

Uso da Biomassa para a Geração de Energia



ISSN 1678-1953
Dezembro, 2016

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 211

Uso da Biomassa para a Geração de Energia

Anderson Carlos Marafon
Antônio Dias Santiago
André Felipe Câmara Amaral
Adriana Neutzling Bierhals
Hugo Leôncio Paiva
Victor dos Santos Guimarães

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2016

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Beira Mar, 3250, CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: (79) 4009-1300
Fax: (79) 4009-1369
www.embrapa.com.br
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Presidente: *Marcelo Ferreira Fernandes*

Secretária-executiva: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Membros: *Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Carlos Alberto da Silva, Elio Cesar Guzzo, Hymerson Costa Azevedo, João Gomes da Costa, Josué Francisco da Silva Junior, Julio Roberto de Araujo Amorim, Viviane Talamini e Walane Maria Pereira de Mello Ivo*

Supervisão editorial: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Normalização bibliográfica: *Josete Cunha Melo*

Editoração eletrônica: *Joyce Feitoza Bastos*

Foto da capa: *Anderson Carlos Marafon*

1ª Edição

Publicação digitalizada (2016)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Uso da biomassa para a geração de energia / Anderson Carlos Marafon... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.
28 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 211).

1. Biomassa. 2. Energia. 3. Recursos energéticos. 4. Consumo energético. I. Marafon, Anderson Calos. II. Santiago, Antônio Dias. III. Amaral, André Felipe Câmara. IV. Bierhals, Adriana Neutzling. V. Paiva, Hugo Leôncio. VI. Guimarães, Víctor dos Santos. VII. Título. VII. Série.

CDD 634.98 Ed. 21

©Embrapa 2016

Autores

Anderson Carlos Marafon

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo), Rio Largo, AL

Antônio Dias Santiago

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo), Rio Largo, AL

André Felipe Câmara Amaral

Químico, mestre em Química Orgânica, analista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo), Rio Largo, AL

Adriana Neutzling Bierhals

Bióloga, mestre em Proteção de Plantas, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo), Rio Largo, AL

Hugo Leôncio Paiva

Graduando em Agronomia, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo), Rio Largo, AL

Victor dos Santos Guimarães

Graduando em Agronomia, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo), Rio Largo, AL

Apresentação

A base da matriz energética atual é formada por combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), os quais além de serem recursos finitos (não-renováveis), são altamente poluidores. Os combustíveis fósseis constituem-se como a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e de compostos sulfurados, responsáveis pela chuva ácida.

Vários países, incluindo o Brasil, têm se comprometido com protocolos ambientais voltadas para a inserção de fontes alternativas de energia e a maximização de sua utilização. A valorização da biomassa para fins energéticos é uma alternativa para estimular as economias agrícolas e rurais para alavancar o desenvolvimento regional. Além da redução das emissões de GEEs, a diversificação da matriz energética, baseada no aproveitamento racional das fontes disponíveis e na produção de matéria-prima dedicada, é uma questão de crucial importância para garantir o desenvolvimento regional.

O objetivo deste documento é discutir o uso da biomassa para produção de bioenergia, mediante a reunião de informações atualizadas sobre tecnologias e processos de produção, visando fomentar e desenvolver a adoção de medidas de para a inserção da biomassa na matriz energética, haja vista que a atividade revela-se como uma opção eficiente, integradora e com elevado potencial de realização.

Manoel Moacir Costa Macêdo

Chefe-geral da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Sumário

Uso da Biomassa para Geração de Energia.....	6
Introdução.....	6
Conceitos e Aplicações	7
A Biomassa na Matriz Energética.....	11
Usinas Térmicas Movidas à Biomassa	13
Análise Físico-Química da Biomassa.....	14
Cultivos Dedicados à Produção de Biomassa.....	20
Gramíneas Forrageiras.....	21
Florestas Plantadas.....	22
Considerações Finais	23
Referências	25

Uso da Biomassa para Geração de Energia

Anderso Carlos Marafon
Antônio Dias Santiago
André Felipe Câmara Amaral
Adriana Neutzling Bierhals
Hugo Leôncio Paiva
Victor dos Santos Guimarães

Introdução

A energia, nas suas mais variadas formas e fontes, vem ocupando, de maneira crescente, uma posição de relevância na sociedade contemporânea e cada vez mais se configura como um bem de consumo imprescindível à vida inserida nessa sociedade. O suprimento de energia elétrica é uma das condições indispensáveis para o alcance do desenvolvimento sustentável (PHILIPPI; DOS REIS, 2016).

A bioenergia é uma alternativa com potencial de substituir parcialmente os combustíveis fósseis, apesar de não possuir a capacidade de solucionar totalmente o problema energético do mundo (GOLDEMBERG et al., 2008). A biomassa é uma matéria prima de baixo custo e rápido acesso que armazena grande quantidade de energia, carbono, oxigênio e hidrogênio. Trata-se de uma das poucas fontes que pode facilitar a produção de energia em grande escala e de forma sustentável para apoiar o desenvolvimento da sociedade. Cortez (2008) afirma que há duas razões principais para o crescente demanda da biomassa. A primeira vem do uso e da extração de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral, são demasiadamente primitivos, se contrapondo ao momento vivido pela sociedade contemporânea. A segunda trata do iminente impacto causado pelas emissões destas fontes energéticas frente às mudanças climáticas, em outras palavras o aquecimento global.

O setor de bioenergia de desenvolveu bastante no Brasil nas últimas duas décadas e segue com grande potencial de crescimento tendo em vista algumas vantagens comparativas do país em relação aos outros, dentre elas: condições climáticas favoráveis, disponibilidade de água e possibilidade de expansão de áreas com plantios energéticos sem competição com a agricultura de alimentos. Essas vantagens, somadas a aperfeiçoamentos tecnológicos em diversas rotas de conversão de biomassa para energia (combustão, digestão anaeróbica, gaseificação, hidrólise enzimática, torrefação etc.), além do aperfeiçoamento de novas fontes de biomassa (gramíneas e florestas energéticas de curta rotação) e das tradicionais, projetam um cenário de potencial redução de custos e expansão da produção de bioenergia (RUIZ, 2015).

A geração de energia através de biomassa pode contribuir para diminuir a dependência de combustíveis fósseis e das hidrelétricas, diversificando a matriz energética do país sem que esta perca seu caráter renovável. Por isso, novas pesquisas, novos investimentos e estudos de viabilidade econômica de fontes alternativas de matéria-prima para a geração de energia são necessários. Cabe ressaltar que as unidades geradoras devem estar próximas do local onde a biomassa é produzida, para não elevar os custos de transporte. O aproveitamento de resíduos culturais pode contribuir para a descentralização da geração, reduzindo investimentos em linhas de transmissão e perdas de energia pela menor distância. Ao contrário de outras fontes de energia, a exemplo da solar e da eólica, que são fontes intermitentes, a energia da biomassa pode ser usada a qualquer momento (PHILIPPI; DOS REIS, 2016).

Conceitos e Aplicações

Em linhas gerais, o termo biomassa é utilizado para denominar o grupo de produtos energéticos e matérias-primas renováveis, originados a partir da matéria orgânica formada por via biológica. Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia (SEYE, 2003).

A biomassa pode ser classificada em dois grandes grupos: (1) biomassa tradicional, composta essencialmente pela lenha e resíduos naturais e (2) biomassa moderna, produzida a partir de processos tecnológicos avançados e eficientes, tais como biocombustíveis líquidos, briquetes e *pellets*, cogeração (bagaço de cana) e os cultivos dedicados de espécies como o das florestas plantadas e o da cana-de-açúcar. A principal fonte para geração de energia da biomassa está nos resíduos, principalmente nos de origem vegetal. Por meio da biomassa é possível se obter diversas formas de energia. Os seus principais usos como insumo energético são: produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica (carvão e resíduos agroflorestais), biocombustíveis líquidos (álcool combustível e biodiesel utilizados em motores a combustão) e geração de energia elétrica (combustão direta, gaseificação, queima de gases, entre outras tecnologias). A biomassa pode ser obtida de vegetais lenhosos, não-lenhosos e/ou de resíduos orgânicos, e transformada em energia mediante diferentes processos de conversão (Figura 1).

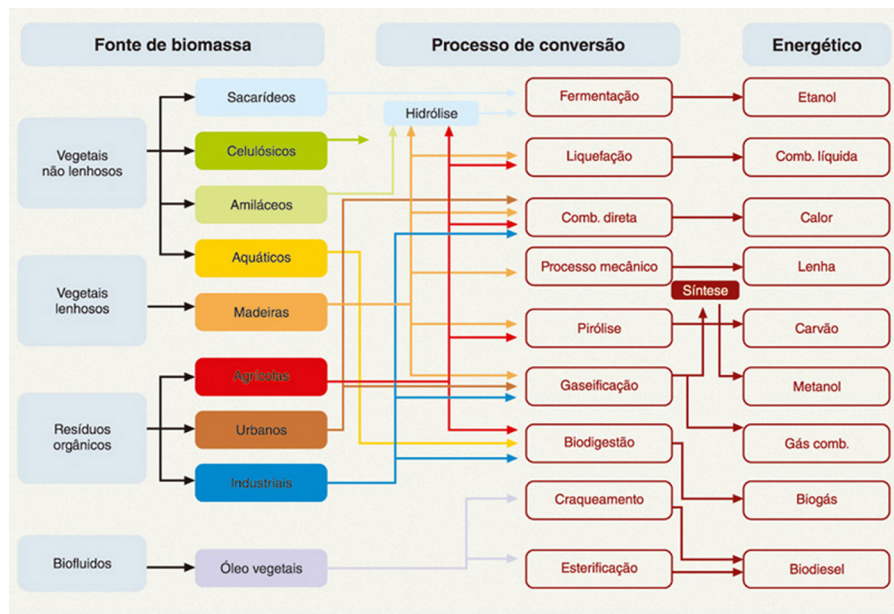


Figura 1. Fontes de biomassa e seus processos de conversão.

Fonte: Brasil (1982).

O esforço de desenvolvimento tecnológico para conversão de energia primária contida na biomassa, em formas secundárias utilizáveis é distribuído entre duas rotas principais: (1) produção de calor de processo associado com a geração de energia elétrica (cogeração) e (2) produção de combustíveis líquidos (etanol e biodiesel). A demanda de energia elétrica das plantas industriais do setor sucroalcooleiro (100%) e do de papel/celulose (50%) são supridas pelo bagaço de cana e a lixívia negra/resíduos florestais (respectivamente).

Para conversão energética da biomassa sólida são usados equipamentos como caldeiras e motores de combustão interna. Nesse processo, ocorre a combustão direta, a decomposição térmica da carga combustível e a combustão dos produtos resultantes desta decomposição, com uma quantidade de oxigênio fornecida suficiente para conseguir a combustão completa do combustível (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

O aproveitamento da biomassa para geração de energia pode ser feito por meio de combustão direta, cogeração (produção combinada de energia térmica e mecânica), processos termoquímicos específicos (gaseificação, hidrólise, pirólise, craqueamento, liquefação e transesterificação) e/ou processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

A combustão direta é a principal forma de utilização da biomassa e consiste na transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo). Embora muito prático e às vezes conveniente, o processo de combustão direta é normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2005).

O processo de cogeração consiste na geração simultânea de energia térmica e mecânica a partir de uma mesma fonte primária de energia. A energia mecânica pode ser utilizada na forma de trabalho, por exemplo, no acionamento das moendas em usinas sucroalcooleiras, ou transformada em energia elétrica através de turbinas de geração de energia elétrica. A energia térmica é utilizada neste setor como fonte de calor para processos em geral.

A alta umidade e a baixa densidade da biomassa podem gerar inconvenientes como a decomposição da matéria-prima quando a mesma é estocada por longos períodos de tempo.

Os sistemas de cogeração de alta eficiência que utilizam biomassa como combustível são normalmente projetados para operar em faixas específicas de umidade. As caldeiras de queima em suspensão normalmente operam em faixas de umidade mais altas de até 50%, pois o sistema de alimentação já prevê que durante a queda da biomassa se dará o processo de secagem, com a queima ocorrendo ainda em suspensão ou acima da grelha basculante. O aumento da umidade além dos limites de operação projetados causa instabilidade no sistema como um todo, devido à diminuição da temperatura da zona de combustão. Isso ocasiona não somente a perda de eficiência dos sistemas de combustão, como também aumento nas emissões ambientais e diminuição da vida útil devido à formação de depósitos de espécies químicas corrosivas em zonas não adequadas (ANTUNES; OLIVEIRA, 2013). Desta forma, a remoção da umidade da biomassa, mediante secagem ao sol ou através de secadores rotativos é uma estratégia fundamental para aumentar o poder calorífico dos materiais e a eficiência energética do processo de combustão. Outra prática que melhora esta eficiência energética é o adensamento da biomassa sólida (enfardamento, briquetagem e peletização).

Devido à baixa densidade de alguns tipos de biomassa utilizados para geração de energia, existe uma preocupação especial na viabilização da coleta e transporte destas matérias-primas. O pensamento corrente é que a biomassa deve ser processada localmente e adensada (carbonização, enfardamento, conversão em briquetes e *pellets*) para

transporte a distâncias superiores a 50 Km, de forma a atingir um nível ótimo entre a economia (e eficiência) de escala da planta de conversão e o custo variável do transporte da biomassa (EDENHOFER et al., 2011).

A Biomassa na Matriz Energética

A produção de energia no século 20 foi dominada por combustíveis fósseis, que representavam ainda no início do século 21, cerca de 80% de toda a energia produzida no mundo, com percentuais de 24,59% para o carvão mineral, 35,03% para o petróleo e 20,44% para o gás natural. Além dos combustíveis fósseis, as fontes de energia hidroelétrica, nuclear, solar, eólica, geotérmica e de pequenas centrais hidroelétricas, juntas representavam 10% da produção de energia. Os outros 10% se originaram da biomassa: 8,40% sob a forma de biomassa tradicional usada de forma primitiva, não sustentável, pelas populações carentes da África, Ásia e parte da América Latina, que derrubam as árvores para aquecer ambientes e cozinhar e os 1,91% restantes eram usados como formas modernas de energia, como o carvão vegetal e o etanol combustível (GOLDEMBERG et al., 2008).

O carvão mineral é a principal fonte de energia elétrica no mundo. Sua participação está muito acima do segundo colocado, o gás natural. Juntos, representam mais de 60% da produção da eletricidade mundial. A hidroeletricidade ocupa a terceira posição, contudo, em níveis bem inferiores ao gás natural, e é seguida, de perto, pela energia nuclear (PHILIPPI JR.; DOS REIS, 2016). No Brasil, esse cenário é muito diferente, visto que as energias renováveis têm participação de 41,2% da matriz energética brasileira, com produção proveniente de fontes como hídrica, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. Para se ter uma ideia da representatividade da bioenergia no Brasil, os derivados da cana-de-açúcar (caldo, melaço e bagaço), a lenha, o carvão, a lixívia e outras renováveis responderam, em 2014, por 29,2% da oferta interna total de energia do país (EPE, 2016). O Brasil reúne, como nenhum outro país, condições plenas para viabilizar a produção e o uso sustentável de biomassa, tendo em vista suas condições climáticas favoráveis, ampla área agricultável e grande disponibilidade

de água (VAZ JUNIOR, 2015). Dessa forma, o aproveitamento da energia contida nessa matéria prima torna-se uma das mais importantes alternativas para o enfrentamento de uma série de problemas ligados à sustentabilidade e ao suprimento energético, especialmente para os países tropicais em desenvolvimento (MATSUOKA et al., 2012).

Do consumo total de energia no Brasil, os segmentos mais representativos pertencem ao setor industrial, dentre eles: alimentos e bebidas (26,4%), ferro-gusa e aço (18,4%), papel e celulose (12%), química (7,9%) e cerâmica (6%).

Atualmente, 65,2% da oferta interna de energia provêm da geração hidráulica, enquanto a biomassa responde por 7,3% do total (EPE, 2015). A 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-de açúcar, resíduos de madeira e licor negro, casca de arroz). 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.

A potência outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) na matriz elétrica brasileira indica que a biomassa responde por 8,83% do total nacional, com destaque para o bagaço da cana-de-açúcar (78,2%), os resíduos do setor florestal (20%) e outras fontes (11,8%) como a casca de arroz e o capim-elefante (ANEEL, 2016).

Com a perspectiva de aumento de 50% na demanda de energia elétrica do Brasil até 2030 (EPE, 2015) é também de se esperar um concomitante aumento na demanda por biomassa para atender este crescimento. Assim sendo, o desenvolvimento e a adoção de tecnologias para o aproveitamento de resíduos agrícolas e/ou agroindustriais e o cultivo de espécies dedicadas à produção de biomassa configuram-se como opções favoráveis à diversificação e descentralização do processo de geração de energia.

Usinas Térmicas Movidas à Biomassa

Em 2016, 517 empreendimentos termelétricos movidos à biomassa estavam em operação no Brasil, somando uma potência instalada de quase 14 GW. A biomassa da cana-de-açúcar, essencialmente o bagaço, é o principal combustível de 394 termelétricas, com uma potência de aproximadamente 11 GW. Além destas, outras 51 usinas utilizam resíduos florestais, 17 usinas usam a lixívia ou licor negro (subproduto da indústria de celulose e papel), 12 a casca de arroz e três usam o capim-elefante (ANEEL, 2016).

Com referência à bioeletricidade da cana-de-açúcar, o setor sucroenergético detém hoje 7% da potência outorgada no Brasil, sendo a terceira fonte de geração de energia mais importante na matriz elétrica nacional em termos de capacidade instalada, atrás somente da fonte hídrica e das termelétricas com gás natural (EPE, 2015).

O bagaço de cana-de-açúcar é a matéria-prima prioritária nas unidades termelétricas das usinas sucroenergéticas, justamente por estar disponível junto às caldeiras. A energia elétrica obtida pela queima do bagaço de cana nas caldeiras das usinas é utilizada pela própria unidade industrial e o seu excedente é vendido às concessionárias de energia.

A oferta de energia do setor sucroenergético brasileiro, em 2015, representou uma economia de aproximadamente 14% da água dos reservatórios das regiões Sudeste e Centro-Oeste, justamente por que esta geração ocorreu na época seca, período crítico do setor elétrico.

Desde 2013, o setor sucroenergético vem gerando mais energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN) do que para o consumo próprio das unidades industriais, ficando numa relação aproximada de 60% de energia para a rede e 40% para o consumo próprio. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2014, existiam 177 unidades exportando excedentes de bioeletricidade à rede, num universo de 355

usinas em operação. Há, portanto, muitas usinas que podem passar por um processo de reforma (*retrofit*) visando aproveitarem plenamente o bagaço, a palha e o biogás da vinhaça para oferecer energia elétrica à rede.

Com o aumento da demanda de bagaço, tanto para fins de cogeração quanto para produção de etanol celulósico, outras matérias-primas têm sido avaliadas como alternativas complementares ao bagaço, dentre elas a palha residual resultante colheita mecanizada da própria cana-de-açúcar, além da biomassa obtida através de cultivos como o de florestas energéticas e gramíneas forrageiras.

Análise Físico-Química da Biomassa

A potencialidade de qualquer combustível depende de características termoquímicas como: composição elementar, densidade, granulometria, teor de cinzas, grau de umidade, as quais definem o poder calorífico da biomassa.

Por englobar materiais heterogêneos e de constituição química bastante diversificada, a análise físico-química e a determinação da composição constituem papel importante na caracterização da biomassa, tanto para produção de energia quanto para seu uso na química fina (VAZ JUNIOR; SOARES, 2015). A composição e a estrutura da biomassa têm forte influência na natureza e no rendimento do processo de transformação da biomassa em energia (TAMANINI; HAULY, 2004).

Dentre as quatro classes de biomassa vegetal que possuem potencial econômico para exploração industrial, destaca-se a biomassa lignocelulósica, formada por celulose e hemicelulose, que são polímeros polissacarídeos, e a lignina, uma macromolécula fenólica. Os três componentes são constituintes importantes da parede celular das plantas e suas quantidades variam de acordo com a espécie vegetal, a idade das plantas, a região de cultivo e o período de coleta.

Algumas características, como a análise da composição química imediata, a química elementar, o poder calorífico, a composição granulométrica e a quantidade de cinzas, são fundamentais para

estabelecer o uso apropriado da biomassa e se seu uso está sendo empregado em sua plena capacidade (LORA; VENTURINI, 2012).

A análise da composição química imediata nos fornece informações a respeito da quantidade, em massa, de umidade (W), carbono fixo (F), voláteis (V) e cinzas (A). O rendimento de carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e densidade da biomassa e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. Já os voláteis apresentam um papel importante no processo de ignição e etapas iniciais da combustão da biomassa, pois se degradam mais facilmente e ajudam a manter a chama da combustão (CORTEZ et al., 2008). A presença de umidade na biomassa acarreta na redução do seu poder calorífico, pois parte do calor gerado é consumido na evaporação da água e também no aquecimento dos vapores para atingir a temperatura dos demais gases, além de aumentar os custos com transporte, dificultar a queima, aumenta o volume dos produtos de combustão e a quantidade de monóxido de carbono presente no gás de exaustão (SANTOS et al., 2013).

A composição química elementar é um índice de qualidade importante na avaliação da biomassa destinada à geração de energia. Nela determina-se o teor percentual, em massa, dos principais elementos químicos constituintes do material analisado, como carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), enxofre (S) e oxigênio (O). Os métodos para determinação desses elementos são muito variados, entretanto, a introdução de analisadores elementares automáticos trouxe avanços consideráveis, permitindo análises mais rápidas e confiáveis (JIMENEZ; LADHA, 1993).

O processo de obtenção dos resultados por analisadores automáticos é baseado no método clássico de Pregl-Dumas e se dá por meio da pirólise da amostra e posterior análise dos gases resultantes de sua decomposição (N_xO_x , SO_2 , CO_2 e H_2O). Para isso se faz necessário um ambiente de temperatura elevada (> 900 °C.) e rico em oxigênio de alta pureza (99,9995%). Os equipamentos atuais funcionam em dois módulos distintos: (1) estático, onde um determinado volume de

oxigênio é adicionado à câmara de combustão e (2) dinâmico, baseado na inserção de um fluxo de oxigênio por um tempo pré-determinado (SKOOG et al., 2005).

Depois de queimada, o gás gerado é empurrado, com auxílio do gás de arraste (Hélio) para uma câmara contendo cobre aquecido de altíssima pureza, visando remover qualquer traço de oxigênio não consumido e converter os óxidos de nitrogênio em gás nitrogênio. Os gases são carregados até uma coluna cromatográfica, onde são separados de acordo com sua interação entre a fase móvel e estacionária. Após a separação, a quantificação dos gases é realizada por detector de condutividade térmica (TCD) (THOMPSON, 2008).

Segundo Lora e Venturini (2012), acrescentando os dados de química imediata aos de composição elementar, existem quatro diferentes formas de se expressar a composição química da biomassa:

- Composição do combustível em base úmida - também denominada como *fired*, pois refere-se à composição de 1 kg de combustível com a umidade na qual ele realmente é queimado. Segue a seguinte equação:

$$C^u + H^u + O^u + N^u + S^u + A^u + W^u = 100\% \quad (\text{Equação 1.1})$$

- Composição em base analítica - cujo teor de umidade pode se diferir dos valores de base úmida e é definido como o combustível, de massa 1 kg, com a umidade que possui no momento de determinação de sua composição em laboratório, segundo a seguinte equação:

$$C^a + H^a + O^a + N^a + S^a + A^a + W^a = 100\% \quad (\text{Equação 1.2})$$

- Composição em base seca - trata-se da informação mais relatada e se refere à composição da biomassa sem a presença de umidade e tratando a quantidade de cinzas como constante, seguindo a equação:

$$C^s + H^s + O^s + N^s + S^s + A^s = 100\% \quad (\text{Equação 1.3})$$

- Composição em base combustível - expressa sem umidade e cinzas, segundo a equação:

$$C^u + H^u + O^u + N^u + S^u = 100\% \quad (\text{Equação 1.4})$$

A determinação da composição química elementar da biomassa desempenha papel fundamental para entender seu comportamento energético, pois uma variação de 1% de carbono e cinzas altera o poder calorífico da amostra em 0,39 MJ/Kg e 0,2 MJ/Kg, respectivamente.

Outras análises importantes na caracterização da biomassa empregam as técnicas termoanalíticas. Durante o aquecimento, mudanças físicas e químicas ocorrem na estrutura da amostra, sendo essas determinadas pela quantidade de energia fornecida ao sistema. Segundo a Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria citado por LEVER et. al. (2014), análise térmica é o estudo da relação entre a propriedade de uma amostra e sua temperatura enquanto ela é aquecida ou resfriada em um ambiente controlado. Elas constituem uma ramificação da gravimetria, já que objetivam demonstrar a variação da massa da amostra a partir da variação da temperatura (VAZ JÚNIOR; SOARES, 2012).

O poder calorífico é a propriedade físico-química mais importante a considerar na escolha de um combustível para uso em processos termoquímicos. O poder calorífico, obtido experimentalmente empregando-se uma bomba calorimétrica, pode ser definido como a quantidade de energia na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível. Sua quantificação se dá em termos da energia por conteúdo por quantidade de massa, sendo expressa em KJ/kg (JENKINS, 1998; NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

O processo de funcionamento dos equipamentos usados para a obtenção do poder calorífico se dá pela inserção da amostra em um contêiner de volume constante onde o processo estudado irá ocorrer. Esse contêiner é imerso em um banho com água sob agitação constante. Todo esse sistema (contêiner e banho interno) é imerso em outro banho externo contendo água, cuja temperatura também é monitorada e igualada àquela do banho interno, visando assegurar que nenhuma perda de calor para a vizinhança ocorra. A variação da temperatura, DT , é proporcional ao calor que a reação libera ou absorve, então, medindo-se o DT determina-se a quantidade de calor,

q_v e a variação da energia interna, DU , já que em um sistema adiabático $DU = q_v$. (ATKINS; De PAULA, 2006).

O poder calorífico é definido em: poder calorífico superior (PCS), que representa a quantidade máxima de energia obtida da transferência de calor do combustível, e poder calorífico inferior (PCI), correspondente a quantidade de calor liberado na combustão quando não se considera o calor latente de condensação da umidade presente e da água formada pela oxidação do hidrogênio presente no combustível. Em instalações industriais, o PCI é preferível pois a energia necessária para condensar a água durante o processo é irrecuperável (LORA; VENTURINI, 2012).

Outra maneira de medir a qualidade da biomassa para geração de energia se dá mediante a adoção de análises termogravimétricas e termodiferenciais. A análise termogravimétrica (TGA) é a técnica termoanalítica que acompanha a perda ou ganho de massa da amostra em função do tempo e temperatura, podendo evidenciar a influência de diferentes materiais genéticos sobre a cinética da reação. A termogravimetria diferencial (DTG) utiliza-se da ferramenta matemática de derivação das curvas de TGA para apresentar a variação da massa em relação ao tempo (dm/dt) em função da temperatura (SANTOS et al., 2013).

Apesar de sua configuração alterar de acordo com o fabricante, o equipamento de análise termogravimétrica é composto basicamente por uma termobalança, que permite a pesagem contínua de uma amostra em função da temperatura. As termobalanças são compostas, basicamente, por uma balança registradora, forno de aquecimento, suporte para amostra acoplado a sensor de temperatura, sistema registrador, programador de temperatura e controle atmosférico do forno (HAINES, 1992).

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) permite determinar a faixa de temperatura em que a reação é exotérmica ou endotérmica, além de quantificar o calor envolvido na reação. O termo diferencial refere-se ao fato de que o comportamento da amostra é comparado a um material de referência, o qual não sofre nenhuma transformação física ou química durante o processo. O equipamento de DSC

consiste basicamente em dois pequenos compartimentos aquecidos eletricamente a uma taxa constante. A potência elétrica que controla a temperatura dos dois compartimentos é comandada por computador de forma a garantir que eles possuam sempre a mesma temperatura durante todo o processo. Quando a temperatura da amostra muda de forma significativa em relação à do material de referência durante uma transformação física ou química, uma transferência de energia na forma de calor ocorre entre os dois compartimentos. Em um processo endotérmico, por exemplo, a temperatura da amostra é reduzida em relação à do material de referência e, como resultado, um fluxo de energia maior é transferido ao material de referência, a fim de manter as temperaturas iguais (ATKINS; De PAULA, 2006).

É importante de se ter em vista que, caldeiras que queimam biomassa vêm assumindo posição proeminente em questões de energia e meio ambiente em muitas partes do mundo e que a corrosão é uma das principais causas que reduzem a confiabilidade em plantas de geração de vapor. O ataque oxidante em tubulações pode se dar pelo ambiente gasoso agressivo ou por variados compostos químicos formados na fusão das cinzas. O teor de cinzas contido na biomassa, assim como sua composição química são os principais fatores relacionados à matéria-prima que levam a corrosão e incrustações nos sistemas de cogeração.

Elementos inorgânicos que se encontram em menor concentração como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), sílica (Si), enxofre (S) e cloro (Cl) (constituintes das cinzas) são os que estão associados à formação de depósitos e incrustações, além da formação de espécies corrosivas durante a combustão da biomassa.

O mecanismo de corrosão promovido pela presença de cloro (Cl_2) na combustão passa pela etapa de formação do ácido clorídrico (HCl), que penetra os poros e rachaduras do aço comum, formando cloreto de ferro (FeCl_2), o qual se volatiliza a temperatura em que normalmente ocorre a combustão (500 °C) e, por fim, é oxidado na presença de oxigênio, liberando o cloro gasoso (Cl_2) (ANTUNES; OLIVEIRA, 2013). Já a presença de espécies químicas contendo metais alcalinos como

o potássio (K) tem uma importante influência na corrosão e formação de depósitos. Essas espécies químicas reagem com o ácido clorídrico (HCl), formando cloretos de metais alcalinos (ex. KCl) que acabam condensando e formando depósitos nas paredes metálicas (LISA et al., 2009).

A magnitude de determinado mecanismo de corrosão depende da biomassa em uso. De acordo com Vassiliev et al. (2010) o teor de cloro na composição química da biomassa pode estar na faixa entre 0,01 e 0,9%. Os maiores valores correspondem às biomassas herbáceas e os menores à madeira. Alguns trabalhos investigaram os teores de cloro na biomassa tais como: 0,05% em bambu (SCURLOCK et al., 2000), 0,12% na casca de coco (TSAMBA et al., 2006), 0,28% na fibra de coco e 0,13% em eucalipto (JENKINS; EBERLING, 1985). A palhada da cana, por exemplo, contém cloro, fato típico de materiais herbáceos, por isso, apresenta alto teor de metais alcalinos nas cinzas, o que pode levar a vitrificação da biomassa nas fornalhas durante a combustão devido à menor temperatura de fusão das cinzas (LORA; VENTURINI, 2012).

Cultivos Dedicados à Produção de Biomassa

Os cultivos dedicados à biomassa (*dedicated energy crops*) podem promover grandes ganhos com a geração de energia renovável, principalmente em regiões de origem tropical e subtropical, graças à grande disponibilidade de energia solar, bem como de terras agricultáveis e recursos hídricos, condições estas encontradas no Brasil. Entre esses cultivos dedicados destacam-se as florestas energéticas, compostas por espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, e as gramíneas forrageiras, como cana-energia, sorgo biomassa e capim-elefante, que possuem elevada eficiência fotossintética na fixação do carbono atmosférico. A “cana-energia” é obtida de cruzamentos de espécies de *Saccharum spontaneum* com híbridos comerciais de cana-de-açúcar (F1/retrocruzamentos), visando obter genótipos com alta produção de biomassa rica em fibras (CARVALHO-NETO et al., 2014).

A cadeia energética de biomassa dedicada compreende o cultivo, a colheita, a coleta, o transporte e a transformação da biomassa, através de um ou mais processos consecutivos, desde o recurso primário até a eletricidade disponível na rede. Fazem parte desse grupo as gramíneas energéticas como o capim-elefante, a cana-energia e o sorgo-biomassa e a silvicultura com destaque para as florestas plantadas como eucalipto e pinus (TOLMASQUIM, 2016)

Gramíneas Forrageiras

As gramíneas forrageiras possuem elevado potencial de produção de biomassa rica em fibras e lignina. Altos conteúdos de lignina e de celulose da biomassa são desejáveis para sua utilização como combustível sólido no processo de combustão, por duas razões principais: (a) pelo alto poder calorífico em virtude do elevado conteúdo de carbono na lignina e (b) pelo fato de as plantas lignificadas manterem-se viáveis, podendo ser colhidas tardiamente, mesmo com baixo conteúdo de água em seus tecidos.

Estudos com diversas gramíneas semiperenes usadas como culturas energéticas vêm sendo realizados em diversos países e observa-se que tais plantas diferem quanto ao potencial produtivo, às propriedades físico-químicas da biomassa, às demandas ambientais e às necessidades de manejo. As mais estudadas nos Estados Unidos e na Europa são: *Panicum virgatum* (Switchgrass) (McLAUGHLIN et al. (2005), *Miscanthus* spp. (Miscanto) (LEWANDOWSKI et al., 2000) e *Arundo donax* (cana-do-reino) (ANGELINI et al., 2005). No Brasil, o capim-elefante, a cana-energia e o sorgo-biomassa têm sido alvo desses estudos, sendo ambos passíveis de mecanização total de seus processos de produção, corte, carregamento e transporte.

O capim-elefante é, reconhecidamente, uma das gramíneas forrageiras de mais alto potencial produtivo, adaptando-se muito bem às condições de clima e solo de praticamente todo o Brasil. O alto potencial produtivo, associado aos elevados teores de fibras, e à possibilidade de execução de múltiplos cortes anuais, credenciam a espécie

como uma excelente alternativa de cultivo dedicado à produção de biomassa energética (CHIES, 2015). A maior parte dos estudos com capim-elefante têm foco na sua utilização como combustível sólido, principalmente para produção de *pellets* e bioeletricidade (ROCHA et al., 2017). Estudos laboratoriais e em escala piloto também têm constatado as potencialidades da biomassa de capim-elefante para produção de etanol celulósico ou de segunda geração (MUNIZ et al., 2015).

A cana-energia que, de maneira contrária à cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), foi melhorada para produzir sacarose, apresenta riqueza em fibras, elevado rendimento de biomassa, alta rusticidade e adaptabilidade às áreas agrícolas marginais, sendo capaz de suportar condições ambientais mais limitantes do que a cana-de-açúcar convencional, muito provavelmente em função de um sistema radicular bem desenvolvido, com presença de rizomas (VIOLANTE, 2012). O sorgo biomassa é outra excelente opção de cultivo dedicado, pois tem ciclo curto (cerca de 150 a 180 dias), é propagado por sementes e apresenta elevada eficiência na utilização da água e tolerância à estiagem (MAY et al., 2013).

Florestas Plantadas

As florestas energéticas são definidas como maciços florestais, a partir dos quais é possível de se obter grande quantidade de energia por hectare no menor espaço de tempo. As diferenças básicas entre florestas tradicionais e florestas energéticas estão no menor ciclo de corte, entre 2 e 4 anos, e na maior densidade utilizada, com espaço entre as árvores geralmente inferior a 2 m x 2 m, ou seja, mais de 2.500 árvores por hectare. Tipicamente a espécie mais adaptada às florestas energéticas é o eucalipto, especialmente no caso do Brasil, onde predomina o clima tropical.

O aproveitamento da madeira como fonte de energia pode ser considerado a forma mais antiga de utilização de biomassa, pois a partir dela é produzida a lenha, ainda hoje empregada para cocção e calefação. A energia gerada empregando-se a madeira e/ou seus

resíduos é denominada dendroenergia, podendo a madeira utilizada como combustível ser proveniente de florestas energéticas ou processos industriais (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Três segmentos industriais que usam madeira para produção de energia são: serrarias, movelarias e indústrias de papel e celulose. A geração de eletricidade é mais acentuada nas indústrias de celulose e papel, nas quais, analogamente ao setor sucroalcooleiro, o vapor obtido nas caldeiras, a partir da queima de resíduos, além de gerar eletricidade, capaz de atender parte do consumo da própria indústria, também pode atender às necessidades térmicas da planta industrial.

A madeira aproveitada para a geração de energia deriva das cascas e aparas ou lascas de árvores processadas. Ainda pode ser considerado, neste segmento, outro tipo de biomassa denominado lixívia ou licor negro, obtido através do processo de cozimento da madeira para produção de celulose, denominado processo sulfato ou “kraft” (VELÁZQUEZ, 2000).

Nas serrarias e movelarias, o aproveitamento de resíduos de madeira, constituídos por serragem e lenha, ainda é pouco expressivo e não é efetiva a produção de energia elétrica. Nesse segmento, o principal problema se refere à exploração predatória da floresta que, além de gerar problemas de ordem legal, também impede que sejam realizados levantamentos precisos da quantidade de resíduos obtidos e que poderiam ser usados para geração de energia.

Considerações Finais

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. São grandes os benefícios ambientais e energéticos decorrentes do cultivo de plantas perenes e florestas, além

do aproveitamento de resíduos culturais de plantações com safras anuais, que são matérias-primas alternativas de curto prazo para a produção de combustíveis.

Embora a combustão direta de madeira, lenha e de carvão vegetal seja uma prática bastante utilizada em países mais pobres, tecnologias avançadas de conversão da biomassa em energia têm favorecido o aproveitamento mais eficiente de recursos agroflorestais nos países desenvolvidos.

No curso do desenvolvimento econômico, os países tendem a ampliar o consumo de energia em resposta às mudanças na estrutura produtiva e elevações na renda per capita. Neste sentido, o consumo de energia é usado como um indicador do nível de desenvolvimento das economias. Embora atualmente a participação da biomassa na matriz elétrica brasileira ainda esteja abaixo do seu potencial, ela deve se expandir no futuro, como já se observa nos leilões recentes de energia elétrica.

Referências

ANEEL (Brasil). **Atlas de energia elétrica**. 2. ed. Brasília, DF: 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>>. Acesso em: 10 set. 2016.

ANEEL (Brasil). **Banco de informações de geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 02 set. 2016.

ANGELINI, L. G.; CECCARINI, L.; BONARI, E. Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax*L.) cropped in central Italy as related to different management practices. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 22, n. 4, p. 375-389, 2005.

ANTUNES, R. A.; OLIVEIRA M. C. L. Corrosion in biomass combustion: a materials selection analysis and its interaction with corrosion mechanisms and mitigation strategies **Corrosion Science**, Cambridge, n. 76, p. 6-26, 2013.

ATKINS, P. W.; DE PAULA, J. **Physical Chemistry**. Oxford: Oxford University Press, 2006. 972 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF: MME, 1982. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/fontes-de-biomassa>>. Acesso: 12 set. 2016.

CARVALHO-NETTO, O. V.; BRESSIANI, J. A.; SORIANO, H. L.; FIORI, C. S.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S.; XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A.; PEREIRA, G. A. G. The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, London, v. 1, n. 1, p. 1-20, 2014.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora Unicamp, 2008. 732 p.

EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y. (Ed.). **Special report of intergovernmental panel on climate changes**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf>. Acesso: 15 dez. 2016.

EPE. **Balço energético nacional 2015**: ano base 2014: relatório síntese Rio de Janeiro, 2015. 292 p.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, London, v. 36, p. 2086-2097. 2008.

HAINES, P. J. **Principles of thermal analysis and calorimetry**. Cambridge: Lynx Edicions, 1992. 220 p.

JENKINGS, B. M.; EBELING, J. M. Thermochemical properties of biomass fuels. **California Agriculture**, Berkeley, v. 39, n. 5, p. 14-16, 1985.

JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES JUNIOR, T. R.; MILES, C. T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, London, v. 54 p. 17-46, 1998.

JIMENEZ, R. R.; LADHA, J. K. Automated elemental analysis: a rapid and reliable but expensive measurement of total carbon and nitrogen in plant and soil samples. **Communications in Soil Sciences and Plant Analysis**, Athens, v. 24, n. 15-16, p.1897-1924, 1993.

LEWANDOWSKI, I.; CLIFTON-BROWN, J. C.; SCURLOCK, J. M. O.; HUISMAN, W. Miscanthus: european experience with a novel energy crop. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 19, n. 4, p. 209-227, 2000.

LEVER, T.; HAINES, P.; ROUQUEROL, J.; CHARLEY, E. L.; ECKEREN, P. V.; BURLETT, D. J. ITCAC nomenclature of thermal analysis. **Pure Applied Chemistry**, London, v 86, n. 4, p. 545-553, 2014.

LISA, K.; LU, Y.; SALMENOJA, K. Sulfation of potassium chloride at combustion conditions. **Energy and Fuels**, Delaware, v. 13, p. 1184-1190, 1999.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 1200 p.

McLAUGHLIN, S. B.; KSZOS, L. A. Development of Switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 28, n. 6, p. 515-535, 2005.

MAY, A.; SILVA, D. D.; SANTOS, F. C. **Cultivo do sorgo biomassa para cogeração de energia elétrica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 152).

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J. A.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. Bioenergia da cana. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2012. p. 487-517.

MUNIZ, A. R. C.; BERDET, G.; SILVA, L. Potencialidade do capim elefante para a produção de etanol de segunda geração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., Campinas, 2015. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2015.

NOGUEIRA, L. A.; LORA, H. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 200 p.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. BARRETO, E. J. F. (Coord.). **Combustão e gaseificação da biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-63

PHILIPPI JUNIOR.; A.; DOS REIS, L. B. **Energia e Sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2016. 1021 p. Coleção Ambiental. v. 19.

ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. C.; RESENDE, M. D. V.; PEREIRA, A. V.; CARNEIRO, J. E. S. Elephant grass ecotypes for bioenergy production via direct combustion of biomass. **Industrial Crops and Products**, Amsterdã, v. 95, p. 27-32, 2017.

RUIZ, E. T. N. F. **Análise de investimento em projetos Greenfield de bioenergia**. Campinas: Alínea, 2015. 334 p.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e biorrefinaria: cana-de-açúcar e espécies florestais**. Viçosa: UFV, 2013. 551 p.

SEYE, O. **Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schaum)**. 2003. 167 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de química analítica**. 9. ed. Saunders: Editora Cengage Learning, 2005. 1124 p.

TAMANINI, C.; HAULY, M. C. O. Resíduos agroindustriais para a produção biotecnológica de xilitol. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 315-330, 2004.

THOMPSON, M. **Analytical methods committee: CHNS elemental analysers**. London: Royal Society of Chemistry, 2008. Technical Note. n. 29. 2 p.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear**. EPE: Rio de Janeiro, 2016. 417 p.

TSAMBA, A. J.; YANG, W.; BLASIAK, W. Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nuts shells. **Fuel Processing Technology**, Amisterdam, v. 87, n. 6, p. 523-530, 2006.

VASSILIEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, K. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, Amisterdam, v. 89, n. 5, p. 913-933, 2010.

VAZ JUNIOR, S. **Análise química da biomassa**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2015. 196 p.

VAZ JUNIOR, S.; SOARES, I. P. **Química analítica aplicada à agroenergia**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 97 p.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G. A. **Cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética do Brasil**. 2000. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo São Paulo, São Paulo.

VIOLANTE, M. H. S. R. **Potencial de produção de cana-energia em áreas agrícolas marginais no Brasil**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado). Fundação Getúlio Vargas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo.

Embrapa

Tabuleiros Costeiros

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

