produção de Etanol
Estado de São Paulo – 1989

Setor	Redução de Custo (1)
Em porcentagem	
Total	23,1
Produção de Cana (agricultura)	
Seleção de Variedades e Manuseio	9,8
Aplicação de Calcário	1,6
Fertilizantes Líquidos	0,7
Uso da Vinhaça	1,0
Remoção de Ervas Daninhas	2,1
Transporte	0,5
Planejamento Operacional	3,4
Produção de Etanol (indústria)	
Moagem	1,3
Fermentação	3,3
Destilação	0,3
Energia	1,5

Fonte: Copersucar.

(1) Corresponde à razão entre os ganhos no benefício líquido menos os custos associados, incluindo custos de processamento e o custo total de produção e armazenagem do etanol.

GRÁFICO 3
Curva de Aprendizado para o Custo do Etanol
Brasil – 1985-1999



Fonte: Datagro (várias edições). Elaboração do autor.

- manejo dos resíduos agrícolas – como a utilização do vinhoto para fertilizantes e a limpeza da cana sem a necessidade de lavagem, que leva a perdas de 1% a 2% do açúcar;
- extração do suco – 45% superior ao de 1975, com redução da energia utilizada por tonelada de cana;
- tratamento do suco e fermentação – graças à fermentação contínua e o controle biológico;
- destilação – devido a melhorias nos equipamentos e mudanças no conteúdo do álcool da mistura.

Outras reduções de custo de aproximadamente 23% poderiam ser obtidas nos próximos anos simplesmente adotando tecnologias disponíveis, algumas das quais já em uso (Tabela 3). É provável, portanto, que a taxa média de redução de custo (aproximadamente 4% ao ano na última década) possa ser mantida por vários anos.

Como resultado de tais avanços tecnológicos, a produção de etanol passou de 2.633 litros por hectare, em 1977, para 3.811 litros, em 1985 (uma média de aumento anual de 4,3%). Durante o mesmo período, a produtividade agrícola cresceu 16% (medida em toneladas de cana por hectare) e a produtividade industrial aumentou 23% (medida em litros de etanol por tonelada de cana). Em 1989, a média de produtividade no Estado de São Paulo era de 4.700 litros de etanol por hectare, aumentando para 5.100 litros em 1996.

O custo do álcool produzido caiu rapidamente como resultado destes avanços. Geralmente o preço de qualquer produto manufaturado declina à medida que as vendas aumentam de acordo com a “curva de aprendizado”, que reflete ganhos devido ao progresso tecnológico, às economias de escala e ao aprendizado organizacional. A experiência mostra que tal redução é exponencial à medida que a produção cresce. Um indicador chamado razão de progresso (PR) é, em geral, usado para descrever este fenômeno.

A CO-GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR

A co-geração de energia, uma prática corrente da produção industrial do etanol no Brasil, reduz os danos ao meio ambiente e poderia ser aumentada significativamente se o desenvolvimento tecnológico acarretasse o uso dos resíduos da cana-de-açúcar, além do bagaço, para a geração de energia. A quantidade de resíduos estimada é de quase 40 x 10⁶ toneladas de matéria seca, sendo que uma porção significativa poderia ser usada. Em média, 280 kg de bagaço (que contém 50% de mistura) são produzidos por toneladas de cana, o que equivale a 2.1 gigajoules de energia por tonelada; 90% do bagaço é queimado para produzir vapor (450 a 500 kg de vapor podem ser gerados de 1 tonelada de cana) que, por sua vez, pode ser utilizado para co-

gerar eletricidade e potência mecânica para os motores da usina.

Na maioria das unidades de produção de álcool do Brasil, as caldeiras que produzem vapor para o estágio de destilação operam em pressões de 20 bar quando gerando pequena quantidade de eletricidade (15-20 kWh/t de cana), suficiente para as necessidades da unidade. Isto significa que o potencial para co-geração é praticamente inexplorado. A melhoria mais simples para a geração de eletricidade é usar turbinas de vapor do tipo condensação-extração (Cest) e pressões de até 8 megapascal e reduzir o uso de vapor do processo a 350 kg vapor por tonelada de cana. A eficiência para a produção de eletricidade em unidades que operam dessa forma pode atingir 10% a 20%, que é superior à eficiência das unidades em operação atualmente. Unidades tipo Cest são usadas rotineiramente em outras partes do mundo e são capazes de gerar um excesso de eletricidade de 80-100 kWh/t de cana que pode ser vendida à rede elétrica.

Um sistema Cest é viável para a venda de eletricidade a 50 US\$/MWh. Se o preço da eletricidade vendida for maior, a consequência é uma redução no custo do álcool. Isto está ocorrendo com a indústria do açúcar do Havai e Ilhas Maurício, mas não é o caso do Brasil, onde a hidroeletricidade em bloco é vendida a um valor inferior a US\$ 40/MWh. Este é um sério obstáculo à co-geração que exigirá uma melhor avaliação do custo marginal real da eletricidade em bloco no Brasil.

A moderna tecnologia de gaseificadores de biomassa integrados com turbinas a gás (BIG/GT), ainda em desenvolvimento, deverá ser capaz de produzir um excesso de eletricidade de 600 kWh/t de cana.

Um projeto está em desenvolvimento no Brasil para uma usina completa de demonstração de 25 MW, apoiada financeiramente pela Global Environment Facility (GEF).

O potencial de co-geração de eletricidade foi estimado por vários grupos e poderia atingir vários milhões de kilowatts apenas no Estado de São Paulo.

Várias outras oportunidades do uso de biomassa para fins energéticos têm sido exploradas no Brasil, mas ainda não atingiram um volume significativo (pequenas centrais termoeletricas utilizando lenha e resíduos vegetais, óleos vegetais como substituto de óleo diesel, briquetes de madeira, carvão vegetal e produção de metano em lixões).

Novas Tecnologias

Existe uma enorme gama de atividades em novas tecnologias que estão sendo exploradas para encontrar outros caminhos para enfrentar a necessidade crescente de energia e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais do uso de combustíveis fósseis. Uma enumeração simples de algumas delas é a seguinte:

- células de combustível para transporte;
- células de combustível acopladas com turbinas a gás (ou vapor) para a produção de eletricidade ou co-geração de calor e eletricidade;
- produção de hidrogênio a partir da redução de combustíveis fósseis (principalmente carvão) e seqüestro de CO₂. Este seqüestro pode se dar por reinjeção em poços de petróleo, no mar a grandes profundidades ou em lençóis de água em terra firme;
- uso de células fotovoltaicas e energia dos ventos que são intermitentes por natureza acopladas a geração hidroelétrica em armazenagem de ar comprimido.

Os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento nessas áreas, no Brasil, são modestos e se destinam, de modo geral, a um acompanhamento do que se fez no exterior.

Dignos de menção, contudo, são os trabalhos referentes ao “efeito estufa”, vinculados a emissões em reservatórios de barragens para geração de eletricidade. Existem, também, os diversos esforços para entender melhor o que ocorre na Amazônia, onde o desmatamento é uma das principais fontes de emissões de CO₂, mas onde há também evidências para a “fertilização” da floresta e a resultante reabsorção do CO₂ na atmosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COPERSUCAR. “Pro-Álcool”. *Fundamentos e perspectiva Copersucar*. São Paulo, 1989.
- DATAGRO. *Boletim informativo sobre a indústria sucro-alcooleira*. Várias edições.
- GOLDEMBERG, J. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1998.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanço Energético Nacional*, 1999.
- MOREIRA, J.R. e GOLDEMBERG, J. “The Alcohol Program”. *Energy Policy*, 27, 1999, p.229-245.
- UNDP/DESA/WEC – United Nations Development Programme/United Nations. Department of Economic and Social Affairs/World Energy Council. *World energy assessment. Energy and the challenge of sustainability*. Nova York, 2000.