

## Capítulo VI

# Bioenergia para produção de eletricidade

*Por Maria Beatriz Monteiro, Beatriz Acquaro Lora e Suani Teixeira Coelho\**

Os combustíveis fósseis constituem-se como a principal fonte de emissões de gases chamados de efeito estufa (sendo os principais gases responsáveis pelo efeito estufa o  $\text{CO}_2$ , o  $\text{CH}_4$ , o  $\text{N}_2\text{O}$ , o HFC, o PFC e o  $\text{SF}_6$ ) e de compostos sulfurados, responsáveis pela chuva ácida.

A atual intensificação do efeito estufa natural terrestre, que ocorre devido ao aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera, é considerada por grande parte da comunidade científica o fenômeno responsável pelas mudanças climáticas globais atualmente em curso, que aumentam a frequência dos eventos climáticos extremos como secas, inundações, furacões, nevascas, ondas de calor, etc.

Assim, os estudos aprofundados sobre o assunto levaram a comunidade internacional à tomada de decisões e à criação de convenções e protocolos internacionais para negociação de reduções de emissões, em especial, o Protocolo de Quioto, ferramenta criada para negociações de permissões de créditos ou permissões de emissões entre os países signatários do protocolo e promoção do desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento por meio da mitigação das mudanças do clima.

Segundo Martins (2004), uma das formas de controlar as emissões de carbono é a substituição de recursos energéticos derivados de combustíveis

fósseis por outros com menores emissões de carbono por kWh consumido, como ocorre com as fontes renováveis (eólica, solar, biomassa, etc.).

Dessa forma, a utilização de biocombustíveis em substituição aos combustíveis fósseis possibilita a redução de emissões líquidas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), de monóxido de carbono (CO) e de gás metano ( $\text{CH}_4$ ), bem como de gases sulfurados.

O incremento progressivo do uso de energia proveniente de fontes renováveis na matriz energética, em especial bioenergia proveniente de biomassa, pode ser uma das melhores soluções para a problemática do consumo de combustíveis fósseis.

Quando produzida de forma eficiente e sustentável, a energia a partir da biomassa traz inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais quando comparados aos combustíveis fósseis. Esses benefícios incluem o melhor manejo do solo, a criação de empregos, o uso de áreas agrícolas excedentes, o fornecimento de vetores energéticos modernos a comunidades rurais, a redução nos níveis de emissões de  $\text{CO}_2$ , o controle de resíduos e a reciclagem de nutrientes, entre outros.

No que se refere à questão social, como a maior parte da biomassa é produzida na zona rural, ocorre a fixação do homem no campo e a geração

de empregos nessas regiões, principalmente de pessoas de baixa escolaridade, o que evita o deslocamento populacional para áreas urbanas. Em países pobres, como os do continente africano e da América Latina, a produção de biomassa sustentável pode contribuir para o desenvolvimento social da região com a geração de renda para as populações locais.

São grandes os benefícios ambientais e energéticos decorrentes do cultivo de plantas perenes e florestas, além de plantações com safras anuais, que são matérias-primas alternativas de curto prazo para a produção de combustíveis.

Os sistemas agroflorestais podem desempenhar um papel importante na obtenção de energia e fornecer outros benefícios para os agricultores e as comunidades de entorno. Para diminuir os níveis de emissão de CO<sub>2</sub>, o uso da biomassa como um substituto dos combustíveis fósseis (substituição total, co-firing etc) é vantajoso, do ponto de vista socioeconômico.

As vantagens econômicas da biomassa, principalmente para

os países em desenvolvimento, baseiam-se no fato de ser uma fonte de energia produzida regionalmente e, portanto, colaborando para independência energética em relação à importação de combustível e geração de receita. Na verdade, esta questão econômica da biomassa é uma questão estratégica, contrapondo às situações de crise mundial, que se repetem com frequência cada vez maior.

Atualmente, o Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado, com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar.

Este capítulo é o primeiro de uma série de três, que pretendem abordar as diferentes fontes de bioenergia no Brasil. Neste primeiro é apresentado o tema de geração de eletricidade a partir de resíduos agroindustriais, urbanos e rurais. Nos próximos serão abordadas outras fontes como os biocombustíveis líquidos e a importância da biomassa no Brasil e no mundo.

## A utilização de biomassa para geração de energia elétrica no Brasil

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) do Ministério de Minas e Energia (MME) foi instituído em 2004 (Decreto nº 5.025) com o objetivo justamente de aumentar a participação da energia elétrica produzida por fontes renováveis como biomassa, eólica, solar e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Atualmente, apenas 7,18% da energia gerada no Brasil provém da biomassa.

Esta geração de eletricidade a partir de biomassa ocorre principalmente nos setores sucroalcooleiro, de papel e celulose, arrozeiro, nas agroindústrias que utilizam os resíduos correspondentes (bagaço de cana, resíduos de madeira e licor negro, casca de arroz). A utilização de biogás de resíduos urbanos e rurais ainda é reduzida, com algumas plantas de geração em aterros sanitários e em produtores rurais no Sul do país.

O aumento da participação da biomassa na geração de energia

no Brasil depende do estudo de seu potencial e disponibilidade, uma vez que o uso de resíduos como combustível em alguns setores não é algo tradicional. A coleta e a sistematização de informações sobre disponibilidade desses recursos energéticos é, portanto, fundamental para a elaboração e execução das políticas relativas ao setor.

Com o intuito de viabilizar o uso da biomassa como fonte eficiente de energia, o Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio) realiza, desde 2002, um levantamento minucioso do potencial de biomassa para geração de energia a partir de resíduos agrícolas, florestais, urbanos, rurais e de óleos vegetais. O levantamento tem como objetivo apresentar um panorama do potencial atual nacional na forma do "Atlas de Bioenergia do Brasil".

Este Atlas é um instrumento para a proposição de estudos relativos ao uso da biomassa como combustível e também para o desenvolvimento de métodos e processos de melhoria de eficiência de geração de energia a partir de resíduos



já existentes. Sua importância é de auxiliar na tomada de decisão, pois neste estudo é possível encontrar dados relativos ao potencial de geração de energia baseado nos potenciais de biomassa em diferentes regiões do Brasil.

O Atlas de Bioenergia apresenta, para cada região do país, o potencial de bioeletricidade em MW, de cada tipo de biomassa estudada.

Cada região do país tem sua vocação agrícola particular, gerando diferentes tipos de resíduos a serem aproveitados para geração de energia. Segundo o último levantamento realizado pelo Cenbio, os potenciais de cada biomassa são apresentados a seguir.

### *Resíduos agroindustriais*

#### **• Bagaço de cana-de-açúcar**

Atualmente, considera-se que uma tonelada de cana colhida resulta em, aproximadamente, 33% de caldo; 33% de bagaço (50% de umidade); e 33% de palhiço (palha e pontas com 15% de umidade).

O bagaço, subproduto resultante da moagem e extração do caldo de cana, é largamente utilizado pela indústria sucroalcooleira na produção de energia mecânica e vapor para uso interno, além da grande produção de energia elétrica excedente, que é vendida para rede nacional.

Resíduos tais como palha e pontas somente estão disponíveis quando é realizada a colheita mecanizada, com posterior recolhimento parcial do palhiço do campo (50% da palha e pontas colhidas) e transporte para indústria. De outra forma, tais resíduos são queimados quando se opera a colheita manual com queima do canavial ou são deixados no campo quando o transporte para a indústria não é viável economicamente.

No Brasil, o maior produtor de cana-de-açúcar é o Estado de São Paulo que representa 53,9% da produção nacional (Conab, 2012). Ainda segundo a Conab, o Brasil moeu 571,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2011/2012. Na safra 2009-2010, o setor apresentou uma capacidade instalada de 5.900 MW, com uma venda de excedentes à rede de 2.100 MW (Unica, 2012). O bagaço de cana representa 81,4% da geração de energia a partir de biomassa no Brasil (Aneel, 2012 b).

Com essa produção nacional, os potenciais para geração de energia a partir dos resíduos da cana-de-açúcar são de: 3.082 MW/safra para um cenário de 30 kWh/tonelada de cana moída, 4.109 MW/safra para um cenário de 40 kWh/tonelada de cana moída e, finalmente, 8.240 MW/safra para um cenário de 120 kWh/tonelada de cana moída, dependendo da tecnologia empregada (pressão das caldeiras e tipo de turbina a vapor).

Esses três cenários são propostos pois as usinas sucroalcooleiras estão em diferentes estágios de desenvolvimento em relação à eficiência das caldeiras utilizadas para geração

de vapor. O cenário de 30 kWh/tonelada de cana moída corresponde à substituição das caldeiras de 21 bar por 60 bar e a introdução de turbinas multiestágio para as moendas. O índice de 40 kWh por tonelada de cana moída se aplica para caldeiras de 60 bar com as moendas eletrificadas.

Finalmente, o cenário mais eficiente de 120 kWh/tonelada de cana moída considera o uso das palhas de pontas (40% em peso) obtidas na colheita da cana crua e uso da energia gerada durante o ano todo, ou seja, 8.322 horas por ano, em sistemas de 80 bar e turbinas de condensação e extração.

#### **• Resíduos de madeira (silvicultura)**

A partir da conscientização de esgotabilidade das florestas nativas diante de uma exploração intensa, foram desenvolvidas técnicas de plantio e manejo de espécies florestais com objetivo de aumentar a produtividade. Em sua origem, as florestas plantadas, cuja atividade exploratória chama-se silvicultura, atenderam às necessidades do país em termos de madeira para fins industriais, especificamente para produção de papel e celulose. Entretanto, desde o começo dos anos 1980 têm-se difundido novos padrões e conceitos na formação de florestas homogêneas, visando à produção de energia a partir de biomassa (Nogueira & Lora, 2003).

O termo floresta energética está sendo usado para definir maciços florestais, a partir dos quais o objetivo é obter maior quantidade de energia por hectare no menor espaço de tempo. As diferenças básicas entre as florestas tradicionais e as florestas energéticas estão no menor ciclo de corte, entre dois e quatro anos, e em maior densidade, com espaço entre as árvores geralmente inferior a 2 x 2 metros, ou seja, mais de 2.500 árvores por hectare. Tipicamente as espécies mais adaptadas às florestas energéticas são o eucalipto e o pinheiro, no caso do Brasil, de clima tropical.

Os resíduos florestais incluem os subprodutos das atividades silviculturais, como pontas e caules deixados no campo e que, em função da finalidade da madeira produzida, industrial ou energética, apresentam distintas produções específicas.

Observa-se que a geração total de resíduos na exploração florestal, incluindo resíduos de serragem, pode ser muito superior à produção de madeira trabalhada.

O Brasil produziu 115.741.531 milhões de m<sup>3</sup> de madeira em tora provenientes da silvicultura em 2010 (IBGE/SIDRA, 2012a). A produção de madeira concentra-se nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. No Sudeste, há predomínio do Eucalyptus (93,8%) em relação ao Pinus (6,2%). No Sul, o Pinus predomina em 71,9% da área plantada, enquanto o Eucalyptus representa apenas 28,1% (ABRAF, 2011).

Em 2011 a capacidade instalada para geração de eletricidade com resíduos de madeira era de 370 MW (Aneel, 2012 b). Com esta produção anual estima-se um potencial de geração de 1.650 MW por ano, se utilizada tecnologia com

eficiência de 15%. Esta tecnologia é indicada para potenciais entre 200 kW/ano e 10 MW/ano. Para potenciais acima de 10 MW/ano, são considerados equipamentos com eficiência de 30%, o que resulta numa potência de 3.299 MW/ano, apenas para resíduos do processo industrial da madeira.

#### • **Papel e celulose**

O setor de papel e celulose possui grande quantidade de resíduos principalmente nas indústrias produtoras de celulose (indústrias de celulose e integradas, que produzem celulose e papel). Estes resíduos são cascas e restos de madeira, além do licor negro, subproduto da produção de celulose.

A geração de eletricidade excedente para venda à rede só é possível (em alguns casos) nas indústrias de celulose, em vista do balanço energético de cada tipo de indústria do setor. Algumas indústrias como a Cenibra, em Minas Gerais, vendem excedente à rede.

Em 2011 o setor apresentava uma potência instalada de 1.245 MW utilizando licor negro como combustível (Aneel, 2012 b).

#### • **Casca de arroz**

O Brasil produziu, em 2010, 11.235.986 toneladas de arroz em casca (IBGE/SIDRA, 2012b) sendo o Estado do Rio Grande do Sul o maior produtor nacional, contribuindo com 61,2% da produção em 2010.

A casca de arroz representa aproximadamente 30% do total produzido. Este é o resíduo resultante do beneficiamento do arroz que acontece nas instalações de grandes empresas beneficiadoras ou de cooperativas de produtores.

O uso mais interessante desse resíduo se dá em usinas termelétricas de energia (UTE). No Brasil já existem oito UTEs movidas à casca de arroz em operação e uma em construção.

Com o montante de arroz produzido em 2010 no Brasil, o potencial de geração de energia é de 239 MW, mas em 2011 a potência instalada era de 32 MW, representando apenas 0,35% do potencial total gerado a partir de biomassa no país (Aneel, 2012 b).

### **Resíduos rurais**

#### • **Biogás do tratamento de dejetos de suínos**

O aproveitamento dos dejetos animais, altamente poluentes, como fonte de energia elétrica ou térmica pode ser bastante atraente. Além dos benefícios ambientais, por meio do aproveitamento de dejetos que hoje são lançados no ambiente, o uso do biogás como combustível reduz os custos com energia elétrica e, em alguns casos, gera receita com a venda de energia excedente e de créditos de carbono.

Dentre os diversos tipos de rebanho é na suinocultura que se verifica a maior emissão percentual de concentração de

metano no biogás, chegando a 66% (MOTTA, 1986). Contudo, produzir energia elétrica a partir de dejetos de animais ainda não é uma prática disseminada, ainda que o uso do biogás apresente-se como uma alternativa vantajosa para os produtores rurais em termos de geração de energia elétrica e resolução do problema de disposição final desses resíduos.

A produção de energia a partir dos dejetos é realizada em biodigestores em que os dejetos são misturados com água e mantidos por um período predefinido, variando de acordo com o tipo de biodigestor e da temperatura local. Durante este período, as bactérias anaeróbicas atuam sobre o dejetos liberando o biogás. O material residual deste processo é chamado de biofertilizante. O biogás gerado pode ser aproveitado para geração de energia elétrica ou térmica.

O rebanho suíno no ano de 2010 era de quase 39 milhões de cabeças, o que representou um potencial para geração de 72.093.649 m<sup>3</sup> de metano por mês no Brasil.

### **Resíduos urbanos**

#### • **Biogás de aterro**

Uma das formas mais comuns e corretas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, ou lixo, é em aterros sanitários. A disposição em aterros consiste no confinamento dos resíduos em uma área com solo impermeabilizado, por meio de camadas de argila e geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) e coberto com camadas de terra, isolando-o assim do meio ambiente.

Os resíduos sólidos urbanos, quando acumulados de maneira contínua nos aterros, sofrem ação de agentes naturais, como água de chuva e microorganismos, que influenciam em sua decomposição. Durante a decomposição ocorre o processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica presente no lixo, formando dois vetores poluidores do meio ambiente: o chorume, líquido poluente, de cor escura e odor nauseante e o biogás.

O chorume é captado por meio de tubulações horizontais, implementadas durante o aterramento do lixo e escoado para tanques de tratamento ou de retenção, onde é armazenado e, posteriormente, transportado para uma estação de tratamento.

Já o biogás é captado por tubos de sucção horizontais e verticais que drenam o gás. Em cada tubo vertical é conectada tubulação de transporte do biogás, que vai encaminhá-lo ao sistema de queima direta, em flare. Outra possibilidade é a utilização do biogás em sistema de geração de energia.

A captação do biogás produzido em aterro sanitário possibilita a geração de energia elétrica e térmica. No entanto, o processo de recuperação é incompleto, pois permite o aproveitamento de 40% a 60% do total de biogás produzido, devido à sua eficiência de coleta.

A produção de energia elétrica a partir do biogás pode

umentar a eficiência energética do aterro, podendo torná-lo autossuficiente em seu consumo. Além disso, há possibilidade de o aterro comercializar a energia elétrica excedente e os créditos de carbono obtidos pela queima do metano e sua transformação em dióxido de carbono.

O primeiro leilão de crédito de carbono foi realizado em 2007, em que foram negociadas 808.450 toneladas de dióxido de carbono pertencentes ao aterro Bandeirantes, por € 16,20 a tonelada. Em setembro de 2008, ocorreu o segundo leilão, em que foram negociadas 454.657 toneladas de dióxido de carbono pertencentes ao Aterro Sanitário Bandeirantes e outras 258.657 toneladas, originárias do Aterro Sanitário São João, por € 19,20 a tonelada. Atualmente, os valores encontram-se ao redor de € 11 a tonelada (Point Carbon, 2011). A capacidade instalada em cada um destes dois aterros é de 20 MW.

#### • **Biogás de tratamento de esgoto**

Dentre as diversas alternativas disponíveis para o tratamento de efluentes líquidos, ou esgoto, destaca-se a digestão anaeróbia. Os digestores anaeróbios, ou biodigestores, são equipamentos utilizados para digestão da matéria orgânica presente nos efluentes líquidos, permitindo a redução de seu potencial poluidor além da recuperação da energia na forma de biogás.

Os biodigestores são câmaras fechadas, nos quais é adicionado o efluente rico em material orgânico e, por meio da decomposição anaeróbia, ocorre a diminuição da quantidade de sólidos e de microorganismos patogênicos. Os modelos de biodigestores mais utilizados para o tratamento de efluentes líquidos são: Chinês, Indiano e Rifa (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente).

O processo de digestão anaeróbia possui quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Somente nesta última fase ocorre a formação do biogás, composto, principalmente, por metano e dióxido de carbono, que pode ser utilizado como fonte de energia.

O lodo resultante do processo de digestão anaeróbia possui alto valor nutricional para plantios e o efluente biodigerido pode, ainda, passar por um sistema de pós-tratamento antes de ser lançado nos corpos d'água. É importante ressaltar que essa prática deve atender às normas ambientais, como as Resoluções Conama nº 357, de 17 de março de 2005, e nº 397, de 03 de abril de 2008.

A coleta de biogás proveniente do tratamento anaeróbio do esgoto é realizada por meio de tubulação conectada à parte superior do biodigestor. Essa tubulação direciona o biogás ao sistema de purificação para, em seguida, ser encaminhado ao sistema de geração de energia ou ao sistema de queima direta em flare, assim como ocorre com o biogás de aterro sanitário.

A geração de energia pode ser elétrica para consumo na estação de tratamento ou também de energia térmica, produzindo para aquecimento dos próprios biodigestores.

Ambos os sistemas proporcionam ganho na economia da estação de tratamento de efluente, tornando-o mais atraente economicamente.

De maneira geral as fontes de biomassa ainda são pouco exploradas no Brasil, exceto pelas grandes indústrias, como as sucroalcooleiras e de papel e celulose. O potencial do Brasil é enorme e o uso da biomassa como fonte eficiente de energia no país deverá se tornar cada vez mais importante. Várias ações nesta direção já estão sendo realizadas seja nas esferas governamental, seja entre as empresas privadas. Este assunto será discutido nos próximos artigos.

#### **Referências**

- ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF 2011 – Ano Base 2010. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF11-BR.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2012.
- ANEEL (a) – Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração, Capacidade Geração Brasil. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15&idPerfil=2>>. Acesso em: 21 mar. 2012.
- ANEEL (b) – Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração, Capacidade Geração Brasil Fontes de Energia Exploradas no Brasil. Combustível Biomassa. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.asp?Classe=Biomassa>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamentos de safra - 3º Levantamento cana-de-açúcar - Dezembro/2011. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_12\\_08\\_11\\_00\\_54\\_08.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2012.
- MARTINS, O. S. Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas e da Saúde) – Setor de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- MOTTA, F. S. Produza sua energia - biodigestores anaeróbios. Recife: Editora AS, 1986.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- IBGE/SIDRA (a) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema de Recuperação de Dados. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=VS&z=t&o=29>>. Acesso em: 21 mar. 2012.
- IBGE/SIDRA (b) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema de Recuperação de Dados. Produção Agrícola Municipal 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=11>>. Acesso em: 21 mar. 2012.
- POINT CARBON. Disponível em: <<http://www.pointcarbon.com/productsandservices/carbon/>>. Acesso em: 28 mar. 2012.
- UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 21 mar. 2012.

**\*MSc Maria Beatriz Monteiro, MSc Beatriz Acquaro Lora e Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho são pesquisadoras do Centro Nacional de Referência em Biomassa do Instituto de Eletrotécnica em Energia da Universidade de São Paulo - CENBIO/IEE/USP.**

**Continua na próxima edição  
Confira todos os artigos deste fascículo em  
[www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o  
e-mail [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)**