





Dossiê
**Energia Positiva
para o Brasil**

O BRASIL QUER ENERGIAS RENOVÁVEIS

Nós, brasileiros, somos apaixonados pela beleza natural do nosso País e, por outro lado, cada vez mais conscientes da necessidade de garantirmos alternativas para o desenvolvimento sustentável para o Brasil.

Energia é um elemento fundamental para garantir nosso desenvolvimento. Porém, para assegurar a sustentabilidade das fontes energéticas, devemos buscar opções de energia limpas e renováveis, que sejam também economicamente viáveis e socialmente justas.

O Brasil é solar, é eólico, é da biomassa! Devemos ter um papel de liderança mundial nesta revolução energética, gerando empregos para a nossa população, movimentando a economia interna do País e, até mesmo, recolhendo um bom volume de divisas por meio da exportação de biocombustíveis e de equipamentos e tecnologias para geração de energias limpas e seguras.

Temos que aproveitar a grande oportunidade que se apresenta para promover uma política energética interna sustentável. Precisamos e queremos mudar a cara deste País! E, para isto, devemos investir em grande escala em conservação energética e em fontes de energia renováveis e sustentáveis.

É possível desenvolver o País e afastar o fantasma do apagão, produzindo a nossa eletricidade e os nossos combustíveis de forma social, econômica e ambientalmente correta e usando essa energia de forma consciente, sem desperdícios.

Ao contrário, não precisamos de usinas nucleares ou termelétricas a carvão mineral, que tantos prejuízos acarretam ao meio ambiente e à saúde humana. Não podemos desperdiçar outros bilhões de dólares em tecnologias ultrapassadas, sujas, caras e perigosas.



Frank Guggenheim
Diretor Executivo
Greenpeace

Índice

A EXPEDIÇÃO “ENERGIA POSITIVA PARA O BRASIL”	04
GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA ENERGIA SOLAR SISTEMAS FOTOVOLTAICO.....	06
BRASIL REDESCOBRE POTENCIAL DAS MICRO E PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCHS).....	13
A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	20
SETOR SUCROALCOOLEIRO.....	28
GERAÇÃO COM BIOGÁS DE ATERROS DE LIXO.....	36
BIODIESEL E ÓLEOS VEGETAIS COMO ALTERNATIVA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: O EXEMPLO DE RONDÔNIA.....	44
POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL A PARTIR DE SUBPRODUTOS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO (BIOMASSA)	52
EFICIÊNCIA E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	61
REPOTENCIAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS.....	68
NOTAS FINAIS.....	76

A Expedição “Energia Positiva para o Brasil”

O Greenpeace lançou, em outubro de 2004, a Expedição Energia Positiva para o Brasil, que visa promover as fontes de energia renováveis e sustentáveis, demonstrando sua viabilidade técnica e a possibilidade de sua aplicação no cotidiano do cidadão comum brasileiro.

As fontes renováveis de energia oferecem inúmeras vantagens em relação às energias sujas (nuclear, carvão mineral e petróleo), como: assegurar a sustentabilidade da geração de energia a longo prazo; reduzir as emissões atmosféricas de poluentes; criar novas oportunidades de empregos; e diminuir o desmatamento de nossas florestas. O Brasil está pronto para substituir as energias sujas pelas renováveis, graças às inúmeras fontes energéticas disponíveis no país.

Além disso, as energias renováveis são inesgotáveis, não agredem o meio ambiente e não provocam grandes impactos socioambientais. Entre as energias renováveis, podemos destacar: solar (fotovoltaica e térmica), biogás (de lixo ou esterco ou esgoto), biomassa (restos agrícolas, serragem, biodiesel, álcool e óleos *in natura*), eólica (vento) e pequenas centrais hidrelétricas. A expedição trata também a respeito da eficiência energética.

Um caminhão equipado com uma carreta transporta um contêiner de 12 metros, que conta com uma exposição multimídia sobre as energias renováveis. Toda a eletricidade necessária para o funcionamento da exposição e das atividades a serem desenvolvidas durante o trajeto é proveniente de 24 placas fotovoltaicas fixadas no teto do contêiner que transformam a energia do Sol, gerando 2400 Watts de eletricidade – o suficiente para alimentar simultaneamente dois computadores, um aparelho de TV, um DVD, um vídeo cassete e 12 lâmpadas fluorescentes.

A expedição, que terminará em dezembro de 2004, está percorrendo 21 estados brasileiros, 14 mil quilômetros, durante 80 dias, atravessando algumas das principais cidades do país e promovendo o potencial energético de cada região.

Durante 40 dias, um caminhão movido a óleos vegetais *in natura* acompanhou a expedição, demonstrando a viabilidade dos biocombustíveis.

Doação do Contêiner

Ao término da expedição, o contêiner e os equipamentos serão doados à Cooperativa Mista dos Produtores Extrativistas do Rio Iratapuru, comunidade localizada a 420 km de Macapá, no Amapá. Neste local, existe uma pequena fábrica de extração de óleo de castanha, cuja produção é vendida para a Natura, que utiliza a matéria-prima na produção de sua linha Natura Ekos. O contêiner solar irá gerar energia para apoiar a atividade produtiva da comunidade.

A escolha da Cooperativa Iratapuru também se deve à sua preocupação com a conservação do meio ambiente. A comunidade acaba de obter a certificação do FSC Brasil (Forest Stewardship Council), entidade internacional que audita os processos de manejo dos ativos da natureza, para garantir que sejam sustentáveis. A Natura, parceira da comunidade, criou um fundo de desenvolvimento sustentável da comunidade, repassando 0,5% da receita líquida obtida com a venda dos produtos que utilizam a matéria-prima proveniente de Iratapuru.

Hotsite do tour: http://www.greenpeace.org.br/tour2004_energia/

Brasília, novembro de 2004.

GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA ENERGIA SOLAR SISTEMAS FOTOVOLTAICO

Prof. Roberto Zilles – Instituto de Eletrotécnica e Energia da
Universidade de São Paulo

1. A energia solar fotovoltaica no contexto internacional e nacional

A utilização da energia solar fotovoltaica teve nos últimos anos um acelerado crescimento. Durante a década de 1990, seu mercado cresceu a uma taxa média de 20% ao ano e, entre os anos de 2000 e 2003, superou os 40%. Atualmente, a produção mundial de módulos fotovoltaicos ultrapassa a cifra de 756MWp por ano. A figura 4 apresenta a evolução da produção mundial de módulos fotovoltaicos até o ano de 2003. [1] [2] [3] e [4].

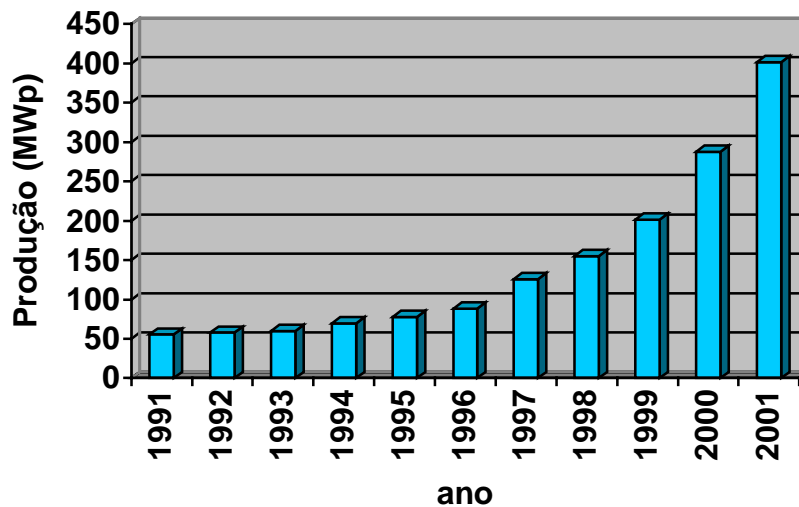


Figura 4. Evolução da produção mundial de módulos fotovoltaicos.

Apesar do crescimento acelerado e da redução acentuada do custo –de US\$ 120/Wp em 1970 para cerca de US\$ 3,5/Wp em 2001 [5], não se verificou a explosão de mercado prevista na década de 1970, sobretudo porque não surgiu a demanda “espontânea” que a queda projetada nos custos deveria induzir. Em grande medida, é uma indústria cujo avanço ainda se faz com auxílio de subsídios e incentivos governamentais: no ano de 2000, por exemplo, o Japão investiu

neles US\$ 251,52 milhões, os Estados Unidos, US\$ 119,60 milhões, e a Alemanha, US\$ 62,06 milhões. [5]

O incremento no crescimento observado a partir de 1999 se deveu aos programas de incentivo, em especial aos programas alemão, espanhol e japonês, concebidos para ampliar a geração de eletricidade com fontes renováveis e reduzir a emissão de gases de efeito estufa. O plano Telhados Fotovoltaicos do Japão, por exemplo, previa a instalação até 2002 de 70 mil sistemas entre 3 e 4 kW, interligados à rede, com subsídio de 50% do custo da instalação, caindo para 35% em 1999 e 20% em 2002.

No Brasil foram formulados e implementados alguns programas de difusão dessa tecnologia durante a última década, ao mesmo tempo em que se consolidaram grupos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Merece destaque o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios-PRODEEM, elaborado e posto em prática pelo Ministério de Minas e Energia em parceria com governos estaduais e municipais. Esse programa teve como eixo motivador a necessidade de contar com alternativas de fornecimento de energia elétrica para as comunidades distantes das redes de distribuição, tendo fundamentalmente um fim social: em geral são eletrificadas escolas rurais e instalações comunitárias. Milhares de sistemas instalados até o ano 2000 somam aproximadamente 3,0 MW. [5]

Atualmente, quase que a totalidade dos sistemas fotovoltaicos em operação no Brasil são isolados ou não conectados à rede, e estima-se que a potência total instalada seja de aproximadamente 15 MW_p, dos quais 70% estão localizados nas regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste. Esses sistemas, economicamente viáveis para certas regiões do país, podem ser considerados uma opção real e concreta para a energização de comunidades isoladas sem acesso à rede convencional de distribuição de eletricidade.

Mais recentemente, as células fotovoltaicas vêm sendo utilizadas integradas em telhados e fachadas de edificações. Essas edificações passam a produzir parte da energia que consomem e podem, em algumas situações, verter o excedente de na rede de distribuição de eletricidade. A figura 2 mostra um sistema com essas características instalado no prédio da administração do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, que com seus 12kWp consegue fornecer ao prédio 40% da energia elétrica demandada.



Figura 6. Sistema fotovoltaico de 12kWp integrado a fachada do IEE-USP.

2. A tecnologia da eletricidade a partir da luz solar

A geração de eletricidade a partir da luz solar é feita por células solares, baseadas no efeito fotovoltaico observado pela primeira vez em 1839, que consiste na conversão da energia luminosa incidente sobre materiais semicondutores em eletricidade. As células disponíveis comercialmente utilizam o silício como material base para sua fabricação, podendo ser encontradas na forma de silício monocristalino, multicristalino e amorfo. As mais difundidas são fabricadas com lâminas de silício mono e multicristalino, com área entre 50 e 150 cm² e espessura entre 0,2 a 0,3 mm. A parte superior da célula apresenta raias de material condutor que têm a finalidade de extrair a corrente elétrica gerada quando as células são expostas à luz solar.

As células fotovoltaicas são agrupadas em associações em série e em paralelo para produzir corrente e tensão adequadas às aplicações elétricas. O conjunto é encapsulado, para proporcionar proteção mecânica contra danos

externos, compondo assim os módulos fotovoltaicos, os elementos básicos oferecidos no mercado, que possuem uma densidade de potência de $100 \text{ Wp}^1/\text{m}^2$.

A eletricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos pode ser utilizada para diferentes finalidades. As aplicações mais difundidas são:

- ✓ Telecomunicação
- ✓ Energização de residências rurais
- ✓ Bombeamento de água
- ✓ Conexão à rede

3. Vantagens e desvantagens da energia solar para a sociedade

A primeira grande dificuldade enfrentada é o alto custo da energia produzida pelos geradores fotovoltaicos, o que dificulta a difusão da tecnologia e a consolidação de seu mercado e, conseqüentemente, inibe a queda dos custos iniciais de instalação: a tecnologia é cara por não ter mercado e não tem mercado por ser cara. Até os dias de hoje, a única forma encontrada para quebrar esse ciclo foi através da implementação de mecanismos governamentais de incentivo às novas tecnologias de geração de eletricidade. Com os mecanismos de incentivo financeiro, criam-se mercados para que essas tecnologias possam se desenvolver e, conseqüentemente, promover a diminuição de seus custos.

Para os mercados atualmente competitivos isto é, a energização rural em comunidades isoladas (residências, escolas, postos de saúde e centros sociais), o preço dos módulos fotovoltaicos não é um obstáculo definitivo (3 US\$/Wp). Muitos domicílios em regiões remotas e isoladas do país, que em geral apresentam pouca demanda de eletricidade, basicamente para fins de iluminação e comunicação, podem ser energizados com sistemas fotovoltaicos a um custo da ordem de R\$ 3.500 por instalação. Sistemas desse porte podem oferecer ao usuário 15 kWh/mês, serviço que satisfaz a condição mínima

¹ O W é uma unidade de potência – J/s (Joules por segundo). O W_p (Watt pico) é uma unidade de potência específica da tecnologia solar fotovoltaica. Como a potência entregue por um módulo fotovoltaico depende da intensidade de irradiação solar incidente, estipula-se que cada W_p instalado deverá entregar a potência de 1 W quando submetido às condições padrão de medida, qual seja: irradiação de 1000 W/m^2 , temperatura de célula de 25° C e conteúdo espectral AM1.5.

discutida na audiência pública de regulamentação desses sistemas realizada em 28 de abril de 2004, AP-ANEEL012-2004.

A implantação de sistemas fotovoltaicos em zonas isoladas poderá contribuir de forma efetiva para a universalização do serviço elétrico, particularmente em áreas nas quais a adoção de tecnologias convencionais causaria danos indesejáveis ao meio ambiente, como por exemplo a eletrificação de inúmeros domicílios de famílias ribeirinhas que ocupam a região do norte do país. Cabe ressaltar que a substituição de pequenos geradores a diesel permite a geração de energia elétrica com níveis mínimos de emissões no meio ambiente (emissões de CO₂ entre 40 e 60 g/kWh). Tecnicamente, esses sistemas se apresentam como concorrentes dos geradores elétricos convencionais; no entanto, essa concorrência ocorre em condições desfavoráveis para os sistemas fotovoltaicos, porque a formação de preços não atribui nenhum valor à redução das emissões e a origem renovável do recurso.

A contribuição da geração fotovoltaica à matriz energética do país, considerando os 15MWp instalados e um fator de capacidade para sistemas fotovoltaicos isolados da ordem de 12% (produção anual de 1050kWh/kWp), valor compatível com os resultados obtidos em campo, atinge a cifra de 15,7 GWh/ano. É preciso mencionar que os sistemas conectados à rede operam com fator de capacidade superior aos observados em sistemas isolados. Em nosso país pode-se obter, para esses sistemas, fatores de capacidade entre 15% e 19% (produtividade anual entre 1300 e 1700kWh/kWp).

No âmbito das desvantagens temos principalmente os custos elevados, que em alguns casos ainda são 8 vezes maiores que a forma convencional de suprimento energético, e, por outro lado, a intermitência de geração. No que tange aos custos elevados, observa-se uma tendência acelerada de redução, à qual se aliam os mecanismos de incentivos ambientais, tais como os certificados de seqüestro de carbono que poderão ser obtidos pelas centrais de geração fotovoltaica.

4. Heliotérmica, a outra energia solar

Outra forma de coletar a energia solar são as usinas heliotérmicas, em que não se utiliza o efeito fotovoltaico para converter a radiação emanada do Sol em eletricidade. Neste caso, o fator central é o calor, e a usina opera coletando, transportando, armazenando e convertendo calor em eletricidade. Existem três tecnologias principais para essa tarefa: cilindro parabólico, torre central e disco parabólico. Várias plantas-piloto de usinas heliotérmicas foram construídas nos anos 1980, que permitiram o avanço das tecnologias e a redução do custo da energia produzida a 1/5 do custo inicial. Hoje, 350 MW são produzidos nos Estados Unidos por plantas heliotérmicas comerciais. [5] Além dos EUA, Espanha, Israel e Austrália também estão avançados nesses projetos.

Como a exploração da energia solar com a tecnologia heliotérmica exige alta incidência de irradiação solar e baixos índices pluviométricos (ausência de nuvens), no Brasil o potencial existente se restringe ao semi-árido, ou seja, à região Nordeste, apenas 10% do território nacional. Ainda assim, poderia beneficiar uma população de cerca de 20 milhões de pessoas. A pesquisa sobre essa modalidade energética ainda é incipiente no país, tendo sido objeto por ora apenas de um estudo preliminar do CEPEL/ELETROBRÁS, para avaliação de mercado e identificação de sítios adequados no Nordeste. [5] Desse estudo originou-se o projeto Gerahélio, que conta com financiamento do Banco Mundial (GEF) para lançar as bases da primeira usina do gênero no país. Modelos matemáticos indicam que a região recebe cerca de 2,1 MW/m², valor próximo ao observado na Espanha.

A grande desvantagem da energia heliotérmica está no custo, que supera os US\$ 1.000/MWh. Para que se tornasse competitiva pelo menos diante dos geradores a diesel nas áreas remotas e distantes da rede de distribuição, precisaria ter seu custo de produção reduzido à faixa de US\$ 150/MWh. [5] Não se descarta que a pesquisa possa um dia alcançar tal objetivo, razão pela qual existe a proposta de que o Brasil não se mantenha à margem desse desenvolvimento e destine ao menos uma parte dos recursos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) previstos na Lei No. 9.991 para a construção de uma planta de pesquisa, com por exemplo três discos parabólicos de 25 kW, a um custo de aproximadamente US\$ 1 milhão.

Bibliografia

- [1] Maycock, P. *The World PV market 2000 – Shifting from subsidy to a 'fully economic'?* Renewable Energy World; Review Issue 2000 – 2001, Vol 3, nº.4 , pp 59-74, July – August, 2000.
- [2] Maycock, P. *The PV boom. Where Germany and Japan lead, will California follow?* Renewable Energy World; Review Issue 2001 – 2002, Vol 4, nº.4 , pp 145-163, July – August, 2001.
- [3] Schmela M. *Beyond expectations. Market survey on world cell production in 2001* Photon International, pp 38-42, March 2002.
- [4] Market survey on world cell production in 2003 – Photon-International March 2004
- [5] Tolmasquim, M. (org.) *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência/CENERGIA, 2003.

BRASIL REDESCOBRE POTENCIAL DAS MICRO E PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCHS)

Geraldo Lucio Tiago Filho – Prof da Unifei/ Itajubá

1. Introdução

O Brasil tem hoje uma posição privilegiada em matéria de matriz energética, com 82% de sua eletricidade obtida de fontes renováveis, a maior parte de centrais hidrelétricas, e apenas 18% de usinas termelétricas alimentadas com combustíveis fósseis ou nuclear. Bem menos conhecido é o fato de que apenas 2% da eletricidade gerada no país provém de pequenas centrais (PCHs) e, menos ainda, que a crise energética que redundou no chamado “apagão” deu um grande impulso para a revitalização dessa forma local e ambientalmente menos impactante de geração, que pode nos próximos anos dobrar sua participação no *míx* de eletricidade. Entre os potenciais beneficiados pelos incentivos criados estão sobretudo moradores de regiões isoladas e afastadas da rede interligada de distribuição.

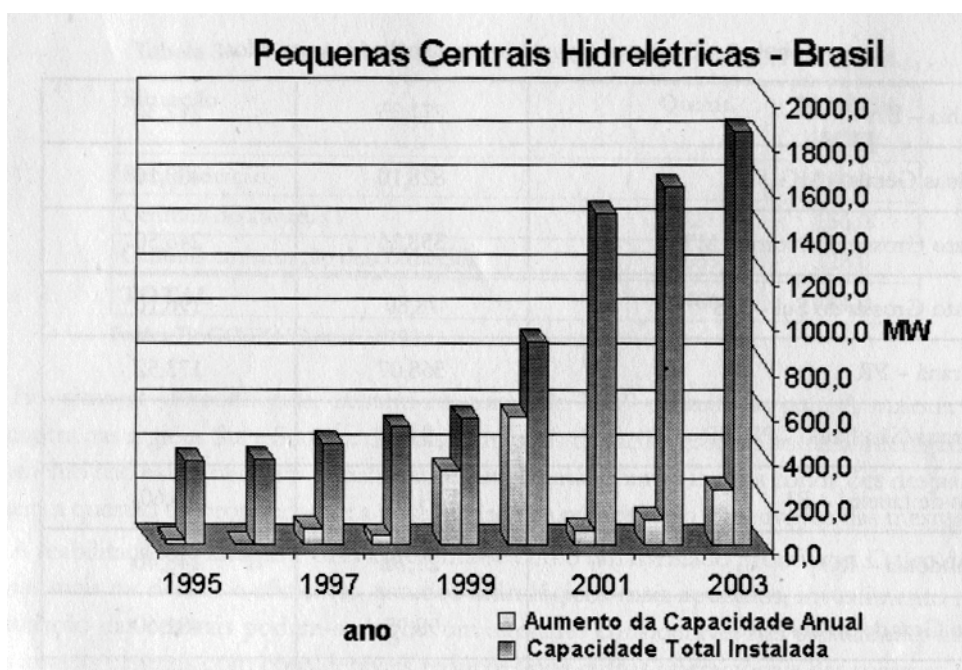
De certa maneira, a retomada das micro e pequenas centrais representa uma volta às origens da hidreletricidade no Brasil. Usinas de poucas centenas de quilowatts (kW) dominaram o panorama nas primeiras oito décadas do setor, desde que entrou em operação a pioneira usina de Ribeirão do Inferno, em Diamantina, Minas Gerais, em 1883. Elas só viriam a perder importância, e vertiginosamente, a partir da década de 1960, com a instalação do planejamento centralizado no governo central, a constituição das grandes empresas estatais de geração e distribuição de eletricidade e a construção dos megaprojetos hidrelétricos.

Um primeiro movimento de revalorização das PCHs ocorreu na década de 1980, após a primeira crise do petróleo. Foi lançado em 1983 o Plano Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas, mas o excesso de exigências e o rígido controle de tarifas pelo governo federal impediram a idéia de decolar. Eram então classificadas como PCHs aquelas com potência inferior a 10 MW, conceito que viria a ser modificado somente em 1998, quando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) elevou esse limite superior para 30 MW, permitindo ao mesmo tempo a dispensa de licitação para empreendimentos que se encaixassem nas categorias de autoprodutor ou produtor independente. Na mesma portaria (número 394, de 4/12/1998), a ANEEL definiu como critério adicional que essas centrais não poderiam ter reservatórios com área total superior a 3 km² na cheia máxima.

A portaria também ditava os critérios para diferenciar microcentrais (até 100 kW) de minicentraís (até 100 a 1.000 kW) e de pequenas centrais (1.000 a 30.000 kW); neste texto, para efeito de simplificação, os três tipos serão referidos simplifcadamente como PCHs.

2. Potencial

Devido à natureza descentralizada e desconectada da operação das PCHs, não há informações confiáveis sobre o número total dessas centrais em operação no Brasil. Segundo Geraldo Lúcio Tiago Filho (Universidade Federal de Itajubá) e colaboradores, pode haver até mais de mil micro e minicentraís, com potências médias da ordem de 300 kW, mas seu estado de operação e conservação é ignorado (TOLMASQUIM, 2003, p. 190). Segundo a ANEEL, havia cadastrado em 2002 um total de 345 PCHs em operação no país, um total de 1.468 MW. Outras 42 se encontravam em construção (516 MW) e mais 79 outorgadas (1.255 MW), totalizando 3.219 MW. Isso representa menos da metade do potencial inventariado, da ordem de 7.316 MW.





Já José Roberto Pires de Camargo (COPPE/UFRJ), citando como fonte o Sistema de Informações sobre Potencial Hídrico (SIPOT, 2002) e vários estágios de PCHs (remanescentes, individualizados, inventário, viabilidade, projeto básico, em construção), relaciona 1.828 PCHs no Brasil, com potência nominal de 17.277 MW (TOLMASQUIM, 2004, p. 116). Estima-se que pelo menos 1.000 MW de potência provenientes de PCHs entraram em operação no país só de 1995 a 2002.

Segundo o estudo citado mais atrás (TOLMASQUIM, 2003), a indústria nacional de equipamentos está plenamente qualificada para fornecer os equipamentos elétricos e mecânicos para a expansão dessa forma de geração de energia. Há problemas, no entanto, como a predominância de projetos algo ultrapassados e limitados a 10 MW de potência.

3. Programas em andamento

As PCHs foram incluídas no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA/ELETROBRÁS) em pé de igualdade com a energia obtida dos ventos (eólica), fotovoltaica e da biomassa. A meta para as PCHs até 2006, na primeira fase do PROINFA, é alcançar a implantação de 1.100 MW.

Os incentivos para essa forma de geração de energia elétrica se darão no quadro do subprograma PCH-COM (ou PCH.com), em que a ELETROBRÁS dá garantia de compra da energia da usina e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômicos e Social (BNDES) financia até 70% do investimento no empreendimento gerador, ficando os 30% restantes por conta do empreendedor. Segundo a Associação de Pequenos e Médios Produtores de Energia Elétrica, o BNDES tem previsão de fechar contratos para 30 empreendimentos até o final de 2004, para os quais tem recursos da ordem de R\$ 3 bilhões, e outros 30 até julho de 2005 (mais R\$ 3,5 bilhões). A taxa de retorno prevista para os projetos é, em média, de 14%. Já há 62 projetos selecionados pela ELETROBRÁS, conforme a tabela abaixo.

PROINFA - PCH						
Aproveitamentos Selecionados						
UF	Empresa	Aproveitamento	Qualificação	Data de LI	P. Inst. (kW)	P. Seleç. (kW)
BA	Concedora Enerbrás	PCH Cachoeira da Lapa	PIA	9/10/2003	14800	14800
		PCH Colina 1	PIA	9/10/2003	11000	11000
		PCH Colina 2	PIA	9/10/2003	16000	16000
ES	Centrais Elétricas da Mantiqueira S/A ELETROBRAS S/A	PCH São Pedro	PIA	29/9/2003	30000	30000
		PCH Furnaça IV	PIA	15/10/2003	4500	4500
		PCH São Joaquim	PIA	3/8/2001	21000	21000
		PCH São Simão	PIA	2/12/2002	27000	27000
GO	Concessã S/A Concedora Serra Negra Energética Realma Companhia Energética S/A Rio Conanta S/A Araguaiá Centrais Elétricas	PCH Mesquita	PIA	29/9/2002	30000	30000
		PCH Piranha	PIA	5/2/2001	18000	18000
		PCH Santa Edwiges II	PIA	26/12/2001	4500	4500
		PCH Mambai I	PIA	8/7/2003	12000	12000
		PCH Inara	PIA	29/5/2003	30000	30000
		PCH Jataí	PIA	31/7/2003	30000	30000
		PCH Retiro Velho	PIA	11/6/2003	18000	18000
MG	SSB Energética Centrais Elétricas da Mantiqueira S/A ELETROBRAS S/A HP1 do Brasil	PCH Bonfante	PIA	10/4/2002	18000	18000
		PCH Cachoeira Grande	PIA	5/11/2003	10000	10000
		PCH Cocais Grande	PIA	5/11/2003	10000	10000
		PCH Carangola	PIA	30/10/2003	15000	15000
		PCH Funil	PIA	23/5/2003	22500	22500
		PCH Areia Branca	PIA	30/4/2002	20000	20000
MS	SSB Energética Cia. Agrícola Sonora Estêvão Concedora Ponte Alzar DM Construtora de Obras Ltda	PCH Buril	PIA	8/11/2002	30000	30000
		PCH Aquarius	PIA	20/12/2002	4200	4200
		PCH Ponte Alta	PIA	10/7/2003	13000	13000
		PCH Alto Sucuri	PIA	14/11/2003	29000	29000
MT	Ampar Energia Ltda. Caeté Emp. Energ. Ltda. GERAESTE - Usinas Elétricas do Oeste Ltda Hidropower Energética S.A Salto Jauru Energética S/A São Tadeu Energ. Ltda Tupon Energia Elétrica Ltda Usina Elétrica Nhandu Ltda	PCH Canoa Quebrada	PIA	23/11/2001	28000	28000
		PCH Sen. J. Pinheiro	PIA	12/9/2001	5940	5940
		PCH Zé Fernando	PIA	11/6/2001	29100	29100
		PCH Eng. José Gelliso da Rocha	PIA	13/5/2002	23700	23700
		PCH Salto	PIA	3/5/2001	15900	15900
		PCH São Tadeu I	PIA	18/11/2002	18000	13760
		PCH Rondonópolis	PIA	11/10/2002	24600	24600
		PCH NHANDU	PIA	9/11/2000	13000	13000
		PCH Rochado	PIA	9/11/2000	9000	9000

PROINFA - PCH						
Aproveitamentos Selecionados						
UF	Empresa	Aproveitamento	Qualificação	Data de LI	P. Inst. (kW)	P. Seleç. (kW)
PR	Agro Pastoral Novo Horizonte S/A	PCH Novo Horizonte	PIA	25/11/2002	15000	15000
RJ	SSB Energética ELETROBRAS S/A Faz. Tucelândia Santa Rosa II Gerador de Energia LTDA	PCH Monte Sereno	PIA	10/4/2002	29000	29000
		PCH Santa Fé	PIA	11/11/2002	30000	30000
		PCH Catheira	PIA	26/12/2002	19000	19000
		PCH Tazelândia	PIA	30/1/2002	2400	2400
		PCH Santa Rosa II	PIA	13/3/2002	30000	30000
RS	Bom Retiro Energia Ltda. C.J. Energética Caçador Energética S. A CESBE S/A Engenharia e Empreendimentos Colpost Energética S. A Hidroâmica S.A Usina Emilia Energética S.A PCE - Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda	PCH Bom Retiro	PIA	16/5/2001	30000	30000
		PCH São Bernardo	PIA	27/5/2002	15000	15000
		PCH Caçador	PIA	30/5/2003	22500	22500
		PCH Carlos Gonzatto	PIA	3/9/2002	9000	9000
		PCH Colpost	PIA	30/5/2003	19500	19500
		PCH Janarca	PIA	16/7/2003	28000	27300
		PCH Usina Emilia	PIA	30/5/2003	19500	19500
PCH Esmeralda	PIA	9/5/2003	22200	22200		
SC	C.H. Salto das Flores LTDA. Centrais Elétricas da Mantiqueira S/A Coop. de Eletric. Rural Vale do Araçá - CERAÇA Geradora de Energia Nova Fátima S/A Geradora de Energia Rio Fortuna S/A Geradora de Energia São Maurício S/A Ludesa Energética S.A.	PCH Salto das Flores	PIA	10/12/2003	6700	750
		PCH Alto Irani	PIA	20/11/2002	21000	21000
		PCH Anoredo	PIA	20/11/2002	11000	11000
		PCH Plano Alto	PIA	13/11/2002	18000	18000
		PCH Fier do Sertão	PIA	23/9/2003	16500	16500
		PCH Nova Fátima	PIA	23/12/2002	4100	4100
		PCH Rio Fortuna	PIA	23/12/2002	6850	6850
		PCH São Maurício	PIA	23/12/2002	2500	2500
		PCH Ludesa	PIA	2/12/2002	26200	26200
TO	Boa Sorte Energética CNBO Produtora Energia Elétrica Ltda. Lagoa Grande Energética Povo Franco Energética Riacho Preto Energética	PCH Boa Sorte	PIA	30/10/2003	16000	16000
		PCH Água Limpa	PIA	21/11/2003	14000	14000
		PCH Areia	PIA	21/11/2003	11400	11400
		PCH Lagoa Grande	PIA	30/10/2003	21500	21500
		PCH Povo Franco	PIA	30/10/2003	30000	30000
		PCH Riacho Preto	PIA	30/10/2003	9000	9000

4. Benefícios socioambientais

As PCHs, assim como as usinas hidrelétricas de maior porte, encontram-se em posição muito favorável no que se refere a emissões de carbono, sendo portanto instrumentos importantes para o cumprimento dos cortes previstos no Protocolo de Kyoto e da meta defendida pelo Brasil na Rio+10, em Johannesburgo, de obter 10% da energia mundial de fontes renováveis até 2010 (sendo que hoje a proporção está na casa dos 2%).

Por outro lado, por serem empreendimentos de pequeno porte (reservatórios até 3 km²), têm impacto ambiental ainda menor do que suas congêneres de grande porte. Os pontos preocupantes são justamente a emissão do gás-estufa metano, pela decomposição de matéria vegetal nos reservatórios (mas com emissão muito inferior à de termelétricas movidas a combustíveis fósseis), e danos à flora e à fauna do curso d'água, para os quais no entanto devem ser feitos estudos de impacto ambiental e planejadas medidas mitigadoras, como a manutenção de uma vazão mínima. O processo para obtenção da licença ambiental, aliás, que costuma durar de 6 a 8 meses, é visto por investidores como um dos obstáculos para deslanchar essa opção de geração.

As PCHs representam uma forma rápida e eficiente de atender à crescente demanda por energia elétrica e de contribuir para o cumprimento da meta social do programa Luz para Todos, que prevê o atendimento de todos os cidadãos brasileiros até 2008. Atualmente, são 12 milhões os que não têm acesso à energia elétrica, dos quais 10 milhões na área rural. É justamente para essa população desatendida que a energia das PCHs, ao lado da solar e da biomassa, se apresenta como uma alternativa mais prática do que a integração na rede de distribuição. Na região Norte, por exemplo, 62,5% da população rural –um total de 2,6 milhões de pessoas– carece de acesso a serviços de energia elétrica. No Nordeste, são 39,3% (5,8 milhões de pessoas). Uma usina com potência de 500 kW pode fornecer a energia necessária para iluminar uma vila com 200 famílias, por exemplo.

5. Conclusão

Apesar do custo relativamente elevado da energia que produzem, que varia de R\$ 51,22/MWh (PCH de 10-30 MW na região Sul) a R\$ 122,57/MWh (microcentrais até 100 kW no Norte), ficando portanto muitas vezes acima do valor normativo fixado em R\$ 72,45/MWh pela ANEEL, as PCHs se apresentam como uma alternativa atraente para suprimento da demanda por energia, seja na forma de cooperativas para construir microcentrais e atender comunidades isoladas na área rural, seja na forma de pequenas centrais (acima de 10 MW) para comercialização.

Bibliografia

TOLMASQUIM, M.T. (org.). 2003. *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência/CENERGIA.

TOLMASQUIM, M.T. (org.). 2004. *Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil*. Rio de Janeiro: Relume Dumará.

A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Murilo Tadeu Werneck Fagá² e Hélvio Rech³ - Universidade de São Paulo

1. Introdução

Os primeiros registros de utilização de máquinas eólicas datam de 3.500 anos atrás. Os moinhos de vento representaram uma das mais importantes conquistas tecnológicas da Idade Média, graças à introdução do eixo horizontal. Desde então, até os modernos aerogeradores de nossos dias, um longo percurso tecnológico se seguiu. Tem-se agora, novamente, a possibilidade do uso em larga escala da energia dos ventos, na forma de eletricidade, o que pode vir a ocupar um significativo espaço na matriz energética mundial, com reais benefícios para a humanidade.

Recentemente, a preocupação com as emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis vem mobilizando a comunidade internacional e os governos dos países da OCDE⁴ no sentido de mudar o perfil de suas matrizes energéticas, com maior participação das energias renováveis. A Alemanha, por exemplo, tem como meta dobrar a participação dessas fontes em sua matriz energética, até 2010. Desde 1991, com a adoção de uma legislação de fornecimento elétrico que instituiu um complexo e eficiente sistema em favor das energias renováveis, o país europeu vem verificando amplo crescimento na capacidade instalada com fontes eólica e fotovoltaica.

2. A tecnologia de geração eólica

A denominada energia dos ventos pode ser explicada, em termos físicos, como a energia cinética formada devido ao deslocamento das massas de ar. Seu aproveitamento é feito por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação. Não se pode converter toda a energia dos ventos em energia elétrica. Do total do vento que incide sobre uma determinada superfície, teoricamente aproveitam-se no máximo 59%,

2 Físico, Doutor em Energia e Professor do Programa Interunidades de Pós Graduação da USP (EP-FEA-IF-IEE)

3 Engenheiro, Mestre em Energia e Especialista em Regulação dos Serviços Públicos de Energia Elétrica, pesquisador IEE/USP (hrech@iee.usp.br)

4 Conjunto de países desenvolvidos que tem a obrigação de diminuir o nível de emissão de gases de efeito estufa de acordo com o Protocolo de Kioto, que embora ainda não tenha sido ratificado, já orienta as políticas de vários países.

calculados segundo os critérios de Betz⁵. Na prática, o rendimento é muito inferior, pois há perdas mecânicas e elétricas. Os aerogeradores mais modernos atingem eficiência de 16%, mas este rendimento é superior em 300% ao dos antigos moinhos de vento.

As variáveis que definem os regimes dos ventos são a situação geográfica, as características climáticas e de relevo, a estrutura topográfica, as irregularidades do terreno e a altura do aerogerador em relação ao solo. Essas condições definem a variação de intensidade e da direção dos ventos num período de 24 horas. Sabe-se que a potência dos ventos varia com o cubo de sua velocidade e, conseqüentemente, há grande variação na energia disponibilizada. Como conseqüência, muitos aeradores podem apresentar baixo fator de capacidade,⁶ e com isso se criam dificuldades para atender uma demanda de energia constante ou não coincidente com a energia fornecida. Uma maneira de proporcionar maior confiabilidade ao fornecimento de energia elétrica é a implantação de sistemas híbridos. A geração eólica pode ser associada com outra fonte, a exemplo da fotovoltaica, térmica ou mesmo à rede, ou, então, complementada com o uso de acumuladores (baterias).

Para a geração de energia elétrica com aerogeradores de porte comercial, a velocidade ideal dos ventos deve situar-se no intervalo entre 5 e 12 m/s. Velocidades inferiores a 5 m/s não permitem obter energia de forma apreciável, a não ser com o uso de aerogeradores projetados especificamente para ventos de baixa velocidade, o que não é comum no mercado. Para as velocidades superiores a 12 m/s se faz necessário o uso de sistema de travamento, sob pena de danificar o aerogerador, tornando-os excessivamente caros.

5 Cientista alemão contribuiu para estabelecer os critérios básicos para as turbinas eólicas. Em seu artigo "Die Windmühlen im lichte neuerer Forschung" demonstrou que o rendimento das turbinas aumentava com a velocidade de rotação e em qualquer caso, nenhum sistema eólico teria eficiência (teórica) superior a 59% dado que nem toda a energia dos ventos pode ser transferida para a rotação das pás.

6 É a relação entre a energia média gerada e a potência instalada: MW médio/MW instalado

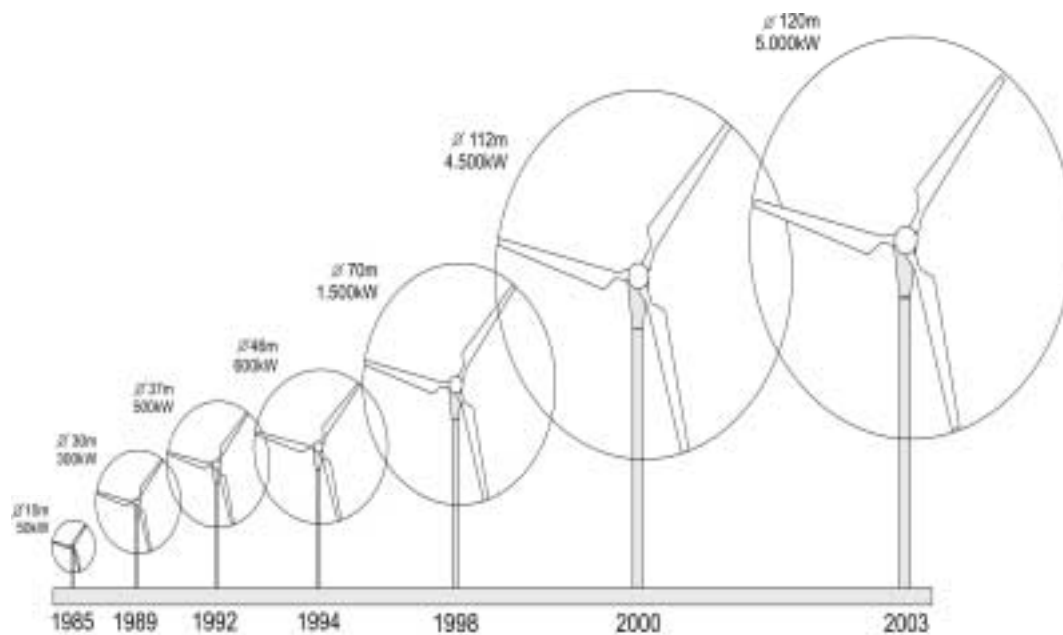
3. Os modernos aerogeradores

Há um hiato funcional e tecnológico entre os cataventos e as turbinas eólicas, conhecidas como aerogeradores. Os primeiros são empregados para realizar trabalhos mecânicos (como o bombeamento de água ou a moagem de grãos) e as turbinas, para a produção de energia elétrica. O precursor dos aerogeradores foi desenhado em 1892 por Lacourt e desenvolvia potência entre 5 a 25 kW. Do ponto de vista tecnológico, até então a velocidade no extremo das pás era a mesma do vento, conferindo baixa eficiência ao sistema. Com o desenvolvimento das teorias da aerodinâmica foi possível obter velocidades, em suas extremidades, até cinco vezes superiores às do vento incidente. Hoje já estão disponíveis geradores que chegam à casa dos 5 MW de potência e diâmetros de mais de 100 m.

Os períodos de maior desenvolvimento da indústria de energia eólica coincidiram com os de escassez e/ou crise do petróleo. A partir de 1986, com os preços do óleo em alta, a energia eólica tornava-se mais competitiva, mas foi a partir da década de 1990, com a implementação dos parques eólicos, embalados pelas pressões sobre as energias convencionais, que a energia eólica se firmou como alternativa capaz de atender a um grande número de usuários. A potência instalada no mundo, em 2001, já havia alcançado 24,5 GW e vinha crescendo a uma média anual de 40%.

A tecnologia dos aerogeradores vem incorporando os últimos avanços da indústria aeronáutica e não raro está associada às indústrias do setor aeroespacial, situadas predominantemente nos países centrais. Isso cria, para países periféricos, uma dependência tecnológica de difícil superação, pois a tecnologia em questão é intensiva em capital. A figura abaixo, mostra a evolução dos aerogeradores nas últimas décadas:

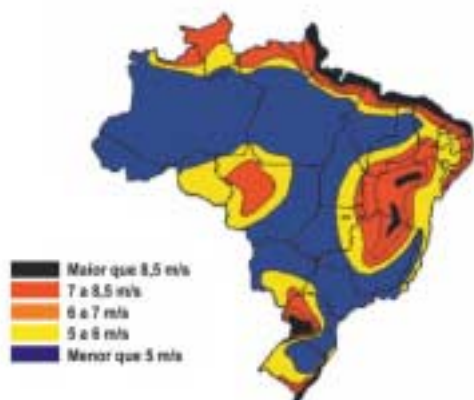
Figura I: Evolução do tamanho e da potência dos aerogeradores (1985 – 2003)



Fonte: Apud Deutsches Windenergie - Institut por RECH, H (2004)

4. A energia eólica no Brasil

Não há informações precisas sobre o potencial eólico brasileiro. Nos dados disponíveis, os valores variam de 20.000 a 143.000 MW (MME). No entanto, é citado pela Agência Nacional de Energia Elétrica e por especialistas do setor o valor conservador de 60.000 MW.



Os principais potenciais estão distribuídos no litoral das regiões Norte e Nordeste, onde a velocidade do vento a 50 metros do solo é superior a 8 m/s. Em Santa Catarina, no vale do rio São Francisco, no litoral sul do Rio Grande do Sul e do oeste do Paraná até o sul de Mato Grosso do Sul também há uma situação favorável à geração eólica. Isto

pode ser observado no mapa ao lado, do Atlas Eólico Brasileiro⁷, elaborado pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco. No entanto, há a necessidade de ampliar a rede de anemômetros nas regiões com ventos favoráveis, de forma a obter dados mais precisos.

A potência eólica instalada hoje no Brasil é de apenas 26,8 MW e está distribuída nos Estados do Nordeste e no Sul do Brasil. Em Fernando de Noronha, uma turbina eólica de 75 kW proporcionou a economia de 70.000 litros de óleo diesel. A primeira central eólica está localizada no Morro do Carmelinho, em Gouveia (MG), com potência instalada de 1.000 kW. Depois dela, outras foram criadas no Ceará, em Alagoas, na Bahia e no Paraná. No Pará, instalou-se uma central de sistema híbrido com painel fotovoltaico.

A título de exemplo, apenas a usina eólica de Taíba, em São Gonçalo do Amarante (CE), inaugurada em 1999, com capacidade instalada de 5.000 kW, tem produção anual de 17,5 milhões de kWh, suficiente para atender uma população de 50.000 habitantes.

Com o Programa de Incentivos a Fontes Alternativas - PROINFA, do Ministério de Minas e Energia, que assegura, através da Eletrobrás, a compra da energia produzida no período de 20 anos, espera-se ampliar a participação das chamadas fontes alternativas de energia – eólica, biomassa e pequenas centrais

⁷ Fonte: *Apud* Aneel. Versão preliminar

hidrelétricas (PCH's) – na matriz energética, com o incremento de 3.300 MW de capacidade instalada. O PROINFA contempla as fontes eólicas com 1.100 MW, aumentando em 4,1% a capacidade instalada do parque eólico brasileiro.

5. Vantagens e desvantagens socioambientais

É inegável o conforto que os serviços de eletricidade proporcionam aos usuários. No entanto, não existe energia “limpa”, analisada sob o ponto de vista do ciclo de vida dos materiais e processos, nem se pode negar que a esses benefícios estão associados custos, sob a forma de externalidades, que podem afetar tanto o ambiente social como o natural, dependendo da fonte primária do energético e do processo de conversão.

A geração eólica apresenta aspectos positivos: unidades geradoras com relativa descentralização, dada a distribuição dos potenciais eólicos no país; e o combustível, absolutamente renovável. Pelo lado negativo, impactos cênicos não tão expressivos, desde que as unidades sejam utilizadas com critério.

Do ponto de vista econômico, embora a geração eólica seja hoje cara em relação as fontes convencionais, há uma tendência de apresentar curva de aprendizado declinante, devido à ampliação do uso da tecnologia eólica. Além disso, os avanços obtidos com os novos materiais contribuem para reduzir a fadiga e o *stress* dos componentes das turbinas (rotor, transmissões, gerador e torre) com reflexo nos custos de manutenção. Hoje, o custo da geração se situa entre US\$ 70 e US\$ 80 por MWh, um valor que se aproxima dos custos das novas plantas de geração de energia convencional, no caso brasileiro. A energia eólica pode ser favorecida pelas pressões de natureza ambiental e geopolítica sobre as fontes fósseis, tornando-a cada vez mais competitiva.

Entretanto pode haver problemas. Na Alemanha, por exemplo, a indústria de aerogeradores já é a segunda consumidora de aço do país, atrás da tradicional indústria automobilística; além disso, a proliferação descontrolada de parques eólicos gerou protestos da população. O setor enfrenta dificuldade para implantar novos parques, que demandam amplos espaços físicos, face às restrições ao uso do solo. Isso os tem levado a substituir as máquinas em operação por modelos mais eficientes, como forma de atender a crescente demanda energética. Máquinas descomissionadas antes do fim da vida útil, tecnologicamente ultrapassadas, tendem a ser deslocadas para países periféricos.

Nos Estados Unidos houve problemas em relação ao nível de ruídos. Há crescentes preocupações sobre os impactos provocados nas aves. Não se pode imaginar pás gigantes girando em uma rota de migração de aves.

No Brasil, os melhores potenciais eólicos se situam em áreas do litoral e não raro associados com dunas, um ambiente frágil que tem a vegetação protegida legalmente pelo Código Florestal e cumpre papel importante na recarga dos aquíferos de água potável e na estabilização das costas contra os processos erosivos. Há franco conflito de uso do solo nas áreas protegidas: colocar nelas parques eólicos colide com a necessária proteção ambiental das áreas de preservação permanente e unidades de conservação de proteção integral.

Bibliografia

- BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA.** *Balanço Energético Nacional*. Brasília, 2003.
- CHESF.** *Fontes energéticas brasileiras - inventário/tecnologia: Energia Eólica*. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. 4 volumes. Rio de Janeiro, 1987.
- GIL, M. C.** *Energia eólica*. Promotora general de Estúdios, S.A. Sevilha, 1997.
- JIPE, P.** *Energia eólica prática*. Promotora general de Estúdios, S.A. Sevilha, 2000.
- JOHANSSON, T. B. et alii.** *Renewable energy: source for fuel and electricity*. Island Press. Washington, 1993.
- TOLMASQUIM, M.T.** (org.) *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência/CENERGIA, 2003.
- WACHSMANN, U. et TOLMASQUIM, M. T.** *Wind power in Brazil –transition using German experience*. Elsevier science ltd. 2003.

SETOR SUCROALCOOLEIRO

Eng. Carlos Eduardo Machado Paletta, MSc. – Universidade de São Paulo

1. Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e pela Austrália. Em média, nas últimas cinco safras (1999/2000 até 2003/2004), 52% dessa produção destinou-se às fábricas de etanol (anidro e hidratado) e 48% às de açúcar. A cultura espalha-se pelo Centro-Sul e pelo Norte-Nordeste do país, em dois períodos de safra, ocupando 2,4% da área agricultável do solo brasileiro, perto de 5,5 milhões de hectares (UNICA, 2004).

Na região Norte-Nordeste a safra ocorre entre os meses de setembro e março; na região Centro-Sul, desenvolve-se entre maio e novembro. A cultura canavieira da região Centro-Sul representa cerca de 85% da produção brasileira e está compreendida entre os estados de São Paulo, Paraná, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Responsáveis pelos 15% restantes da produção de cana-de-açúcar, na Região Nordeste estão à frente os estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Sergipe, Rio Grande do Norte e Bahia.

Das 320 unidades processadoras de cana-de-açúcar na safra 2003/2004, 226 situam-se no Centro-Sul, divididas em usinas (apenas açúcar), usinas com destilarias anexas (açúcar e álcool) e destilarias autônomas (apenas álcool).

2. Tecnologias para Geração de Energia Elétrica no Setor Sucroalcooleiro

O processo de produção de energia elétrica (co-geração) consiste na queima do bagaço de cana, que produz vapor de alta pressão e alta temperatura para alimentar turbo-geradores de energia elétrica. Parte desse vapor pode ser extraída a uma pressão menor, para acionamento das moendas e outros equipamentos.

Os sistemas mais comuns empregam turbinas de contrapressão, nas quais a geração de energia elétrica segue as variações da demanda de vapor de processo (na operação em paridade térmica, que é mais usual), o que faz com que os eventuais excedentes de eletricidade para comercialização sejam muitas vezes encarados como energia interruptível. (COELHO, 1998). Nesses sistemas, a produção de energia elétrica excedente requer a substituição parcial dos equipamentos existentes ou a ampliação da instalação. São possíveis acréscimos substanciais na capacidade instalada, com a elevação dos níveis de

pressão do vapor gerado, de algumas caldeiras ou de todo o parque de geradores de vapor, para valores na faixa entre 4,2 Mpa ou 6,2 Mpa. (WALTER, 1994).

Se a elevação da pressão do vapor gerado ocorrer com a manutenção de algumas turbinas existentes, o sistema de vapor das usinas ficará mais complexo, com uma configuração em cascata, com pelo menos um nível de pressão intermediária entre a de geração e a de processo. Em alguns casos opta-se pela uniformização da geração de vapor a uma pressão moderada, em geral não superior a 3,2 Mpa. Já em outras situações opta-se por arranjos em cascata que podem evoluir, com o passar do tempo, até a configuração de sistemas com toda a geração a mais alta pressão, na faixa de 4,2 a 8,0 Mpa. (TOLMASQUIM, 2004).

Quando o objetivo é adequar a instalação para a produção e venda de eletricidade excedente em larga escala, a solução recomendada é a utilização de turbinas de extração-condensação de controle automático, que tanto viabilizam a operação ao longo de todo o ano quanto a estabilização da energia comercializável.

São usuais turbinas com dupla extração, a primeira no nível de pressão em que o vapor é requerido pelas turbinas de acionamento mecânico, entre 1,0 e 2,0 Mpa, e a segunda na pressão em que o vapor é consumido no processo produtivo. O vapor de escape das turbinas é somado ao fluxo da segunda extração para atender a demanda de vapor de processo.

No Brasil, os primeiros sistemas de co-geração com turbinas de extração-condensação foram recentemente instalados. No caso dessas unidades brasileiras, os sistemas com turbinas de extração-condensação coexistem com sistemas com turbinas de contrapressão. Para que possam operar ao longo de todo o ano, uma questão central é o armazenamento de biomassa ou, então, o uso de um combustível complementar como as palhas e pontas da cana-de-açúcar.

3. O setor sucroalcooleiro na Matriz Energética Brasileira.

O uso racional das biomassas (bagaço e palha) constitui uma típica solução de geração distribuída. Os locais das usinas de açúcar e álcool são pulverizados e próximos de centros de consumo elétrico, com capacidade para produzir de 20 a 200 MW cada uma, conforme a região, as características de produção e a tecnologia industrial.

O estudo do Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO, com base na produção de 267 mil toneladas de cana, estimou o potencial energético do setor sucroalcooleiro no país em 3.852 MW.

Como o fornecimento de energia a partir de biomassa não está sujeito às variações das condições climáticas, ele pode ser muito importante para a diversificação da matriz energética brasileira, que é essencialmente baseada em hidráulidade de grande porte e está sujeito a sazonalidade. Isso ocasiona variações periódicas na quantidade de energia disponibilizada anualmente na rede de distribuição existente.

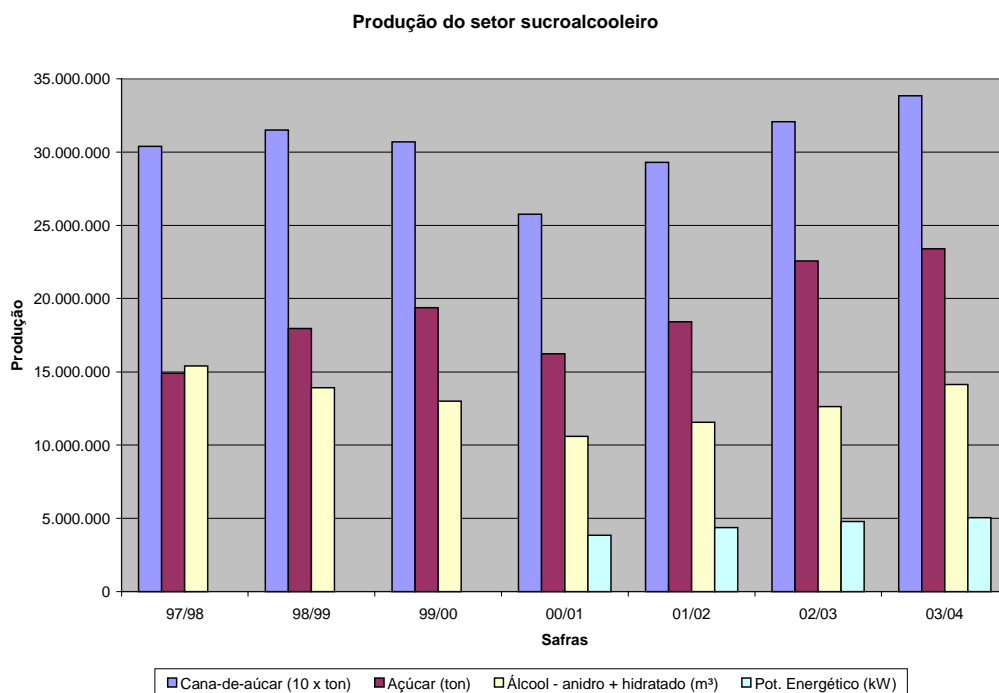
No setor sucroalcooleiro, a ampliação da co-geração de energia esbarra na conjuntura atual do setor elétrico, que sinaliza com sobra de energia e baixo preço no mercado “spot”. No entanto, as expectativas são de crescimento, embora a quantidade ainda seja pequena perante o potencial existente.

4. Situação do Setor Sucroalcooleiro no Brasil e no Exterior

No Brasil as usinas processam, em média, 1,5 milhão de toneladas de cana-de-açúcar por ano. As dez maiores usinas esmagam entre 3,6 milhões e 6,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por unidade durante a safra, produzindo entre 298 mil toneladas e 455 mil toneladas de açúcar e de 174,2 milhões de litros a 328,8 milhões de litros de etanol por planta industrial (UNICA, 2004).

Quase todas operam com equipamentos fabricados por empresas nacionais de bens de capital, cuja tecnologia permitiu um rendimento industrial invejável. Quando destinada somente à fabricação de álcool, cada tonelada de cana-de-açúcar moída resulta atualmente em 89 litros de etanol hidratado, ou 85 litros de etanol anidro; quando direcionada exclusivamente à produção açucareira, rende 118 kg de açúcar e 10 litros de álcool do mel residual (PALETTA, 2004).

Figura 1: Produção de Cana-de-açúcar, Álcool, Açúcar e Projeção de Eletricidade Excedente no Setor Sucroalcooleiro Nacional.



Fonte: ÚNICA, 2004; CENBIO, 2001.

A figura acima mostra que nas últimas três safras o crescimento da produção de cana-de-açúcar foi de aproximadamente 15%. Com relação ao potencial de geração de eletricidade excedente, o valor de 3.852 MW (CENBIO, 2001) foi calculado com base na safra 2000/2001, e os demais são extrapolações para as safras de 2001/2002, 2002/2003 e 2003/2004.

5. Processos Produtivos nas Usinas de Açúcar e Etanol

No período das safras de 1998/99 até 2002/03, o avanço da produção se concentrou mais na de açúcar, que passou de 18 milhões para 22,5 milhões de toneladas, enquanto a fabricação de álcool foi reduzida de 15,4 bilhões para 12,6 bilhões de litros. Entre as temporadas de 2002/03 e 2003/04, houve uma reversão nessa tendência, com a produção de açúcar caindo levemente para 22,23 milhões de toneladas e a de álcool subindo para 14,1 bilhões de litros. Essas variações ocorrem devido a mudanças de diversos fatores, tanto no mercado interno como no mercado externo, que tornam em certos momentos um produto mais rentável em relação ao outro.

No Brasil, o processo de fabricação de açúcar e álcool a partir de cana-de-açúcar foi desenvolvido e aprimorado para produção em larga escala, em grandes usinas processadoras de cana-de-açúcar. Desse modo, uma usina de porte médio processa em média de 1 milhão a 1,5 milhões toneladas de cana de açúcar por safra, ou de 6.000 a 8.400 toneladas por dia.

O setor sucroalcooleiro não se desenvolveu para o processamento de cana-de-açúcar e fabricação de açúcar e álcool em pequena escala. A produtividade agrícola em pequenas plantações chega a apenas 50 toneladas por hectare, contra aproximadamente 80 toneladas na região Centro Sul do país. A produtividade das pequenas destilarias é de apenas 50 litros de álcool hidratado por tonelada de cana moída, enquanto nas grandes usinas é de 78 litros de álcool hidratado (96° GL). Essas baixas produtividades, somadas ao fato de a comercialização de álcool ser regulamentada pela ANP – Agência Nacional de Petróleo, o que impede a comercialização direta ao consumidor final, em muitos casos inviabilizaram a implementação das pequenas destilarias de álcool.

Atualmente, com a sinalização do Governo Federal em relação ao incentivo da produção de biodiesel, alguns agentes tentam viabilizar a implementação das pequenas destilarias como fornecedores do álcool necessário para a sua produção em comunidades isoladas. Muito embora essa seja uma iniciativa válida, diante dos impactos sociais positivos nas comunidades isoladas, um fato precisa ser superado tecnicamente: pequenas destilarias produzem álcool hidratado (96° GL), e o álcool utilizado no processo de fabricação do biodiesel é o anidro (96,6 ° GL).

A implementação do biodiesel na matriz energética brasileira poderá se tornar um novo e importante mercado para o setor sucroalcooleiro. A introdução do B5 (óleo diesel com 5% de biodiesel misturado), em todo o país, necessitará de 1,85 bilhão de litros de biodiesel, com a utilização de 481 milhões de litros de etanol/ano. Esse fator sinaliza para um incremento na área de cultivo de cana de aproximadamente 100 mil hectares. O consumo de diesel no Brasil corresponde a 42% da demanda total por combustíveis derivados de petróleo, uma oportunidade para o setor sucroalcooleiro entrar no mercado dos motores ciclo diesel, como atualmente o faz no mercado dos motores ciclo Otto (movidos à gasolina) com o álcool hidratado e com o álcool anidro.

6. Capacidade Nacional de Domínio e de Superação Tecnológica

Em 1992, a General Motors introduziu a tecnologia “Flex-Fuel” no mercado norte-americano. No Brasil, os estudos para aplicação dessa tecnologia se iniciaram na Bosch, em 1994, que vislumbrou a possibilidade de os veículos “Flex-Fuel” substituírem os veículos exclusivamente a álcool, que na ocasião apresentavam declínio nas vendas.

As pesquisas realizadas no Brasil resultaram em uma concepção tecnológica superior à norte-americana. Enquanto nos EUA os veículos “Flex-Fuel” foram derivados dos veículos à gasolina, no Brasil, se aproveitou a experiência com os veículos a álcool, que são equipados com motores de taxa de compressão mais elevada. Dessa forma, o conceito de “Flex-Fuel” nacional se mostrou melhor em termos de desempenho e economia de combustível, além de possibilitar o uso de até 100% de álcool.

7. Impactos Sociais, Ambientais, Emprego e Renda.

A agroindústria sucroalcooleira do País gera 1 milhão de empregos diretos e abriga 60 mil produtores rurais que fornecem cana-de-açúcar. Em mais de 960 municípios, cerca de 17% do total do Brasil, a economia tem forte presença dessa atividade, com processo permanente de geração descentralizada de empregos e renda.

Com a agroindústria canavieira, o Brasil é o pioneiro na utilização em larga escala do etanol (álcool etílico), combustível limpo e renovável, que reduz a emissão de poluentes provenientes das fontes fósseis de energia. O País oferece exemplo prático de desenvolvimento sustentável ao combinar contribuição à melhoria do meio ambiente, exploração de vocações econômicas locais e geração descentralizada de empregos e renda.

Embora o setor sucroalcooleiro no Brasil seja responsável por inúmeros empregos diretos e indiretos, algumas entidades da sociedade brasileira ressaltam atividades da indústria canavieira envolvidas com trabalho infantil e escravo nas suas lavouras de cana-de-açúcar em algumas regiões do país. A Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura – CONTAG⁸, a Comissão Pastoral da Terra – CPT⁹ e o Movimento Sem Terra - MST¹⁰

⁸ Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura – CONTAG, www.contag.org.br

⁹ Comissão Pastoral da Terra – CPT, www.cpt.org.br

¹⁰ Movimento Sem Terra, www.mst.org.br

denunciam constantemente a prática de utilização do trabalho infantil e escravo como práticas usuais nas lavouras na região Nordeste, especialmente no Estado de Pernambuco, e, na região Sul, no Estado do Paraná.

Essas mesmas entidades denunciam que os pequenos agricultores familiares estão sempre sujeitos a pressões das usinas de açúcar e álcool para a venda de suas terras, a fim de ampliar a área destinada às plantações de cana-de-açúcar.

8. Conclusão

Iniciativas como o Proalcool, nos anos 70, trouxeram para o país experiência na preparação de programas de incentivo à produção, no desenvolvimento de tecnologia de cultivo, colheita e transporte. Com as empresas capitalizadas e estruturadas para aproveitar a escalada do álcool combustível no Brasil e no Exterior, o País terá pela frente o desafio de enfrentar ou contornar as regras protecionistas impostas pelos EUA e pela Europa, e definir políticas públicas que estimulem a produção e proporcionem a abertura de novos mercados.

A necessidade de diminuir o consumo de reservas finitas, como dos combustíveis fósseis, por exemplo, vem da decisão de não comprometer as gerações futuras. O uso do etanol renovável equivale atualmente a 25% do petróleo nacional. Programas desse tipo começam a surgir em vários países. Em paralelo, a produção de energia elétrica do bagaço passa a ser um programa estabelecido. Atualmente, existem mais de 2 GW instalados nas usinas do setor sucroalcooleiro.

Bibliografia

- AGROANALYSIS** – A Revista de Agronegócios da FGV. Fundação Getúlio Vargas, Vol 24, Nº 2, fevereiro de 2004.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, Rio de Janeiro, 2003, www.bndes.gov.br
- CENBIO – CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA**. *Levantamento do Potencial Real de Co-geração de Excedentes no Setor Sucroalcooleiro*. Trabalho realizado para a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e o MME – Ministério de Minas e Energia, São Paulo, 2001.
- COELHO S. T.** *Mecanismos para implementação da Co-geração de Eletricidade a partir de Biomassa. Um Modelo para o Estado de São Paulo*. (Tese de Doutorado) PIPGE/USP – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade São Paulo. São Paulo, 1998.
- CONTAG – Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura**, 2004. www.contag.org.br
- COPERSUCAR**. Convênio Eletrobrás – Copersucar. *Geração de Energia Elétrica em Usinas e Destilarias. Relatório Técnico Financeiro*. São Paulo, 2001.
- CPT – Comissão Pastoral da Terra**, 2004. www.cpt.org.br
- FASE – Federação de Órgãos para Assistência Social e Educacional**. www.fase.org.br
- MACEDO, I. C.** *A Tecnologia para o Setor Sucroalcooleiro: Situação Atual e Perspectivas*, in: FERNANDES, E. S. L., COELHO, S. T> (coord) *Perspectivas do Álcool Combustível no Brasil*. São Paulo: IEE/USP, 1996.
- MST – Movimento Sem Terra**, www.mst.org.br
- PALETTA, C. E. M.** *Implementação de projetos de geração de energia elétrica a partir de biomassa de cana-de-açúcar no Brasil: um estudo de viabilidade*. (Dissertação de Mestrado) PIPGE/USP – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade São Paulo. São Paulo, 2004.
- TOLMASQUIM, M. T.** *Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil*. Rio de Janeiro: COPPE: CENERGIA, 2004.
- TOLMASQUIM, M. T.** *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: COPPE: CENERGIA, 2004.
- UNICA – União da Agro Indústria Canavieira de São Paulo**, São Paulo, 2004. www.unica.com.br
- WALTER, A. C. S.** *Viabilidade e Perspectivas da Co-geração e da Geração Termelétrica junto ao Setor sucroalcooleiro*. (Tese de Doutorado) UNICAMP, Campinas, 1994.

GERAÇÃO COM BIOGÁS DE ATERROS DE LIXO

Mark Zulauf – Engenheiro Civil Coordenador do Aterro Sanitário de Salvador, Bahia

1. Introdução

O biogás é produzido por aterros sanitários, esterco bovino, eqüino (este último não muito usado, pois cavalos não são confinados) e suíno, bem como por estações de tratamento de efluente de esgoto doméstico e industrial (ETE). O potencial do aterro sanitário é significativamente maior que as demais fontes de biogás, sendo objeto de maior detalhamento nesse estudo.

O aterro sanitário é a alternativa mais barata de disposição de lixo, largamente utilizada no Brasil e em países desenvolvidos como os EUA. No Brasil duas formas de se dispor o lixo são utilizadas: os aterros sanitários, devido à recente lei de crimes ambientais e ao rigor dos órgãos de fiscalização ambiental, estão sendo projetados com tecnologias de disposição mais adequada, como impermeabilização inferior, drenagens e tratamento de biogás e líquidos percolados, cobertura de lixo e compactação, entre outras tecnologias. A segunda e mais utilizada, por ser a alternativa mais barata, é o lixão (depósito de lixo a céu aberto, sem impermeabilização, drenagem ou cobertura e a presença de catadores).

Essas duas formas de disposição de lixo geram uma grande quantidade de biogás, devido à decomposição da matéria orgânica, principalmente nos médios e grandes municípios e metrópoles, onde o lixo é acumulado por décadas no mesmo local. Essas montanhas de lixo geram biogás ao se decompor anaerobicamente (na ausência de oxigênio), após a cobertura com o próprio lixo ou com terra, nos aterros com disposição mais adequada. As bactérias anaeróbias, depois da fase acidogênica, degradam a matéria orgânica na demorada fase metanogênica produzindo biogás (metano e dióxido de carbono), o combustível em questão.

O biogás é gerado nos aterros por décadas, o que possibilita seu aproveitamento energético, pois de 50% a 60% de metano em sua composição. É o equivalente a metade do poder calorífico do gás natural, largamente utilizado nas residências e indústrias de cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. Um aterro com cerca de 1 milhão de toneladas (típico de um município de cerca de 300 mil habitantes) pode ter uma potência de cerca de 1 MW de energia elétrica por uma década, utilizando motores de combustão interna ou até mesmo um sistema de geração ciclo Rankine (caldeira e turbina a vapor). Uma usina de geração de energia a biogás é composta por um aterro ou lixão adaptado, um sistema de captação de biogás, um de secagem e

filtragem, um de geração de energia e um de elevação de tensão e injeção na rede de distribuição.

Como todo município tem um aterro muito próximo do seu centro de carga (em termos de transporte de energia), essa tecnologia é a que mais satisfaz o novo conceito de energia descentralizada, renovável e seqüestradora de carbono.

2. Potencial de disponibilização do combustível (mapa localizador)

Segundo os dados do "Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa", publicado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), as emissões de metano para a atmosfera podem ser observadas na tabela abaixo:

Metano Gg					
Ano	RSU	ETE Dom.	ETE Ind.	Esterco Bovino	Esterco Suínos
1990	618,01	39,34	79,28	242,17	29,87
1991	636,34	40,51	79,27	251,37	30,26
1992	649,68	41,36	81,17	255,23	30,32
1993	663,28	42,23	81,62	244,94	29,85
1994	677,18	43,11	83,18	258,81	30,71
Energia MW					
1994	386,52	24,61	47,48	147,72	17,53

Considerando os dados da tabela acima e as eficiências dos equipamentos mais utilizados para geração de energia com biogás, o potencial de geração de energia em 1994 era de 386 MW para os resíduos sólidos urbanos (RSU).

Considerando 2% de crescimento anual de lixo, o potencial de geração de todos os municípios é de 471 MW em 2005.

O esterco bovino tem um potencial interessante de 148 MW, porém a sua geração é com um maior número de unidade de geração (ou fazendas), conseqüentemente com um custo de instalação maior. Essa descentralização da geração na área rural é interessante para o Brasil, pois reduz o custo de investimento em linhas de transmissão. O potencial de energia do esterco de gado pode ser conformados por um estudo da UNESP, que atesta a produção de cerca de 1 m³ de biogás por cabeça de gado. Segundo o mesmo inventário do MCT, a população de gado em confinamento é de cerca de 1%, ou seja, cerca de 2 milhões de cabeças. Considerando as eficiências dos equipamentos considerados acima, produz 150 MW de potência com o biogás (com cerca de 60% de metano).

Um estudo realizado em 2002 por consultores da área lixo, biogás e energia calculou o potencial de geração de biogás de cerca de 100 municípios e regiões metropolitanas do Brasil (que representam cerca de 33% da população do Brasil) para os anos 2005, 2010 e 2015. Esse estudo foi patrocinado pelo Ministério do Meio Ambiente por um convênio com a ESALQ, sob o título de "Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos aterros sanitários nas regiões metropolitanas do Brasil". Inicialmente foram coletados dados dos aterros dos municípios do Brasil, que subsidiaram os cálculos do potencial de geração de biogás e energia elétrica. O estudo considerou municípios e regiões metropolitanas com mais de 200 mil habitantes, que podem gerar pelo menos 300 kW de energia elétrica. Segundo o IBGE (Censo de 2000), o Brasil possui 5.507 municípios com cerca de 175 milhões de habitantes, porém menos de 1,8% deles (menos de 40% dos habitantes) terão condições técnicas suficientes para comportar um projeto de geração de energia com o biogás. Os municípios restantes, por serem pequenos demais, não geram biogás suficiente para viabilizar um empreendimento energético.

O potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás no Brasil é superior a 350 MW em 2005, bastante coerente com as estimativas do inventário do MCT. Mas ele cai ao longo do tempo, devido à falta de dados das prefeituras sobre a quantidade de lixo de longo prazo, ou seja, sobre a capacidade dos atuais aterros e suas ampliações (para os cálculos de 2010 e 2015). Teoricamente, esse potencial deve crescer ano a ano, na proporção do crescimento populacional e do crescimento econômico. Dos municípios que tiveram seu potencial calculado, cerca de 89 dispõem seus resíduos em 38 aterros que recebem lixo de cerca de 48 milhões de habitantes, ou 27% da população.

Nos Estados Unidos e em países da Europa, o potencial instalado de geração de energia com biogás de aterros é estimado em cerca de 1.200 MW e 500 MW, respectivamente, segundo a agência ambiental norte-americana EPA. Potência proporcional ao Brasil, se se considerar que os EUA têm um maior número de habitantes (cerca de 40% maior) e mais que o dobro da geração de lixo per capita.

O potencial de geração de metano e energia nos lixões já fechados é bastante limitado, pois esses depósitos em geral foram operados sem qualquer preocupação com a drenagem e o aproveitamento de biogás. Necessitariam de grandes ajustes técnicos (investimentos que não são desprezíveis) antes do desenvolvimento do sistema de captação de biogás e geração de energia. Se o lixão tiver mais de 5 anos, possivelmente não oferecerá viabilidade econômica, por mais que o depósito seja grande, se não houver possibilidade de ampliação da área para futuros depósitos de RSU de forma adequada para gerar futuras emissões de metano, pois a curva de biogás de mais 15 anos será insuficiente.

3. Análise técnica e econômica da geração de energia (vapor e eletricidade)

Estado da arte das tecnologias de conversão energética

O sistema de captação de biogás de um aterro sanitário é composto por uma malha de drenos verticais e horizontais que tem, em sua superfície, uma conexão com uma rede de captação de biogás (tubulações normalmente de polietileno de alta densidade, distribuídos pela área do aterro na forma de espinha de peixe) e uma estação de biogás, onde estão instalados os condensadores, sopradores, queimadores, sistema de controle e medição do biogás.

O sistema de geração de energia utiliza o biogás da estação e pode empregar três formas básicas de geração de energia: o ciclo Otto (motores de combustão interna), o ciclo Rankine (caldeira com turbina a vapor) e a turbina a gás. Esta última não tem viabilidade no Brasil, por se tratar de um equipamento importado e de baixa eficiência. Existem ainda as tecnologias de ciclo combinado (para grandes potências, acima de 15 MW) e microturbina (para pequenos aterros, com 100 kW de potencial), mas que não têm larga escala de utilização na área de lixo.

Os motores de combustão interna de queima pobre (conhecidos como Lean Burn Engine) utilizam o biogás diretamente, não necessitando de um tratamento sofisticado do combustível, apenas secagem e filtragem são suficientes. Esses motores têm o inconveniente de serem importados, com custos de investimento e manutenção mais elevados para o Brasil, porém são largamente utilizados nos EUA e na Europa. A geração de energia elétrica é realizada pelo gerador acoplado diretamente ao motor. Para motores grandes ciclo Otto (importados), o custo de investimento do sistema de captação de biogás e geração de energia é de cerca de 1.200 U\$/kW instalado.

O ciclo Rankine é composto por caldeira para gerar vapor de alta pressão e temperatura, turbina a vapor, condensador e bombas. É o mais antigo sistema de geração de energia e está muito presente com equipamentos e fornecedores no Brasil, devido ao setor sucroalcooleiro, que utiliza esses equipamentos inclusive para autoprodução de energia elétrica. A região de Sertãozinho, no Estado de São Paulo, destaca-se como centro dessas tecnologias, concentrando empresas de engenharia, fabricantes de caldeiras e turbinas, entre outros equipamentos, com custos de investimento cerca de 10% inferior ao de motores.

Já nos casos de biogás de esterco a tecnologia é restrita a motores de combustão interna de pequeno porte (50 a 100 kW), suficientes para abastecer as fazendas com geração de energia elétrica ou até mesmo acionamento de bombas de irrigação. As esterqueiras são adaptadas com drenos que captam o biogás e geram energia em motores pequenos. Por se tratar de pequenas quantidades de esterco (em relação a aterros), é comum a utilização de gasômetros para armazenar o biogás quando a demanda por energia não é grande. Os equipamentos são na maioria das vezes de tecnologia nacional, utilizando-se motores de veículos adaptados, ou até mesmo novos, como é o caso da Mercedes Benz, que possui uma linha especial para biogás.

4. Cenário da capacidade nacional de domínio e de superação tecnológica

O Brasil já possui exemplos de eficiência de destinação de lixo com sistema de captação, sucção forçada e queima controlada de biogás no aterro da SASA (no município de Tremembé-SP), no aterro de Gramacho (no Rio de Janeiro), no aterro sanitário Metropolitano Centro (em Goiânia), no parque socioambiental Cana Brava - antigo lixão (em Salvador) e no aterro Bandeirantes (em São Paulo). Este último já possui uma usina termelétrica (UTE) com 24 MW de potência, uma das maiores do mundo com motores ciclo Otto (em operação desde o início de 2004).

5. Impacto social, ambiental, econômico, financeiro, emprego e renda da utilização da tecnologia

Segundo a Agenda 21, elaborada após a Rio-92, o Brasil tem cerca de 5 milhões de pessoas que vivem do lixo, na maioria crianças. Num lixão como o de Morubeca, em Recife, ou de Gramacho, no Rio de Janeiro, mais de mil catadores disputam comida, material e espaço com urubus e tratores. A captação de biogás e geração de energia em lixões requer que essa população seja recolocada para um setor do depósito que não interfira na produção de biogás e energia e proporcione um melhor ambiente de trabalho para a reciclagem.

A captação do biogás e a geração de energia geram empregos diretos e indiretos na fase da obra e na fase operacional, não só no sistema de geração, mas no sistema de captação de biogás e na operação de disposição de lixo do aterro. Com um horizonte de cerca de 100 projetos no Brasil, estima-se uma geração de 2000 empregos diretos com renda de cerca de 2 milhão de reais.

Em termos ambientais, existem muitos benefícios, tais como: redução dos odores, redução de gases de efeito estufa (metano ao ser queimado), redução de geração e de infiltração de chorume (aumento da cobertura superficial) e redução de queimadas no lixo, entre outros.

A cobertura do lixo desestimula vetores de doenças como ratos, baratas e moscas, reduzindo a contaminação das pessoas e o custo de internação e tratamento dos doentes. Um exemplo típico é do Hospital de Cana Brava, que deixou de ser construído devido à ação da Prefeitura de Salvador de construir o aterro sanitário Metropolitano Centro e sanear o antigo lixão criando o Parque Socioambiental Cana Brava, que reduziu muito o número de doentes daquele bairro.

A geração de empregos com a utilização do biogás de esterco pode ser estimada pelo potencial total de geração de energia. Considerando 100 kW por propriedade e cerca de 1500 fazendas, que necessitariam de pelo menos três pessoas para manusear o esterco, operar e fazer a manutenção da geração, o total seria de 4.500 empregos diretos, com renda mensal aproximada de R\$ 2,3 milhões.

Além da geração de energia elétrica descentralizada, próxima do centro de carga, renovável e ambientalmente correta, uma pequena parte do biogás (menos de 10%) pode ser utilizada também como combustível para os caminhões compactadores, que transportam o lixo para o aterro. Esses caminhões podem ser convertidos e abastecidos com metano, necessitando apenas de uma depuração do biogás (com tecnologias nacionalmente

conhecidas) que retira o dióxido de carbono presente no biogás. Essa alternativa de “biogás veicular” já foi instalada em São Paulo no aterro de Santo Amaro para 20 ônibus e tem um custo inferior ao do gás natural veicular comercializado nos postos.

6. O cenário futuro para a opção tecnológica ou do combustível

O biogás é um combustível com todas as condições técnicas e econômicas para ser explorado no Brasil. Está inserido no programa do governo de incentivo às fontes alternativas de energia (PROINFA), segundo o qual o biogás se viabiliza com um preço de cerca de 170 R\$/MWh e com os créditos de carbono (do Protocolo de Kyoto), essenciais para os investidores e para a viabilização de projetos de UTE a biogás em aterros.

O PROINFA teve sua primeira fase de contratação iniciada em maio/2004, porém nenhum projeto de biogás foi contemplado, pois as exigências técnicas e documentais e o exíguo tempo para elaboração de propostas não permitiram. O ideal é a criação de uma cota de cerca de 150 MW, no PROINFA, à qual os projetos de biogás tenham acesso sem competir com outras fontes, só com outros projetos de biogás.

No caso do uso de parte do biogás como “biogás veicular”, a perspectiva é que os aumentos do GNV atrelados ao preço do petróleo melhorem a viabilização dessa alternativa, conduzindo o sistema para um conceito ainda mais sustentável.

Bibliografia

- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**, Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Relatório de Referência, CETESB, São Paulo, 2.002.
- ALVES, J. W. S. e VIEIRA, S. M. M.**, Inventário Nacional de emissões de metano gerado pelos resíduos no Brasil – Enabling Brazil to fulfill its commitments to the United Nations on Climate Change, Relatório de atividades do projeto Bra/95/G31, CETESB, São Paulo, 1.998, 76 páginas.
- USEPA 2 - UNITENVIRONMENT, STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, Feasibility assessment for gas-to-energy at selected landfills in Sao Paulo, Brazil, Public review draft, USEPA - Methane Branch, Washington, 1997, não paginado.
- ZULAUF, W. E.** Aperfeiçoamento em sistema de tratamento de resíduos sólidos, conjugado com adaptação de gás bioquímico e recirculação de líquidos percolados – INPI Patente nº PI8302365, São Paulo , 1983.
- ZULAUF, W. E.** Conjunto de drenos superficiais malhados e cabeçote multi-funcional, simplificado para poços do sistema de captação de gás bioquímico de aterros sanitários energéticos de lixo – INPI Patente nº PI8200201, São Paulo, 1982.
- ZULAUF, W. E.** Sistema conjugados de captação de gás bioquímico e tratamento e recirculação de líquidos percolados de aterros energéticos de lixo – INPI Patente nº PI8100781, São Paulo, 1981.
- ZULAUF, W. E.** Aperfeiçoamento em sistema de tratamento de resíduos sólidos, conjugado com adaptação de gás bioquímico e recirculação de líquidos percolados – INPI Patente nº PI8302365, São Paulo , 1983.
- ZULAUF, W. E.** Conjunto de drenos superficiais malhados e cabeçote multi-funcional, simplificado para poços do sistema de captação de gás bioquímico de aterros sanitários energéticos de lixo – INPI Patente nº PI8200201, São Paulo, 1982.
- ZULAUF, W. E.** Sistema Energético - Ambiental GBQ de lixo constituído de captação, de transporte condensação, sucção, tratamento e aproveitamento de biogás emanado de aterros de lixo – INPI Patente nº PI0101887-6, São Paulo, 2001.
- LUCA J. Jr.** Estudo comparativo de biodigestores modelo Indiano e Chinês – UNESP, Botucatu, 1987.

BIODIESEL E ÓLEOS VEGETAIS COMO ALTERNATIVA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: O EXEMPLO DE RONDÔNIA

Prof. Artur de Souza de Souza – Universidade Federal de Rondônia

1. Introdução

Com a crise do petróleo nos anos 1970 e a perspectiva de preços crescentes para os combustíveis fósseis, começaram a viabilizar-se uma série de fontes alternativas de energia, entre elas o emprego de óleos vegetais, por sua própria natureza renováveis, em substituição a combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas.

Os óleos vegetais para a geração de eletricidade podem substituir total ou parcialmente o Diesel em motores ciclo Diesel, sem necessidade de adaptação. Esses óleos podem ser modificados ou *in natura*. Os óleos modificados são chamados de "biodiesel" e podem ser obtidos por craqueamento e por transesterificação, uma reação entre óleo vegetal e álcool, em meio ácido ou alcalino, também conhecida como alcoólise.

Na Europa, por exemplo, emprega-se sobretudo a oleaginosa colza para a obtenção de biodiesel e, em menor escala e com mais problemas, o girassol. A indústria de motores apóia a mistura de 5% de biodiesel ao óleo diesel mineral, mas alguns fabricantes chegam a dar garantia de bom funcionamento com misturas de até 30%. Na França, por exemplo, toda a frota de ônibus urbanos já emprega uma mistura que varia de 5% a 30%. Existe, além disso, uma frota européia de veículos leves, coletivos e de carga inteiramente movidos a biodiesel, o que fez com que mais que se duplicasse o consumo desse combustível "limpo" naquele continente, como se pode ver na tabela a seguir.

Quadro 1: Consumo de Biodiesel na Europa - 1998 e 2000 (mil t/ano)

	1998	2000
Alemanha	72	315
França	70	50
Bélgica	15	
Itália	-	40
Grã-Bretanha	1	-
Áustria	17	15
Suécia	8	7
República Tcheca	12	-
Total	195	427

Fonte: OLIVEIRA (2001)

No Brasil, a questão começou a ser analisada já em 1975, resultando no Proóleo (Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos). Datam dessa época os primeiros estudos e patentes brasileiros para a tecnologia, empregando sobretudo óleo de soja e metanol. Com a queda dos preços do petróleo em meados da década de 1980, porém, muitas dessas iniciativas foram descontinuadas.

Em 1998, a Resolução 180 da Agência Nacional de Petróleo (ANP) normatizou testes necessários para homologação de combustíveis não-especificados, como o biodiesel. Com base nela, a COPPE-UFRJ entrou com o primeiro pedido de teste de biodiesel inteiramente nacional em motores de combustão interna. O objetivo dos estudos é o potencial do biodiesel para a substituição total ou parcial de combustíveis para transporte e geração de energia elétrica.

Oliveira (2001) elencou várias outras instituições que desenvolvem atividades em Biodiesel: NUTEC (mamona, óleo usado), INT, CENPES (soja), UFPR/CEFET (soja), TECPAR (soja), UESC (dendê), CIENTEC (soja), UFRR (buriti).

2. Benefícios socioambientais

Além de ser uma fonte renovável, o biodiesel apresenta grande vantagem sobre o diesel na emissão de gases do efeito estufa e poluentes: 78% a 100% menos gases-estufa (dependendo do tipo de álcool empregado no processo), 98% menos óxidos de enxofre e 50% menos material particulado. Somente no caso dos

NOx ocorre aumento (13%), o que pode contribuir para piorar a ocorrência local de ozônio e do *smog* fotoquímico.

Como o Brasil tem uma boa base produtiva voltada para o etanol, encontra-se em posição de explorar mais a rota etílica de produção do biodiesel e assim alcançar um combustível em bases 100% renováveis –o chamado “biodiesel verde”.

3. Rondônia: proposta para uso de biodiesel na geração descentralizada

A geração descentralizada (GD) constitui uma importante ferramenta para o atendimento do Estado de Rondônia, por exemplo, visto que uma parte dele já tem geração descentralizada (12%), com Diesel e com equipamentos de pequeno e médio porte.

Compreende-se como GD a produção de energia de forma não conectada a um sistema interligado, normalmente de pequena e média capacidade. Vantagens são atribuídas à geração descentralizada em relação às opções convencionais, seja em relação a usinas hidrelétricas e termelétricas, seja a combustíveis como o gás natural. Essas vantagens foram sistematizadas por Walter (1994): minimização de investimentos, redução de custos globais de produção e transmissão, período de construção mais rápido, desenvolvimento local, minimização de impactos ambientais, dinamização da atividade econômica local, baixo custo, maior oferta e melhor confiabilidade dos serviços de eletricidade.

Na Amazônia, várias oleaginosas têm sido utilizadas para a produção de óleo vegetal: babaçu, cacau, castanha-do-brasil, castanha-de-cutia¹¹, castanha-de-galinha, curupira, mamona, cupuaçu, soja, amendoim e girassol. O quadro 2 destaca informações sobre oleaginosas adaptadas à região Amazônia. No quadro 3 estão especificadas algumas produtividades de oleaginosas prensadas. No quadro 4, as disponibilizadas pelos fabricantes.

¹¹ A Castanha de cutia tem produtividade de 70%, que corresponde a um percentual elevado se comparados aos outros óleos, entretanto é necessário destacar que há comprovada toxicidade nessa oleaginosa que para geração de energia não influencia, mas para outras utilizações seja preocupante, portanto é necessário que estudos exaustivos sejam realizados no que tange a toxicidade.

Quadro 2: Sementes oleaginosas adaptadas à região Amazônica

Espécie/Nome científico	Produtividade	Rendimento/óleo
Andiroba (<i>Carapa guianensis</i>)	180 a 200 kg/amêndoa/ano	50% da semente
Copaiba (<i>Copaifera multijuga</i>)	30 a 230ml	Extração da madeira
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	2.235 a 2.677	45 a 50%
Mamona (<i>Ricinus communis</i> L.)	500 a 4.000kg/há	47%
Gergelim (<i>Sesamum indicum</i> L.)	50.000 a 150.000 plantas/há	49%
Castanha-de-cutia (<i>Couepia edulis</i> Prance)	200 kg de frutos nas árvores adultas.	até 73% de óleo
Castanha-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>)	200 a 400 frutos/árvore	63 a 69% de óleo
Tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)	50Kg/ano	17 a 75%
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	25 t/ha/ano de frutos frescos	62% de óleo no mesocarpo seco
Piquiá (<i>Caryoca villosum</i>)	De 300 a 500 frutos/ano a 1.000 a 1.500 frutos, com seleção genética e adubação.	62% polpa seca
Caiaué/dendê (<i>Elaeis oleifera</i>)	35t/cachos/hectare	35%
Açaí do Pará (<i>Euterpe oleracea</i>)	15 ton./há	8% a 10% por cozimento da polpa
Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	150 kg/ha/árvore.	43% de óleo da semente
Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	Encontrado disperso na natureza	1kg de polpa fresca, produz 32,05g de óleo esverdeado
Patauí (<i>Jessenia bataua</i>)	1,5/ha/ano	18% por cozimento da polpa
Buriti (<i>Mauritia vinifera</i>)	10 a 20 ton/ha	31%
Bacaba (<i>Oenocarpus bacaba</i>)	1 a 3 cachos/planta/ano – aproximadamente 20kg de frutos	5 a 8% inteiro 1% amêndoas
Babaçu (<i>Orbignya barbosiana</i>)	50 a 200kg/pé	66%
Umari (<i>Poraqueiba sericea</i>)	70 a 200kg/planta	40 a 50%
Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	4000Kg/há	46%
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	7000frutos/ha/ano	48% por cozimento da polpa
Cumarú (<i>Dipterix odorata</i>)		30% de óleo amarelo claro e perfumado
Murumuru (<i>Astrocaryum murumuru</i>)		44%
Soja (<i>Glycine max</i> L. Merrill)		18%
Urucuri (<i>Scheelea martiana</i>)	3 a 6 cachos ao ano com peso entre 20 a 25 Kg cada um	66%

A geração de energia está baseada na utilização de óleos vegetais (*in natura* e transesterificado) como combustível em motores de combustão interna. As condições externas ao processo da energia determinarão o tipo de óleos utilizado nos motores; do mesmo modo, serão diferentes as abordagens técnicas e de pesquisa. As questões externas são: condições de transporte e acesso à comunidade, transporte de produtos químicos, condições locais para a manutenção de equipamentos, disponibilidade de mão-de-obra local e sistema econômico-financeiro da localidade.

Quadro 3: Informações de produtividade para óleos equipamentos disponível na Escola Técnica Média Agrícola da CEPLAC- EMARC- Município de Ariquemes - Estado de Rondônia

Matéria Prima	Capacidade	Óleo no Grão	Eficiência de Extração	Óleo Produzido				Farelo Produzido		
				% em peso	(Kg/h)	Peso Especifico	(L/h)	% em peso	(Kg/h)	Teor de óleo em % de peso
Soja	76	18	66	12	9,0	0,918	9,8	86	65,4	7,11
Amendoim	30	35	83	29	8,7	0,918	9,5	69	20,7	8,62
Girassol	60	35	83	29	17,4	0,918	18,2	68	41,0	8,71
Mamona	40	40	75	30	12,0	0,960	13,1	68	27,2	14,70
Gergelim	60	60	75	45	27,0	0,918	29,4	53	31,8	28,30
Algodão	30	16	69	11	3,3	0,960	3,6	82	24,6	6,05
Babaçu	50	60	75	45	22,5	0,915	24,6	53	26,5	28,30
Cacau	50	40	85	34	17,0	0,918	18,5	64	32,0	9,37
Castanha	40	45	66	30	11,8	0,914	12,9	67	26,8	22,84
Cupuaçu	40	25	76	19	7,6	0,978	7,8	79	31,6	7,59

Fonte: TERRA VIVA (1999)

Quadro 4: Resultados disponibilizados pelo fabricante da mini-prensa MPE-40

Tipo de semente	Girassol	Amendoim	mamona	gergelim	castanha do para
Teor de óleo da semente (%)	41	39 (a)	48	50	65
Pré tratamento da semente	Nenhum	60-70°C (0,5 L água/10 Kg semente)	Aquecimento a 70°C (1L água / 70 Kg semente)	Aquecimento a 70°C (0,5L água / 10 Kg semente)	Aquecimento a 60°C (1L água / 20 Kg semente)
Kg de óleo bruto por 100kg semente	33	28	40	38	58
Kg de torta por 100kg semente	64	65	50	60	40
Kg de resíduo por 100 kg semente (b)	10	05	11	07	16
Método de separação do resíduo	Filtração	Filtração	Filtração	Decantação	Decantação
Kg de óleo filtrado decantado por 100kg semente	23	23	29	31	42
Eficiência de extração (%) (c)	56	59	60	62	65
Perdas (kg) (d)	03	07	10	02	02

Fonte: ECIRTEC (2004); Os resultados foram obtidos pelo **INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – ITAL** / Campinas – SP, com a MPE-40. As perdas indicadas não consideraram a repressagem do produto. Neste caso, as perdas serão menores.

Quadro5: Potencial de geração de emprego de algumas oleaginosas

Oleaginosa	Produtividade (t óleo/ há ano)	ha para produzir 1000 toneladas ano	Ocupação da terra (ha/família)
Mamoma (lavoura familiar)	0,470	2128	2
Soja (lavoura mecanizada)	0,210	4762	20
Amendoim (lavoura mecanizada)	0,450	2222	16
Babaçu (extrativismo)	0,120	3333	5
Dendê (cultivo mecanizado)	5	200	5

Os resultados esperados para a utilização de óleos vegetais para a produção de energia em Rondônia podem ser sistematizados como:

- Dominar a produção de oleaginosas a partir de sistemas agroflorestais;
- Produzir óleos vegetais de oleaginosas locais;
- Dominar a metodologia de produção de éster de oleaginosas regionais;
- Compreender o processo de geração de energia e indução de desenvolvimento local com energia, alimentação, saúde, emprego e renda;
- Compreender como os distintos métodos de geração de energia com óleos vegetais (*in natura* e transesterificado) podem ser aplicados nas condições amazônicas.

Bibliografia

- CERON. *Boletim estatístico*. Centrais Elétricas de Rondônia. Assessoria de Planejamento. Porto Velho. 2002.
- IBGE. *Estatísticas Brasileiras*. 2000. <http://www.ibge.gov.br>
- MORET, A de S. *Uma outra Amazônia é possível: energia e desenvolvimento com o homem e para o homem*. GAWARA, D. (Org.). Ed. Universidade de Kassel, Alemanha. 2003.
- A sustentabilidade energética de Rondônia: situação atual e perspectivas**. Seminário Rondônia e a Conferência Mundial de energias renováveis, Universidade Federal de Rondônia, junho, 2004.
- MORET, A. de S. *Desafios ao setor elétrico de Rondônia, como a biomassa sustentável pode contribuir para o aumento da oferta de eletricidade: o caso dos resíduos agrícolas*. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Itajubá, MG. 2004
- Geração descentralizada de eletricidade, oportunidades para Rondônia*. **Pesquisas na Amazônia**. AMARAL, J. J. (Org.). Ed. EDUFRO. PVH-RO. 2002.
- Desafios ao setor elétrico de Rondônia, como a biomassa sustentável pode contribuir para o aumento da oferta de eletricidade: o caso dos resíduos agrícolas*. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Itajubá, MG. 2004.
- RONDÔNIA. **Perfil Sócio-Econômico industrial**. FIERO, SEBRAE, Governo de Rondônia. Porto Velho, 2003.
- TERRA VIVA. Mini-fábrica de ração e adubo e óleo comestível ou combustível. Instituto de promoção agrícola e desenvolvimento Rural, Programa Terra Viva, Mariana, MG.1999.
- WALTER, A. C. da S. *Viabilidade e perspectivas da cogeração e da geração termoelétrica junto ao setor sucro- alcooleiro*. Tese de Doutorado, FEM- UNICAMP, 1994. 263 p.
- ECIRTEC. Pesquisa Internet www.ecirtec.com.br- Pesquisa realizada em 01/06/04
- OLIVEIRA, L. B. *Combustível Limpo para o Transporte Sustentável*. In: **Transporte Sustentável: alternativas para ônibus urbanos**. Coord. Suzana Kahn Ribeiro. Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ, 2001.
- MME. *Programa de produção e uso do Biodiesel*. Julho, 2004. Transparências. Cadernos de Altos Estudos. *O Biodiesel e a inclusão social*. Relator Deputado Federal **ARIOSTO HOLANDA**. Câmara dos deputados. 2004. Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica.
- TOLMASQUIM, M.T. *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência/CENERGIA, 2003.

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL A PARTIR DE SUBPRODUTOS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

Mourad, Anna L. MSc., Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos

Ambrogi, Vinicius S., Eng., Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas

Guerra, Sinclair M. G., PhD, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas

1. Introdução

O crescimento do saldo comercial do agronegócio brasileiro, nestes últimos anos, tem sido impulsionado principalmente pela produção de grãos, direcionada em grande parte para as exportações, que registraram crescimento superior a 50% para algumas culturas. Como grande produtor agrícola, o Brasil gera expressiva biomassa nos processos de colheita e processamento de produtos agropecuários como milho, arroz, algodão, madeira, carnes e também do lixo urbano. Segundo aponta o BEN (Balanço Energético Nacional) para 2002, 41% da matriz energética no Brasil é fornecida por fontes renováveis, porém a maior parte por energia hidráulica. Atualmente, o maior consumo de energia da biomassa ocorre nos países em desenvolvimento, em alguns dos quais sua participação na matriz energética chega a 40%. Nesses países a biomassa de resíduos vegetais, animais e lenha são utilizadas principalmente para a cocção de alimentos em fogões de baixa eficiência de conversão. No mundo, a biomassa contribui com 10-14% do suprimento de energia.

A utilização da biomassa residual sempre concorrerá com a incorporação do resíduo no solo para reposição de nutrientes. A utilização da energia advinda da biomassa tem dois aspectos de grande importância: sua renovabilidade e a manutenção do equilíbrio de CO₂ (o que é capturado no processo de fotossíntese é liberado no processo de queima).

2. Potencial de Utilização da Biomassa Vegetal

Alguns trabalhos sobre o potencial energético da biomassa foram selecionados para avaliar reais possibilidades do seu uso como fonte energética:

- *Coelho et al. (2002)* no Projeto BRA/00/029 (Panorama do Potencial de Biomassa no Brasil) calcularam o potencial energético de resíduos agrícolas, entre outros, para todas as regiões do país, destacando arroz, castanha de caju e coco da Bahia. Assumindo eficiência de conversão térmica de 15%, o relatório conclui que o potencial de geração seria da ordem de 400 MW de energia elétrica.

- *Silva et al. (2002)* calcularam o potencial energético de 2,6 Mton de resíduos da fabricação da farinha de mandioca para o Estado do Pará. Considerando um poder calorífico de 15,76MJ/kg para a rama seca e de 12,55 MJ/kg para os demais resíduos, o autor estima em cerca de 1.255MW/ano o potencial energético. A energia gerada pode ser utilizada para aumentar a produtividade do processo e liberar operários para outras atividades.

- *Souza et al. (2002)*, através da produtividade agrícola e índices de resíduo por cultura, estimaram um potencial teórico de energia de biomassa da ordem de $7,43 \times 10^6$ GJ/ano, no ano 2000, para o Estado do Paraná (poder calorífico de 18,1 MJ/kg). Para o cálculo do potencial técnico, isto é, considerando-se a eficiência do processo, recalculou-se o potencial energético com o uso de um gaseificador de biomassa/grupo gerador, que pode produzir 1 kWh de eletricidade para cada 3kg de resíduo de biomassa vegetal, obtendo um potencial técnico de $1,08 \times 10^6$ GJ/ano. Em 1999, o Paraná teve um consumo de $2,25 \times 10^6$ GJ, que poderia ser suprido em 48% com energia elétrica da biomassa. Mas os valores são apenas potenciais, pois a viabilidade técnica de aproveitamento depende de fatores como facilidade de coleta e transporte, preferência em manter os resíduos no solo para evitar a erosão, destinação para fins não energéticos, como ração animal, e grau de desenvolvimento tecnológico dos processos de conversão.

3. Tecnologias de Conversão Energética

Através da queima direta, a biomassa pode ser aproveitada como um combustível sólido para conversão energética, a técnica mais utilizada. No entanto, outras formas de aproveitamento da biomassa, por meio de gaseificação e pirólise, permitem melhor manuseio e queima do combustível (Demirbas, 2001). O gás de baixo poder calorífico (4 a 6 MJ/m³) é utilizado na geração de energia em motores de combustão interna (ciclo Otto), caldeiras geradoras de vapor para turbinas (ciclo Rankine) e turbinas a gás em sistemas de geração BIG/GT - Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine (ciclo Brayton), ou ainda em ciclos combinados Brayton/Rankine.

Os resíduos de várias culturas poderiam ser convertidos em eletricidade por meio da instalação de pequenos sistemas de Gaseificação/Grupo Gerador (máximo de 600 kW) nas áreas rurais onde há disponibilidade de resíduos. Com o uso de um gaseificador de biomassa/grupo gerador pode-se gerar em média 1 kWh de eletricidade para cada 3 kg de resíduo de biomassa. O PCI (Poder Calorífico Inferior) médio de diferentes tipos de biomassa vegetal, as quais são compostas de 80% de carbono e oxigênio, é de 18,1 MJ/kg de resíduo (SOUZA *et al.*, 2002). Com esse índice é possível estimar o potencial energético teórico dos resíduos para cada tipo de cultura vegetal.

4. Custos de Geração

Recente trabalho realizado no Canadá (KUMAR *et al.*, 2003) estimou os custos de coleta, construção e operação de uma planta térmica de geração de energia elétrica. Uma planta operando com resíduos agrícolas necessitaria de investimentos de US\$ 1.300 kW⁻¹ (com carvão mineral, US\$ 850 kW⁻¹). Não foram porém considerados os possíveis créditos de carbono: a emissão da planta de biomassa seria de 48,9 g/kWh, enquanto a mesma planta a carvão emitiria 948,6 g/kWh, quase 20 vezes a mais.

As tecnologias de conversão da energia de biomassa para energia elétrica têm sido pesquisadas e desenvolvidas no Brasil e em vários países, mas ainda carecem de mais estudos para tornar o projeto de usinas termoeletricas a biomassa competitivas diante das usinas convencionais movidas a derivados de petróleo, gás natural e carvão. Entretanto, muitos sistemas de co-geração utilizam resíduos de biomassa como combustível e se fazem presentes, principalmente, em usinas sucro-alcooleiras e na indústria de papel e celulose.

5. Experiência com Usinas Geradoras a partir de Biomassa

Wiltsee (1999) fez um avaliação de 20 plantas de 10MW até 79MW, localizadas na sua maioria nos EUA, e elegeu os seguintes pontos de importância a serem considerados em futuros projetos:

- *Fontes combustíveis* – Para diminuir custos, a biomassa deve localizar-se nas proximidades da fonte geradora. Os resíduos agrícolas têm custado cerca de \$1,00/Mbtu.
- *Manuseio do combustível* - A alimentação de biomassa e o pátio de estoque devem ser cuidadosamente planejados para evitar mau cheiro, pragas e fungos. Deve-se separar os contaminantes metálicos e evitar flutuação da umidade da biomassa.
- *Flexibilidade* - A sazonalidade dos produtos agrícolas exige que o sistema seja projetado para processar diferentes biomassas.
- *Localização* - Os resíduos de biomassa são combustíveis de baixa densidade comparados com os fósseis. O custo de transporte pode se tornar muito alto além de 30km e proibitivo para 150km. A localização também deve levar em conta a vizinhança, em razão do cheiro e do barulho.

6. Estimativa Do Potencial Energético De Grãos Para O Brasil

Considerando a produtividade de cinco dentre os principais cereais produzidos no Brasil, estimou-se a quantidade de resíduo gerado em cada cultura (*SOUZA et al., 2002*):

Tabela 1. Estimativa do produção de resíduos dos principais grãos no Brasil, safra 2002/2003.

Grão	Produção (ton*)	Resíduo	Resíduo/produção (ton/ton**)	Resíduos de cada cultura	
				ton	%
Arroz (em casca)	10.616.100	palha	1,315	13.960.171	8,6
		casca	0,18	1.910.898	1,2
Milho (em grão)	42.757.000	palha	1,42	60.714.940	37,3
Soja (em grão)	50.330.400	palha	1,40	70.462.560	43,3
Feijão (em grão)	2.519.300	palha	3,67	9.245.831	5,7
Trigo (em grão)	4.514.700	palha	1,42	6.410.874	3,9
Total	110.737.500			162.705.275	100,0

Fonte: Produtividade: (*) CONAB, 2004; (**) SOUZA et al., 2002

Considerando que cada 3kg de biomassa vegetal pode gerar 1kWh de eletricidade com o uso de um gaseificador de biomassa/grupo gerador, tem-se um potencial de geração anual de *195,2 milhões de GJ/ano* somente a partir de resíduos desses cereais.

Um aproveitamento mais simplificado da energia contida na biomassa, mas igualmente importante, reside na aplicação da biomassa para a secagem dos próprios grãos, por meio da queima direta. Além da produtividade da safra de grãos 2002/2003 mostrada na Tabela 1, é preciso considerar que:

- a perda de umidade média é de 7% para o arroz e de 6% para os demais no processo de secagem;
- 100% da produção de arroz, soja, feijão e trigo são secados e apenas 50% do milho é secado;
- o gasto energético para secagem é de 3.500kcal/kg de água evaporada.

Com base nisso, estimou-se que o gasto energético para a secagem desses grãos é de 80 milhões de GJ/ano, cerca de 41% do potencial total estimado gerado. A proximidade da biomassa da usina geradora torna-a mais atrativa, pois elimina o custo do transporte e remove os resíduos do processo.

7. Localização das Potenciais Usinas de Biomassa no Estado de São Paulo

Há grandes diferenças na disponibilidade de biomassa entre as várias regiões geográficas. A região Sul do país concentra mais de 50% da produção das culturas citadas na tabela 1. acima, enquanto a região Norte dispõe de cerca de 2%. Como o potencial da região Sul já foi discutido por SOUZA (2002), neste trabalho, procuramos avaliar o potencial do Estado de São Paulo:

- O **arroz** é uma planta anual, podendo ser cultivado em regiões de várzeas sistematizadas (arroz irrigado) ou em terras altas (arroz de sequeiro), onde depende exclusivamente das precipitações pluviométricas. Em São Paulo, o arroz irrigado abrange principalmente os EDR (Escritório de Desenvolvimento Regional) de Ourinhos, Guaratinguetá e Pindamonhangaba. O arroz de sequeiro abrange os EDRs de Avaré, Barretos, General Salgado, Itapeva e Limeira (IEA, 2004). A colheita ocorre entre fevereiro e abril.

- O **milho** é uma planta anual, que necessita de solo bem drenado, podendo ser cultivado no verão e no outono (safrinha). No Estado de São Paulo é plantado em praticamente todos os EDR, com destaque para Avaré, Itapetininga e Itapeva (IEA, 2004).

- A cultura do **trigo** em várzeas e irrigada por aspersão é de grande potencial no Estado de São Paulo. É cultivado principalmente nos EDR de Ourinhos, Avaré e Itapeva. A colheita ocorre de agosto a setembro (IEA, 2004).

- O **feijão** é cultivado principalmente nos EDR de Avaré, Andradina, Itapetininga e Itapeva (IEA, 2004). A colheita concentra-se de dezembro a fevereiro e maio.

- A **soja** é cultivada principalmente nos EDR de Ourinhos, Barretos, Araçatuba e Avaré (IEA, 2004). A colheita da soja ocorre entre fins de fevereiro e abril e entre outubro e novembro.

Partindo das recomendações de Wiltsee (1999), conclui-se que, em razão da época de colheita, seria interessante consorciar resíduos de uma ou mais culturas entre arroz/soja/feijão (meses de fevereiro a maio) com trigo (agosto a setembro). Através da análise das principais regiões produtoras de trigo e das demais culturas (arroz/feijão/trigo), conclui-se que as regiões de maior potencial para instalação de usinas geradoras de energia a partir desses grãos, no Estado de São Paulo, estariam localizadas nos EDR de Ourinhos, Avaré e Itapeva. A Figura 1 mostra a produtividade do milho no estado de São Paulo por EDR.

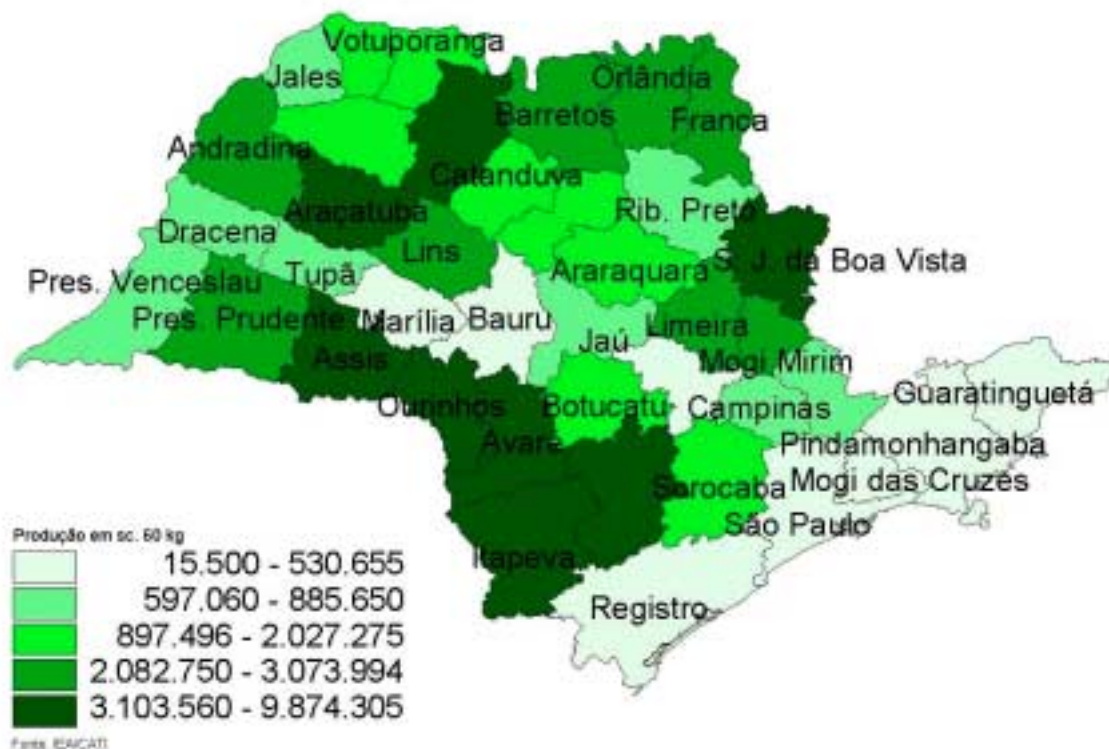


Figura 1. Distribuição geográfica da produção de milho por EDR no Estado de São Paulo, Safra 2003. IEA, 2004.

8. Biomassa vs. Óleo Combustível

Dentre as fontes renováveis, a biomassa é uma das mais adequadas para geração de energia na forma de calor. Assim, combustíveis fósseis, não renováveis, poderiam ser potencialmente substituídos pela biomassa na função de gerar calor. Se somarmos o consumo de óleo combustível em 2001 para os setores:

- agropecuário (3594GJ)
- têxtil (8558 GJ)
- cerâmico (14078GJ)
- alimentos e bebidas (41592GJ),

setores em que a biomassa poderia substituir o óleo combustível, oriundo de fonte não renovável, tem-se um total de 67.822 GJ, valor bastante inferior ao potencial da biomassa de 195,2 milhões de GJ/ano.

9. Conclusões

Estima-se que a contribuição da biomassa residual de grãos seja da ordem de 195,2 milhões de GJ/ano, valor que poderia ser somado ao uso já estabelecido do bagaço de cana para fins energéticos, que em 2001 foi de 658 milhões de GJ. Esta energia pode ser utilizada para a secagem desses mesmos grãos (estimativa de gasto energético de 80 milhões de GJ), energia que atualmente tem sido suprida, quase que totalmente, pelo uso de óleo combustível. Pode também substituir o óleo combustível utilizado no setor agropecuário, nas indústrias de alimentos e bebidas, cerâmica e têxtil (setores que consumiram 67.822 GJ em 2001). As regiões de maior potencial para instalação de usinas geradoras de energia a partir desses grãos, no Estado de São Paulo, estão localizadas nos EDRs de Ourinhos, Avaré e Itapeva.

A utilização da biomassa residual para geração de energia traz benefícios ambientais pela redução de uso de outras fontes não renováveis. A utilização da biomassa como combustível poderia ainda agregar valor a produção agrícola, através da comercialização dos resíduos ou de aproveitamento desta energia nas próprias propriedades agrícolas.

Bibliografia

- 1) COELHO, SUANI T., CRISTIANO, ORLANDO S., CONSÍGLIO, MARCELO, PISETTA, MARCELO e MONTEIRO, M. BEATRIZ - PROJETO BRA/00/029 – Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. **Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em Relação à Mudança Global do Clima**, Brasília, 2002.
- 2) DEMIRBAS, AYHAN. **Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuel and Chemicals**. Energy Conversion & Management, 2001, v. 42, pg. 1357-1378.
- 3) SOUZA, SAMUEL N.M., SORDI, ALEXANDRE, OLIVA, CARLOS A. **Potencial de Energia Primária de resíduos Vegetais no Paraná**. Campinas, AGRENER - 4^o Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.
- 4) SILVA, IVETE TEIXEIRA, SILVA, ISA MARIA OLIVEIRA e ROCHA, BRÍGIDA RAMATI PEREIRA. **Geração de energia a partir de resíduos de mandioca para agricultura familiar no Estado do Pará**. Campinas, AGRENER - 4^o Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.
- 5) KINTO, OSCAR TADASHI, GALVÃO, LUIS CLÁUDIO R., GRIMONI, JOSÉ AQUILES B. e UDAETA, MIGUEL EDGAR M. **Energia da gaseificação da biomassa como opção energética de desenvolvimento limpo**. Campinas, AGRENER - 4^o Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.
- 6) WILTSEE, G.A. **Lessons learned from existing biomass power plants**. California, BIOMASS, A GROWTH OPPORTUNITY IN GREEN ENERGY AND VALUE-ADDED PRODUCTS. Proceedings of the 4th Biomass Conference of the Americas, 1999.
- 7) INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2003/04**. Disponível em < <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=881&PHPSESSID=bbae450eb12cd73ee36bd5b4a43ca7e1> > Acessado em maio de 2004.
- 8) AMIT KUMAR, JAY B. CAMERON, PETER C. FLYNN. **Biomass power cost and optimum plant size in western Canada**. Biomass & Bioenergy, vol. 24, 2003, pg. 445-464.

EFICIÊNCIA E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Prof. Dr. Jamil Haddad – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI/Grupo de Estudos Energéticos – GEE0

1. Introdução

O setor industrial é o maior consumidor da energia elétrica produzida no Brasil, utilizando 44% do total, seguido pelo uso residencial, com um consumo de 25%, e pelo uso comercial, com 16% (os restantes 15% distribuem-se entre setor rural, iluminação pública, órgãos do governo e outros). Ao lado da elevada participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, observa-se um crescente nível de eletrificação no consumo final, atendido até o momento de forma relativamente satisfatória, mas o serviço ainda precisa ser ampliado: a ELETROBRÁS fixou como meta levar eletricidade a 12 milhões de pessoas adicionais até 2008. Se for mantida a estrutura atual de uso da energia, projeta-se uma necessidade de suprimento, em 2015, em torno de 780 TWh/ano, de acordo com a empresa.

O desenvolvimento do país também demandará, como nos anos anteriores, um aumento na oferta de energia em taxas percentuais maiores do que a do próprio crescimento do PIB, mas boa parte dessa demanda adicional pode ser compensada pelo aumento da eficiência energética no sistema, sobretudo pelo aumento da conservação, entendida como o usufruto dos mesmos confortos e a realização do mesmo patamar de atividade econômica com redução do consumo energético. Tradicionalmente, esses ganhos são obtidos por meio de:

- Redução nas perdas técnicas das concessionárias;
- Racionalização do uso da energia elétrica;
- Aumento da eficiência energética em aparelhos elétricos.

2. Contextualização Nacional e Internacional

Uma preocupação maior com relação à eficiência energética começou a surgir com a crise de petróleo dos anos 70. Vários países industrializados organizaram-se e fundos significativos foram levantados para investimentos em projetos de eficiência energética e fontes renováveis de energia, com o objetivo de diminuir a dependência em relação ao petróleo e seus derivados.

Entretanto, em meados dos anos 80, com a estabilização do preço do petróleo, diminuiu a preocupação com relação à segurança do suprimento de energia. Ela só seria retomada no final dos anos 80, quando o impacto da queima de combustíveis fósseis na variação climática global tornou-se uma questão mundial, culminando com o Protocolo de Kyoto, um acordo internacional em que os países signatários estabeleceram metas de redução de emissões de CO₂. Para atingir essas metas, tornou-se imprescindível uma maior eficiência em toda a cadeia energética.

Vários países criaram instituições para fomentar a eficiência energética. O Reino Unido fundou o Energy Saving Trust (EST). Os programas se concentram na conscientização sobre as vantagens do uso eficiente da energia e na concessão de incentivos financeiros para produtos energeticamente mais eficientes. Na França, a agência encarregada de desenvolver atividades na área foi a ADEME. Sua atuação compreendia campanhas de conscientização e de difusão de informações e a realização de estudos. No Japão, o Centro de Conservação de Energia (ECCJ) foi criado em 1978; devem-se ressaltar os esforços de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), além do estabelecimento de normas de eficiência energética para a construção civil.

Em 1998 o governo canadense criou o Office of Energy Efficiency (OEE), que tem implementado normas de para construção civil, padrões mínimos de eficiência para aparelhos eletrodomésticos, iluminação etc. Nos Estados Unidos, o Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) foi criado com o objetivo de desenvolver tecnologias eficientes e fontes renováveis de energia que propiciem oportunidades para aumentar a competitividade do país, com o suporte da agência ambiental EPA.

No Brasil, foi criado em 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), sob a coordenação da ELETROBRÁS. Na sua primeira fase, até 1989, observou-se uma concentração em promoção de pesquisa e desenvolvimento de equipamentos eficientes; padronização e certificação de equipamentos; e levantamentos e análises de hábitos de consumo e eficiências de uso de equipamentos. Após a crise energética de 2001, o PROCEL vem passando por um processo de revitalização, com várias ações: educação; prédios públicos; setor industrial; etiquetagem; setor de saneamento; iluminação pública; apoio as universidades e centros de pesquisa.

Visando à racionalização do uso dos derivados de petróleo e do gás natural, numa concepção mais abrangente da conservação de energia, foi também instituído, em 1991, o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET), coordenado pela

PETROBRAS. A maior parte das iniciativas do CONPET tem se voltado à atividade de refino e ao desperdício de óleo diesel.

3. Estado da Arte das Tecnologias de Eficiência Energética

Ao longo das últimas décadas foram obtidos avanços significativos de eficiência energética em máquinas, equipamentos de iluminação, veículos, instalações físicas e processos. Entre os vários instrumentos e tecnologias disponíveis, tem-se: edificações que trabalham com iluminação e ventilação naturais; lâmpadas, reatores, controles e equipamentos de iluminação eficientes; equipamentos de refrigeração com compressores mais eficientes; gerenciamento de energia e sistemas de controle; sistemas mais eficientes de bombeamento, ar comprimido e motores elétricos; motores de veículos mais eficientes, veículos mais leves, operando com mais de um combustível líquido e veículos elétricos híbridos [2]. O potencial de economia de energia é enorme, bastando dizer que uma lâmpada incandescente comum tem eficiência de apenas 8%, ou seja, somente 8% da energia consumida produz luz, sendo o restante dissipado na forma de calor para o ambiente; com lâmpadas fluorescentes compactas, porém, alcança-se facilmente uma eficiência de 32%. Segundo a ELETROBRÁS, com a adoção do Selo PROCEL de eficiência energética nos eletrodomésticos, espera-se um aumento médio de 10% no desempenho dos equipamentos. Eis alguns dos resultados já obtidos com o programa:

RESULTADOS DAS AÇÕES DO PROCEL NO PERÍODO DE 1994/2003

Resultados	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Investimentos aprovados (R\$ milhões) *	10	16	20	41	50	40	26	30	30	29
Energia economizada/geração adicional (GWh/ano)	344	572	1970	1758	1909	1852	2300	2500	1270	1300
Redução de demanda na ponta (MW)	70	103	293	976	532	418	640	690	309	270
Usina equivalente (MW)**	80	135	430	415	440	420	552	600	305	312
Investimento evitado (R\$ milhões)	160	270	860	830	880	840	2019	2818	1486	1914

Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL

(<http://www.PROCEL.gov.br/PROCEL/site/oprograma/resultados.asp>)

A produção de equipamentos mais eficientes traz benefícios também para outras áreas e setores da sociedade. Assim, por exemplo, quando o aperfeiçoamento tecnológico reduz o consumo de energia numa máquina de lavar roupa, pode-se obter, como consequência, um consumo menor de água. No desenvolvimento tecnológico de lâmpadas fluorescentes compactas é possível alcançar ótimos resultados para a eficiência luminosa e obter, ainda, um produto que não gere distorções para a rede de distribuição de energia, como harmônicos de corrente elétrica. Essas inovações tecnológicas também podem trazer benefícios para o meio ambiente, como o desenvolvimento de refrigeradores eficientes livres de CFCs. Na China, um programa com apoio da EPA norte-americana levou ao desenvolvimento de um refrigerador que consome 45% menos energia e é livre de CFCs.

4. Cenário da Capacidade Nacional de Domínio e de Superação Tecnológica

Através do PROCEL foi possível implementar diversas medidas que redundaram em ganhos energéticos ao Brasil. Em termos de tipologia das medidas de conservação com maiores impactos quantitativos, destacam-se a promoção de iluminação mais eficiente, com a substituição de lâmpadas na iluminação pública e nos setores comercial e residencial, o aumento da eficiência de eletrodomésticos (refrigeradores e freezers) e de motores, através da etiquetagem, a instalação de medidores, reduzindo as perdas comerciais, e a eliminação de desperdícios de energia elétrica das concessionárias, reduzindo as perdas nos sistemas de geração, transmissão e distribuição. A confiabilidade dos resultados de algumas destas medidas é baixa, dadas as dificuldades de medição, ou, até, a inexistência delas.

Uma ação estrutural que merece destaque é o estabelecimento de padrões e/ou etiquetas de eficiência energética dos equipamentos. A partir das ações adotadas na Califórnia, Estados Unidos, na década de 70, diversos países se sentiram motivados a repetir a experiência, como França, Alemanha, Canadá, Japão, Austrália e México. O Brasil começou a implementar seu programa, conhecido como Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), com o apoio da ELETROBRÁS/PROCEL e do INMETRO, a partir de 1985 [1].

No contexto da reestruturação do setor energético e da criação de incentivos regulatórios às atividades de eficiência energética no País, merece ainda

especial destaque a obrigatoriedade de aplicação de, no mínimo, 1% da receita operacional anual líquida das concessionárias de distribuição de energia elétrica em programas de eficiência energética e pesquisa e desenvolvimento (P&D). Outro marco importante para a eficiência energética no Brasil ocorreu, em 17 de outubro de 2001, com a lei nº 10.295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.

Uma das principais formas de desperdício a combater no Brasil são as perdas técnicas na transmissão e distribuição de energia pelas concessionárias. Uma das metas do PROCEL tem sido a redução das perdas, hoje na casa de 16%, para um valor próximo aos 10%. Diminuindo esses desperdícios, estima-se que seja possível uma redução anual de até 130 TWh, ou o equivalente à produção aproximada de duas usinas como a de Itaipu. Mas esse potencial de economia ainda é sujeito a muitas incertezas, razão pela qual uma pesquisa detalhada foi encomendada a um consórcio da PUC-RJ com a empresa Ecoluz, que prevê entrevistas com consumidores de 20 distribuidoras encarregadas de 94% da eletricidade produzida no país. Serão ouvidos cerca de 8.000 consumidores residenciais e 2.550 industriais e comerciais de baixa tensão, além de 1.000 unidades industriais, 2.000 comerciais e 200 prédios públicos atendidos em alta tensão –num total de 13.750 entrevistas. O projeto, um convênio entre a ELETROBRÁS/PROCEL e o Banco Mundial (BIRD), pretende estimar não só o potencial de conservação como também os impactos socioambientais que sua exploração poderia trazer, como investimentos evitados, áreas que deixam de ser inundadas, poluentes não emitidos, geração de empregos e de renda.

5. Impactos Social, Ambiental, Econômico, Financeiro, Emprego e Renda Decorrentes da Eficiência Energética

Vários trabalhos demonstram que os investimentos necessários para as ações de eficiência energética são menores do que aqueles necessários à expansão da oferta de energia elétrica. As ações voltadas ao gerenciamento da demanda, seja através de aspectos gerenciais ou produção e uso de equipamentos mais eficientes, representam um investimento menor quando consideramos a vida útil dos equipamentos mesmo que os mesmos possuam inicialmente um custo de aquisição maior. As ações de aumento de geração de energia elétrica por fontes hidrelétricas provocam impactos ambientais e sociais desfavoráveis, sejam nas áreas inundadas e a quebra do equilíbrio ecológico, bem como a transferência de populações para outros lugares que não sejam o habitat original. As usinas termelétricas também provocam impacto ambiental

através dos poluentes atmosféricos e da necessidade da utilização intensiva de água para o processo de refrigeração. Assim, reduzir o desperdício de energia no mínimo posterga várias obras de geração e possibilita a transferência dos recursos financeiros públicos, antes empregados na geração de energia elétrica, para investimentos em obras sociais.

6. Conclusão

Estudos recentes indicam a possibilidade de percalços no caminho do atendimento pleno da demanda de energia no país ao longo dos próximos anos a custos aceitáveis, caso a demanda de energia continue a se comportar repetindo suas taxas históricas de crescimento. É este cenário preocupante que conduz à necessidade de se devotar atenção crescente à integração e à racionalização energéticas no Brasil. Nesse sentido, a eficiência energética parece ter um importante papel a cumprir na formulação de um novo planejamento energético nacional. [3] As metas de longo prazo do PROCEL apresentadas no Plano 2015 prevêm uma redução de demanda da ordem de 130 bilhões de kWh em 2015, evitando a instalação de 25.000 MW (cerca de duas usinas de Itaipu). O ganho líquido para o país será de R\$ 34 bilhões.

Bibliografia

- [1] **Haddad, Jamil et al.** *“Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos”*, ELETROBRAS/PROCEL, Editora da EFEI; Itajubá, MG, 1ª Edição, - 2001.
- [2] **Geller, H. S.**, O Uso Eficiente da Eletricidade: Uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil, INEE, ACEEE, PROCEL, Rio de Janeiro, 1991.
- [3] **IEA – International Energy Agency**, Energy Labels and Standards, Paris, France, 2000.

REPOTENCIAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

Eng. Roberto Castro – UNICAMP/FEEC

Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani – PIPGE/IEE/USP

1. Introdução

Entre junho de 2001 e fevereiro de 2002, as regiões Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil foram colocadas sob racionamento de energia elétrica. A redução de consumo imposta aos consumidores de energia durante a crise foi de aproximadamente 20%. Em razão da redução compulsória, os consumidores alteraram significativamente seus hábitos de consumo, reduzindo os desperdícios. Observa-se hoje, com base nos dados reais de consumo de energia elétrica residencial no Estado de São Paulo, que o consumo per capita em 2004 é da ordem do que se verificava em 1988, ou seja, a retração no consumo de energia por consumidor residencial representou um retrocesso de 16 anos no Estado mais desenvolvido da Federação. Parte desse movimento dos clientes deve-se à “memória do racionamento”, mas concorrem também para isso o crescimento na tarifa, majorada inclusive por encargos aplicados ao suprimento emergencial de energia, e o baixo desempenho da economia, aliado à péssima distribuição de renda que se verifica no Brasil

Durante o período de racionamento, e nos períodos que se seguiram, a oferta de energia elétrica gerada a partir da biomassa, especialmente o bagaço de cana, recebeu grande incentivo por parte do governo. Aliado ao processo de retomada de investimento em usinas de maior porte, isso levou ao aumento significativo da capacidade instalada no parque gerador brasileiro.

A composição do movimento de redução da demanda com o aumento da oferta estabeleceu uma situação peculiar: imediatamente após o término do racionamento, os reservatórios das usinas hidrelétricas das regiões afetadas pela crise retomaram seus níveis de armazenamento com muita rapidez, e começaram a ocorrer sobras de energia, ainda que conjunturais.

A energia elétrica gerada a partir da hidroeletricidade no Brasil representa mais de 92% da geração de energia no país. A recuperação dos reservatórios das usinas acarretou uma súbita redução nos preços da energia no mercado de curto prazo, sinalizando que aquele insumo que foi objeto de racionamento no passado recente estava abundante e disponível para o consumidor.

O que se observa no setor elétrico, hoje, é um ciclo das conseqüências sofridas pela disparidade entre consumo e oferta de um produto no mercado. Vive-se uma situação segura do ponto de vista operacional, pois há abundância de energia armazenada nos reservatórios e o consumo não apresenta sinais de recuperação. Entretanto, a falta de investimento na expansão da oferta pode levar a nova escassez no horizonte de médio prazo (entre 2007 e 2008).

Neste trabalho será avaliado o contexto da geração de energia a partir das centrais hidrelétricas, com foco no dimensionamento e repotenciação dessas usinas como forma de expansão da oferta e de enfrentamento desses problemas.

2. O processo de repotenciação de uma hidrelétrica

A repotenciação de um aproveitamento hidrelétrico começa com o levantamento da capacidade de geração de energia. Através de simulação, em modelos computacionais, de usinas individualizadas, avalia-se a interação do aproveitamento que se deseja repotenciar com as demais usinas de sua cascata e de todo o sistema interligado. Com isso podem ser estudadas várias alternativas de potência instalada no aproveitamento, além da capacidade atualmente instalada, e determinar a energia gerada em associação com cada alternativa de potência instalada.

Os modelos utilizados no dimensionamento das usinas têm evoluído consideravelmente. As usinas mais antigas foram dimensionadas a luz de sistemas de avaliação da relação Potência instalada/Energia gerada que muitas vezes eram fruto apenas da experiência dos técnicos envolvidos. Só depois de 1962 surgiram os primeiros modelos computacionais para simular a operação de usinas hidrelétricas.

Em 1977 o Brasil dispunha de uma capacidade instalada equivalente a 22.637 MW, sendo 19.038 MW (84%) em hidreletricidade e 3.599 MW (16%) em usinas termelétricas [3]. Em dezembro de 2003, a potência instalada no Brasil havia subido para 85.392 MW, sendo 60.014 MW (70%) em usinas hidrelétricas, desconsiderando a UHE Itaipu [4]. Isso significa que cerca de 38% da capacidade instalada em usinas hidrelétricas no Brasil entrou em operação há mais de 27 anos, sugerindo um bom potencial de repotenciação em grande parte das usinas em operação, à luz de novos modelos de simulação e de novos parâmetros de dimensionamento das usinas, como os usos múltiplos da água [3].

3. Viabilidade técnico-econômica do projeto

Depois de verificada a possibilidade de incremento na capacidade de geração por repotenciação, são avaliadas as possibilidades técnicas do projeto, para estimar seus custos. Os benefícios energéticos de incremento são valorados economicamente pelo custo de expansão da oferta (Custo Marginal de Expansão), ou outro parâmetro econômico que melhor defina o custo que a sociedade está disposta a pagar pelo aumento na disponibilidade de energia elétrica. Em seguida, procede-se à análise de Custo/Benefício incremental, pela qual se define a potência instalada ótima do aproveitamento.

Esta avaliação é muito sensível a parâmetros econômicos, como taxa de desconto anual e tempo esperado para amortização dos investimentos. Algumas oportunidades de repotenciação que seriam interessantes, no enfoque global, podem não ser colocadas em prática devido à falta de interesse dos investidores, por julgar que a remuneração do seu capital não será adequada.

Tomando por base projetos que estão sendo desenvolvidos, o custo para implantação de uma usina nova é, em média, aproximadamente 600 US\$/kW, para os aproveitamentos que devem entrar em operação até dezembro de 2007. Como o fator de carga médio é de aproximadamente 60%, o médio estimado é de cerca de 50 R\$/MWh, adotando um período de amortização de 15 anos, taxa de desconto de 12% ao ano e taxa de dólar de R\$ 3/US\$.

Na repotenciação os custos são muito reduzidos, especialmente porque ela não implica obras civis. A potência instalada custa por volta de 150 US\$/kW (estimativa resultante de um estudo real recente de repotenciação). O fator de capacidade na repotenciação é da ordem de 24%, o que leva a um custo de geração de 31 R\$/MWh, ou seja, estima-se uma redução de 38% no custo da energia gerada através da repotenciação, em relação aos empreendimentos novos.

4. Projeto e execução

O principal aspecto técnico no processo de repotenciação é o recondutoramento do estator e do rotor das unidades geradoras das usinas, associado à alteração na classe de isolamento dos elementos energizados. Neste processo são avaliadas a distância entreferro (distância entre o estator e o rotor das máquinas), a qualidade do material isolante utilizado para separar as espiras dos enrolamentos tanto do rotor quanto do estator, bem como a qualidade do material condutor, o número de pólos e o fator de potência do gerador, com o objetivo de otimizar a operação do equipamento e melhorar seu rendimento.

Além dos elementos elétricos, busca-se a melhoria nos equipamentos hidráulicos, como turbina, avaliando a abertura das pás e a distância entre a turbina e a parede do conduto forçado, espaço que representa perda de rendimento se for muito elevado. Avalia-se ainda o acoplamento da abertura das pás da turbina com as pás diretoras do fluxo de água. Esta análise é feita com o objetivo de melhorar o rendimento da turbina, procurando um ponto ótimo de operação e a faixa de operação desejável para o equipamento, por meio do realinhamento nas curvas de colina do equipamento.

5. Histórico

O primeiro aproveitamento hidrelétrico do Brasil foi construído em 1892, na cidade de Diamantina/MG. A usina chamada Ribeirão do Inferno, construída no rio de mesmo nome, um afluente do Rio Jequitinhonha, tinha uma potência instalada de 12 MW [1]. O parque de centrais hidrelétricas no Brasil é, assim, relativamente antigo e se caracteriza pela implantação das usinas nas regiões mais próximas dos centros de consumo.

O mapa da exploração dessa fonte mostra que grande parte das usinas situadas nas proximidades dos grandes centros podem ser modernizadas e repotenciadas. Já o potencial para implantação de hidrelétricas se localiza nas regiões mais distantes desses centros de consumo, fazendo com que a energia eventualmente gerada nessas usinas tenha de ser exportada para regiões mais desenvolvidas, deixando os ônus ambientais nas regiões mais carentes e os benefícios sociais e econômicos nas mais ricas.

A tecnologia de implantação e exploração da energia hidrelétrica, aí incluída a repotenciação, é dominada pela comunidade técnica e científica mundial e particularmente pela brasileira, com ampla experiência no assunto. Recentemente, obteve-se considerável melhoria do rendimento do conjunto turbina/gerador e nos custos dos equipamentos, por meio do desenvolvimento de material isolante de maior eficácia. Aliando essas características com a necessária mitigação dos impactos ambientais e avaliações adequadas da inserção regional dos empreendimentos, o desenvolvimento de novas usinas hidrelétricas, a reabilitação daquelas que se encontram total ou parcialmente desativadas e a repotenciação representam uma parte da solução da necessidade de expansão da oferta do sistema, especialmente se essa exploração levar em conta a possibilidade de desenvolvimento conjunto de outras atividades, representadas pelos usos múltiplos do reservatório, aplicados ao desenvolvimento regional [2].

6. Balanço de energia elétrica de médio prazo

Recentes análises sobre o balanço de energia no setor elétrico brasileiro, com base no cenário de crescimento da demanda utilizado pelo ONS (Operador Nacional do Sistema) para o planejamento mensal de operação e atendimento ao consumo, demonstram a situação apresentada na tabela:

Balanço de energia elétrica - Caso Base (Mwmed)			
	2008	2009	2010
Carga	54.773	57.621	60.617
Itaipu	8.019	8.019	8.019
Proinfa	1.068	1.068	1.068
Hidrelétrica "velha"	35.293	35.293	35.293
Termelétrica "velha"	10.823	10.823	10.823
Necessidade de Energia "nova"	430	(2.418)	(5.414)
Hidrelétrica "nova"	0	1169	1435
Termelétrica "nova"	0	1249	3148
Balanço de energia	430	-	(831)

Assim, observa-se que, mesmo que todo o programa de fontes alternativas (Proinfa) seja concluído com êxito, e mesmo que sejam concluídas todas as obras do plano de expansão fiscalizadas pela ANEEL (hidrelétricas e termelétricas novas), há necessidade de incremento de energia em 2010 no montante de 831 MWmed.

7. Repotenciação de usinas como alternativa de expansão da oferta

A repotenciação desse parque pode levar a grandes ganhos econômicos e financeiros, aliados à mitigação dos impactos ambientais, na medida em que a repotenciação não piora os impactos ambientais da usina já em operação. Observando o balanço energético do item anterior, nota-se que há espaço para energia adicional de repotenciação, tanto em 2009 quanto em 2010.

A estimativa da energia disponível através da repotenciação é complexa, pois precisa ser feita a partir da análise de cada usina individualmente, avaliando todas as possíveis candidatas. Se forem desenvolvidos 1249 MWmed de repotenciação até 2009, toda a expansão de energia térmica nova poderia ser deslocada, além de reduzir a necessidade de usinas térmicas em 2010 de 3979 para 2730 MWmed.

Adotando o fator de capacidade de 24% (dados estimados a partir de recentes casos reais de repotenciação), a necessidade de potência instalada em 2009 seria de 5204 MW, para a adição de 1249 MWmed de energia no sistema. Essa adição representa cerca de 9% de incremento na potência instalada nas usinas hidrelétricas existentes.

Para evitar ao menos a expansão de 831 MWmed de energia térmica em 2010, a necessidade de potência instalada através da repotenciação reduz-se para 3463 MW, que representa aumento de aproximadamente 6% na capacidade instalada das hidrelétricas atualmente em operação.

Estima-se que o preço da energia hidrelétrica gerada a partir de novos empreendimentos seja de 24,90 US\$/MWh, enquanto o custo numa usina termelétrica é estimado em 38,00 US\$/MWh. Na média, o preço da expansão em 2009 sem utilizar a repotenciação resultaria em 32,20 US\$/MWh. Se for considerada a repotenciação de 831 MWmed, porém, esse custo se reduz a 22,68 US\$/MWh. Mais ainda: se o programa de repotenciação for ambicioso e eliminar toda a necessidade de energia térmica nova de 2009, o preço da expansão se reduziria a 17,91 US\$/MWh [4].

8. Conclusão

Há necessidade de expansão significativa da oferta até 2010. Mesmo sem considerar a redução da energia assegurada das usinas que o governo brasileiro pretende promover, há expectativa de déficit de energia no horizonte até 2010. A repotenciação das usinas existentes e a reavaliação no dimensionamento das usinas da expansão é um instrumento importante para reduzir necessidades de investimento e deslocar a expansão em usinas térmicas, com conseqüentes reduções sensíveis no preço da energia na expansão.

Bibliografia

[1] – **Biblioteca do Exército** "A Energia Elétrica no Brasil - Da Primeira Lâmpada à Eletrobrás", 1978 (Nota: Este livro não apresenta o nome do autor)

[2] – **Castro, R.** - "Dimensionamento de Usinas Hidroelétricas Considerando Objetivos Múltiplos na Utilização da Água". Tese de Mestrado apresentado à Unicamp/FEEC, 1994

[3] - **ONS** "Sumário executivo da primeira revisão quadrimestral do plano anual de operação de 2004"

[4] - **Castro, R.; Cruz, A.L.P.; Sassaron, A.R.C.** - "Expectativas de balanço e preços da energia: Análise conjuntural e estrutural", ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais , ago/2004 - Florianópolis.

Notas Finais

As idéias expostas nesse dossiê foram desenvolvidas por renomados cientistas e acadêmicos de diversas universidades do Brasil, a pedido do Greenpeace. Essas personalidades tiveram total liberdade na produção de seus estudos, e, portanto, nem sempre os resultados dos trabalhos representam a opinião do Greenpeace.

O Grupo de Trabalho de Energia, do Fórum Brasileiro de ONG's e Movimentos Sociais também colaborou na edição desse dossiê.

O físico Artur Moret, da Universidade Federal de Rondônia coordenou a equipe de profissionais que desenvolveram esse material.

O jornalista Marcelo Leite colaborou na revisão dos textos do dossiê Energia Positiva para o Brasil.