

Situação Energética no Estado do Rio de Janeiro e o Capim-Elefante como Fonte Renovável

Energy situation in the State of Rio de Janeiro and Elephant Grass as a Renewable Source

Antonio Alonso Cecon Novo*
 Rogério Figueiredo Daher**
 Ernany Santos Costa***
 Geraldo de Amaral Gravina****
 Juares Ogliari*****

Esta revisão aborda a situação energética no Estado do Rio de Janeiro e também outras fontes alternativas de energia que vêm se destacando, como por exemplo, o capim-elefante. Foi realizado um breve relato sobre as fontes para geração de energia que tiveram um papel importante para o setor energético. Dentre as principais fontes para fins energéticos, o capim-elefante tem sido muito utilizado em pesquisas pela Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF, na obtenção de cultivares mais produtivas para o desenvolvimento econômico principalmente da região Norte e Noroeste Fluminense. Este trabalho destaca as principais fontes de energia, com ênfase para o capim-elefante na matriz energética, com a produção de biomassa para geração de energia.

This paper presents a review of the energy situation in the State of Rio de Janeiro as well as other growing alternative sources of energy such as the elephant grass. The study includes a brief account of the sources for power generation that have played an important role in the energy sector. Among the main sources for energy purposes, the elephant grass has long been used in research at the Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF to obtain higher yielding cultivars for the economic development of the North and Northwest Fluminense regions. This paper highlights the main sources of energy, with emphasis on the elephant grass in the energy matrix, with the production of biomass for power generation.

Palavras-chave: Cultivares. Produção de Biomassa. Energia.

Keywords: Cultivars. Biomass production. Energy.

* Mestrado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor do Instituto Federal Fluminense (IFF) *campus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ – Brasil. E-mail: alonsocecon@hotmail.com.

** Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Professor Associado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil. E-mail: rdaher@uenf.br.

*** Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Professor do Instituto Federal Fluminense (IFF) *campus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ – Brasil. E-mail: ecosta@ifff.edu.br.

**** Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor Associado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil. E-mail: gravina@uenf.br.

***** Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Professor do Instituto Federal Fluminense (IFF) *campus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ – Brasil. E-mail: 1512juares@gmail.com.

1 Situação Energética no Estado do Rio de Janeiro

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME) do Brasil, responsável pela publicação do Balanço Energético Nacional (BEN), em 2014, a produção de energia primária a partir de biomassa lignocelulósica obteve participação de 27,2% na matriz energética do país, sendo considerada a segunda principal fonte de energia, superada apenas pelo petróleo e seus derivados. Em termos de oferta interna de energia elétrica, a biomassa responde por 6,6%, sendo superada apenas pela hidroeletricidade, a qual foi responsável por 81,9% da oferta total.

O Estado do Rio de Janeiro tem um importante mercado de energia. Tal importância é tamanha, que influencia até mesmo o nível de renda e emprego na economia norte-fluminense. Devido a sua natureza, os investimentos energéticos possuem importantes efeitos sobre o produto, a renda e o emprego, sendo tais fatores advindos de elevados volumes e suas características próprias, motivo pelo qual justifica sua elevada importância.

Ao longo da última década, foram viabilizados tecnicamente e implantados no estado do Rio de Janeiro, vários projetos voltados para geração e aumento da energia elétrica, tais como PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) em Calheiros, situada no município de Bom Jesus do Itabapoana; a Hidrelétrica de Simplício, em Itaocara; a Termelétrica de Paracambi; a Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA) e o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj) em Itaboraí e em Itaguaí; a Gargaú Energética (energia eólica), no município de São Francisco de Itabapoana; o Complexo Açú, em São João da Barra; o Polo Petroquímico (PETROBRAS), no município de Campos dos Goytacazes etc.

Dessa forma, o setor energético fluminense foi impulsionado por uma série de ações, projetos e incentivos do governo do estado do Rio de Janeiro, que tiveram papel fundamental na diversificação da Matriz Energética Brasileira, como veremos a seguir.

1.1 Petróleo

O Estado do Rio de Janeiro possui as maiores reservas petrolíferas do Brasil, localizadas nas Bacias de Campos com reservas de 12,4 bilhões de barris. Entre 1980 e 2012, as reservas de petróleo cresceram, em média, 9,8% ao ano no Estado e 7,8% ao ano no País. Em 2012, a vida útil das reservas, determinada pela relação entre as reservas provadas e a produção de petróleo, era de 21,7 anos no Estado do Rio de Janeiro de 20,3 anos para o Brasil (ANP/MME, 2013).

1.2 Gás Natural

Ao contrário do que acontece em diversos países, as reservas de gás natural no Estado do Rio de Janeiro são de 257,2 trilhões de m³ e estão quase todas associadas ao

petróleo, fazendo com que sua oferta dependa ou influencie a produção deste. Uma característica importante dessas reservas refere-se ao fato de elas localizarem-se em águas profundas (reservas *offshore*), dificultando sua exploração (ANP/MME, 2013).

1.3 Energia Elétrica

A capacidade nominal instalada nas centrais elétricas de serviço público do Estado do Rio de Janeiro totalizou 10,4 gigawatts (GW) no ano de 2013. As empresas PETROBRAS, ELETRONUCLEAR e FURNAS concentram, respectivamente, 31,9%, 27,0% e 15,8% da capacidade instalada nas centrais elétricas de serviço público do Estado do Rio de Janeiro. Quanto ao tipo de usina, observa-se que 56,4% da capacidade instalada são de térmicas convencionais, 27,0% são de origem termonuclear, 16,2% hidrelétricas e 0,4% eólicas (ANP/MME, 2013).

1.4 Carvão Mineral

O carvão mineral é um combustível fóssil extraído do subsolo por processos de mineração, que pode ser classificado como carvão energético ou carvão metalúrgico de acordo com o seu conteúdo de carbono fixo, servindo a usos distintos no setor industrial. No Estado do Rio de Janeiro, todo o consumo de carvão mineral é atendido através de importação, tanto do exterior como de outros estados. O Porto de Sepetiba é um ponto estratégico para o recebimento do carvão mineral importado e para o escoamento do produto até as indústrias consumidoras (ANP/MME, 2013).

1.5 Produtos de Cana-de-Açúcar

A produção de etanol (anidro e hidratado) é obtida pelo processamento de cana-de-açúcar nas destilarias anexas e autônomas. Inicialmente, é feita a moagem da cana-de-açúcar para a obtenção do caldo, que nas destilarias autônomas é convertido em etanol. No ano de 2013, a produção fluminense de etanol (anidro e hidratado) foi de 70 milhões de litros de etanol, o que representa apenas 0,5% da produção nacional, o que correspondeu a 7,2% do consumo final energético de etanol no Estado para o mesmo ano. Por sua vez, a produção fluminense de bagaço foi estimada em 898,4 mil toneladas em 2013, sendo destinada ao consumo próprio do setor sucroalcooleiro, para geração de calor e de energia elétrica. Entretanto, este setor não é autossuficiente em energia elétrica e complementa suas necessidades, sobretudo na entressafra, com eletricidade da rede da AMPLA (FERNANDEZ et al., 2013).

1.6 Lenha

A lenha produzida no Estado do Rio de Janeiro tem origem na exploração de florestas plantadas e de florestas nativas remanescentes, e enfrenta restrições tanto por questões ambientais como em função do esgotamento dos recursos florestais disponíveis. Em 2012, foram produzidas 310 mil t de lenha no Estado, das quais apenas 4% foram destinadas às carvoarias para a transformação em carvão vegetal. A maior parte da produção de lenha é direcionada ao consumo, com destaque para o setor residencial (15% do total) e para as indústrias de cerâmica vermelha (13%), metalúrgica (51%) e química (20%) (FERNANDEZ et al., 2013).

1.7 Carvão Vegetal

O Estado do Rio de Janeiro importa carvão vegetal de outros estados para o atendimento do mercado consumidor industrial. Em 2012, foram importadas 70 mil toneladas de carvão vegetal com esta finalidade. O consumo está concentrado nos setores metalúrgico e cimenteiro, representou cerca de 82% e 14%, respectivamente, do consumo final desta fonte em 2012 (FERNANDEZ et al., 2013).

As carvoarias locais tiveram uma produção reduzida, de 2,8 mil toneladas em 2012, que se destina ao atendimento do setor comercial fluminense, sobretudo no ramo de alimentação. Este segmento de consumo teve uma participação de cerca de 4% no consumo final desta fonte em 2012.

Dessa forma, o setor energético fluminense foi impulsionado por uma série de ações, projetos e incentivos do governo do estado do Rio de Janeiro, que tiveram papel fundamental na diversificação da Matriz Energética Brasileira.

1.8 Capim-Elefante

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma Poaceae originária da África Tropical, entre 10° Norte e 20° Sul de latitude, tendo sido descoberto em 1905 pelo Coronel Napier (RODRIGUES et al., 1975). No ato de sua descoberta, o Coronel Napier anunciou ao Departamento de Agricultura da Rodésia (atualmente conhecido com Zimbábue), onde foi avaliado com sucesso por volta de 1910, perpetuando uma de suas variedades com o nome de 'Napier' (MALDONADO, 1955).

Essa espécie de forrageira ocorre naturalmente em vários países, desde Guiné, no oeste, até Moçambique e Quênia, no leste Africano (BRUNKEN, 1977 apud TIMBÓ, 2007). Ela foi inicialmente introduzida nos Estados Unidos, pelo Departamento de Agricultura, em 1913 (JAUHAR, 1981). No Brasil, foram relatadas duas introduções da Poácea, sendo uma no Rio Grande do Sul, com as estacas trazidas dos Estados

Unidos, em 1920; e outra em 1921, no estado de São Paulo, oriunda de Cuba (FARIA, 1994). Hoje, encontra-se difundida nas cinco regiões brasileiras, sendo que a *Panicum* é plantada e cultivada em praticamente todo o território nacional.

É uma das mais importantes forrageiras usadas em regiões tropicais; pode ser utilizada para corte ou pastejo, sendo cultivada em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, devido ao seu elevado potencial de produção de massa seca, valor nutritivo, aceitabilidade, vigor, persistência (PEREIRA et al., 2010) e facilidade de cultivo (ACUNHA & COELHO, 1997). Como é adaptada às condições de clima e solo de praticamente todo o Brasil, tem sido muito utilizada por produtores rurais (LIMA et al., 2008).

No sentido de facilitar o estudo das variedades de capim-elefante, Pereira (1992) classificou-o em cinco grupos como se segue:

I – Cameroon: touceira densa, porte ereto, colmos grossos, predominância de perfilhos basais, folhas largas. Exemplos: Capim Cana D’Africa, Cameroon Piracicaba.

II – Napier: touceira quase aberta, colmos grossos, folhas largas, florescimento intermediário. Exemplos: Napier, Mineiro, Gigante da Pinda, Taiwam A-146.

III – Merker: baixo porte, colmos finos, folhas finas, florescimento precoce. Exemplos: Merker, Merker comum, Merker pinda.

IV – Anão: porte baixo, internódio curto e elevada relação folha/caule. Exemplo: cv Molt.

V – Híbridos Interespecíficos: resultantes de cruzamentos entre espécies de *Pennisetum*.

Segundo Morais (2009), em condições controladas, o potencial de rendimento médio de matéria seca de variedades como Cameroon e Guaçú, entre outros, superam 40 toneladas anuais por hectare, o que corresponde ao dobro da biomassa média produzida pela cultura do Eucalipto.

Mazzarella (2008) relatou que ainda não se sabe ao certo qual é o limite de produtividade do capim-elefante para biomassa energética, porém alguns estudos mostraram que a produção de matéria seca (MS) pode variar entre 30 e 60 toneladas anuais por hectare.

1.8.1 Ecofisiologia do Capim-Elefante

As espécies herbáceas perenes que apresentam o potencial para uma produção anual de grande quantidade de biomassa têm as seguintes características fisiológicas: alta eficiência no processo de conversão da energia solar pela fotossíntese, sistema radicular extenso e profundo, uso econômico da água no solo e necessidade limitada de nutrientes, graças à sua capacidade de retranslocação destes, nas raízes, no final do ciclo vegetativo anual. Essas herbáceas de alta produtividade são, geralmente, de ciclo fotossintético C_4 , que é aproximadamente 40% mais eficiente para a captação de carbono que o

mecanismo C_3 das gramíneas mais comuns de clima temperado (SAMSON et al., 2005). No mundo, as principais espécies utilizadas são *Panicum virgatum* (Switchgrass), *Phalaris arundinacea* (Reed canary Grass), *Miscanthus giganteus* (E-grass), e *Pennisetum purpureum* (Elephant Grass) conhecido no Brasil como capim-elefante (SMEETS et al., 2009).

Na cultura do capim-elefante, para Gomide (1973), o princípio básico da produção de biomassa é a transformação da energia solar em compostos orgânicos, via fotossíntese, para ser convertida em massa verde, inicialmente nas folhas. Paz & Matos (1985) descreveram que nem toda a matéria seca produzida pela planta está nas folhas, mas distribuída entre raízes, parte aérea e órgãos de armazenamento. No capim-elefante o carbono é fixado por meio da formação de maior quantidade de malato e menor de aspartato. Esses dados foram confirmados por meio de avaliações bioquímicas que mostraram que a espécie produz predominantemente malato (GUTIERREZ et al., 1976).

O malato é transportado ao conjunto de células que circunda a bainha do feixe vascular, onde a enzima descarboxiladora predominante é a NADP-málica, que catalisa a formação de CO_2 , $NADPH_2$ e piruvato. A produção de $NADPH_2$ elimina a necessidade de sistemas de fotorredução, permitindo que este opere no ciclo de Calvin (PASSOS, 1999).

A fotossíntese é o processo metabólico mais estudado na cultura do capim-elefante (PASSOS, 1999). Entretanto, segundo Silva et al. (2001), as informações varietais sobre a fotossíntese e características relacionadas são escassas para o capim-elefante, o que torna imprescindível a sua análise, tendo como referência a variabilidade dos materiais genéticos de bancos de germoplasma.

O potencial produtivo do capim-elefante é determinado pela luz, que age no controle do desenvolvimento das plantas, interferindo em seu crescimento por meio do processo fotossintético e na sua diferenciação durante a morfogênese (JAQUES, 1990). Souza et al. (1999) relatam que em geral a baixa intensidade de luz resulta na diminuição na taxa de fotossíntese, na biomassa e na produção, podendo ainda afetar o transporte de fotoassimilados e a relação fonte/dreno em algumas espécies, incluindo o capim-elefante.

A radiação solar é o fator desencadeador da fotossíntese, pois constitui a fonte de energia a ser convertida em biomassa. Porém, os passos bioquímicos dependem também da temperatura, que influencia, por exemplo, na atividade das enzimas e no transporte de compostos fotoassimilados (CORSI, 1976). É evidente e bem reconhecido o efeito da temperatura sobre o crescimento e sobre o desenvolvimento de diversas culturas. E de modo geral este fator parece ser o mais importante (LEMAIRE; AGNUSDEI, 2000). Passos (1999) verificou que, em plantas de capim-elefante, à medida que a intensidade luminosa é reduzida, as curvas de respostas fotossintéticas à temperatura tornam-se menores. Este dado revela que as intensidades luminosas necessárias para saturar a fotossíntese sob temperaturas baixas são menores que aquelas requeridas sob altas temperaturas e reduções na intensidade luminosa terão pouco efeito na taxa fotossintética, a não ser que a intensidade luminosa em si se torne muito reduzida e, portanto, limitante. De acordo com Kerbaui (2008), a fotossíntese em plantas C_4

apresenta bastante eficiência em ambientes quentes e intensamente iluminados, devido à adaptação do mecanismo concentrador de CO₂ presente nestas plantas.

A necessidade de água varia entre as espécies, e de acordo com as condições climáticas e edáficas de uma determinada região. Segundo Pedreira et al. (1998), a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento são fatores que afetam a perda de água pela planta.

A produção de carboidratos solúveis pela fotossíntese e a translocação desses carboidratos na planta sob estresse hídrico estão na dependência, da abertura e fechamento dos estômatos e da atividade dos drenos metabólicos (NASCIMENTO JÚNIOR, 1986). E na maior parte das áreas tropicais, o *deficit* hídrico é o fator mais importante na determinação do crescimento e da produtividade das forrageiras (SUÁREZ et al., 1986).

O estresse hídrico causa severa inibição no processo fotossintético pelos efeitos estomáticos e não estomáticos. O efeito estomático é um evento primário, contribui notavelmente para reduzir as perdas de água durante limitada disponibilidade e, ou, alta demanda evaporativa, o que leva à menor disponibilidade de CO₂ nos espaços intercelulares, reduzindo a sua assimilação nos cloroplastos (FARIA et al., 1996). Já o efeito não estomático está relacionado às alterações nos processos fotoquímicos como a redução no transporte de elétrons, afetando a formação de ATP e NADPH, e nos processos bioquímicos com a redução na eficiência carboxilativa ou na quantidade e atividade da rubisco e de outras enzimas do metabolismo fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Plantas submetidas ao estresse hídrico severo frequentemente apresentam marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por decréscimo significativo do rendimento quântico. Nesse caso, o *deficit* hídrico, em combinação com altos níveis de irradiância, pode causar significativa redução na eficiência da fotossíntese (ORT, 1988).

A água além de ser considerada como uma fonte para o crescimento da planta é também um meio de dissipar o excesso de energia solar recebido pelas folhas para evitar o excesso de temperatura e dessecação do tecido da planta (SMITH, 1975). De maneira geral, todos os aspectos ligados ao crescimento da planta são afetados pelo estresse hídrico (KRAMER, 1983).

A disponibilidade de CO₂ para a fotossíntese depende de sua difusão da atmosfera para o interior dos espaços aéreos do mesófilo foliar. Na presença de quantidades adequadas de luz, altas concentrações de CO₂ atmosférico favorecem elevadas taxas fotossintéticas; todavia baixas concentrações de CO₂ promovem quedas substanciais na fotossíntese (KERBAUY, 2008). Esse comportamento pode ser explicado pelo fechamento dos estômatos, que diminui a disponibilidade de CO₂ ou a baixa capacidade de redução de CO₂ pela rubisco (LOOMIS; AMTHOR, 1999).

À medida que a fotossíntese se desenvolve, o CO₂ consumido da atmosfera intrafoliar é repostado pelo CO₂ atmosférico por difusão. No entanto, quando as plantas começam a perder mais água do que podem absorver, tendem a diminuir o grau de abertura dos estômatos, para reduzir a perda de água e manter seu equilíbrio hídrico (KERBAUY, 2008).

O capim-elefante apresenta taxas de fotossíntese líquida bastante elevadas em altas irradiâncias, em contraste com outras plantas da família Poaceae, com grande capacidade de conversão da energia solar em energia química. É altamente eficiente na fixação de CO₂ (gás carbônico) atmosférico durante o processo de fotossíntese para a produção de biomassa vegetal (GUTIERREZ et al., 1976).

1.8.2 Produção de Biomassa

Muitas pesquisas têm sido conduzidas em vários estados do Brasil, visando identificar cultivares de capim-elefante mais produtivas e mais adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas das regiões brasileiras.

Na região Sudeste, Alcântara et al. (1980) comparando 25 cultivares de capim-elefante em São Paulo observaram o maior rendimento forrageiro da Taiwan A-144 (51.890 kg de matéria seca/ha/ano). Botrel et al. (2000), ao avaliar o potencial forrageiro de 20 clones de capim-elefante, obtiveram produções médias em torno de 30 toneladas de matéria seca/ha/ano. Verificaram também produtividade de 43.195, 31.222 e 25.910 kg/ha/ano para as cultivares Pioneiro, Cameroon e Taiwan A-146, respectivamente em Minas Gerais.

Na região Nordeste, Santana et al. (1989), comparando diferentes cultivares de capim-elefante no Sul da Bahia, observaram que Napier, Mineiro e Cameroon foram as mais produtivas (20.000 kg de matéria seca/ha/ano).

A produção de biomassa seca de capim-elefante varia de acordo com o genótipo, a época de cultivo, a disponibilidade de nutrientes e o tipo de solo, podendo atingir mais de 40 toneladas de matéria seca por hectare anuais (MORAIS et al., 2009; ZANETTI, 2010; FLORES, 2013).

Na região do norte fluminense, Oliveira (2012) avaliou, durante 10 meses, seis genótipos de capim-elefante, encontrou uma média de produção de matéria seca de 35,03 t ha⁻¹. Rossi (2010) em seu estudo na região de Campos dos Goytacazes, ao avaliar o potencial de seis genótipos de capim-elefante encontrou uma média de aproximadamente 28,53 t ha⁻¹ de matéria seca em 10 meses de cultivo. Santos (2013), testando três genótipos, obteve produção média de matéria seca de 26,74 t ha⁻¹ em um período de 10 meses.

1.8.3 Biomassa Vegetal como Fonte de Energia

Atualmente, a maioria dos países, sejam eles desenvolvidos ou não, promovem ações para que as energias alternativas renováveis façam parte de suas matrizes energéticas. A biomassa, como fonte de energia, fornece um terço da energia dos países em desenvolvimento, com uma variação de cerca de 90% em países como a Uganda, Ruanda e Tanzânia, 45% na Índia, 30% na China, de 20 a 26% no Brasil, e de 10 a

15% no México e na África do Sul. Estes percentuais variam muito pouco à medida que esses países consomem mais combustíveis fósseis comerciais (GOMÉZ et al., 2002).

A ameaça real de mudanças climáticas globais e da carência de energia protagonizada pelo fim da era dos combustíveis fósseis devido ao esgotamento das reservas de petróleo, carvão mineral e gás natural, abre a oportunidade para a exploração da energia renovável, especialmente, a produzida a partir da biomassa (EMBRAPA, 2008).

A biomassa é um recurso renovável que provém de matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal, tendo por objetivo principal a produção de energia. É uma forma indireta de aproveitamento da energia luminosa solar, que ocorre pela conversão da radiação solar em energia química através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos. A biomassa vegetal é um termo que engloba a matéria vegetal gerada através da fotossíntese e seus derivados, como resíduos florestais, agrícolas, resíduos animais e a matéria orgânica contida em resíduos industriais, domésticos, municipais etc. Em suma, consiste em toda essa matéria orgânica, que pode ser utilizada como combustível para fornecer energia (NOGUEIRA, 2003).

Uma das vantagens da biomassa é que seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por meio da combustão em fornos, caldeiras, etc. A combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. O problema da combustão direta é a alta umidade (20% ou mais no caso da lenha) e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte. Para que seja aumentada a eficiência e sejam reduzidos os impactos socioambientais no processo de sua produção, estão sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas tecnologias de conversão mais eficientes como a gaseificação e a pirólise em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (ANEEL, 2013).

Gaseificação: como o próprio termo indica, gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão).

Pirólise: a pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão, essencialmente). O processo consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300 °C e 500 °C), na “quase ausência” de ar, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas.

Dentre as vantagens do uso da biomassa está, principalmente, a sustentabilidade, pelo fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos, não contribuindo para o efeito estufa, com o gás carbônico (CO₂), já que o mesmo é absorvido através da fotossíntese, o que não ocorre em outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão, além disso, apresenta um baixo custo de produção (EVANE ROCHA, 2010).

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), calcula-se que dentro de aproximadamente 20 anos, cerca de 30% do total da energia consumida pela humanidade será proveniente das fontes renováveis, que hoje representam 14% da energia produzida no mundo, em que a biomassa tem 11,4% na participação da oferta. O Brasil tem se destacado no mundo com relação à produção de biomassa para geração de energia.

As condições climáticas do Brasil são uma das características que facilitam a produção de biomassa. Segundo Quesada (2005), o Brasil mostra este fato na produção de biomassa tais como o etanol, carvão vegetal e lenha das plantações. O Brasil é um país de clima tropical muito favorável, especialmente às plantas, de metabolismo C₄, que significa favorecer o crescimento de massa vegetal em curto período de tempo, tornando eficiente o aproveitamento da energia solar. Neste contexto, temos as Poáceas que se destacam por apresentarem maior produção de massa vegetal em relação a outros vegetais. O capim-elefante é uma poácea que apresenta grande eficiência na fotossíntese (metabolismo C₄), com elevada capacidade de acumulação de matéria seca, podendo ser comparada à cana-de-açúcar. Ele tem apresentado diante das pesquisas realizadas, enormes vantagens em relação às demais fontes de energia. Apresenta grande produtividade em menores extensões de áreas, menor ciclo produtivo com melhor fluxo de caixa, possibilidade de mecanização total, energia renovável e maior assimilação de carbono (JACQUES, 1997; QUESADA, 2004; MAZZARELLA, 2007).

A Dedini S/A Indústrias de Base (empresa industrial mais conhecida por produzir centrais açucareiras e destilarias de álcool) assinou no dia 18 de julho de 2007, contrato com a Sykue Bionergy Eletricidade, que adiantou o processo de construção e instalação de uma termoelétrica em São Desidério, interior da Bahia (BA). Segundo o superintendente da Divisão de Energia da Dedini, Jayme Schutz, essa é a primeira termoelétrica do país movida somente a capim-elefante, uma energia renovável e limpa, além de mais barata e que precisa de uma área menor de cultivo (REVISTA FATOR BRASIL, 2006; OSAVA, 2007; JORNAL DE SÃO DESIDÉRIO, 2010).

2 Conclusões

O Estado do Rio de Janeiro tem uma grande importância na geração de energia no cenário brasileiro, por gerar boa parte da sua energia consumida.

Devido aos problemas como o aquecimento global (efeito estufa) causado pelo uso de fontes fósseis de energia, não só o Brasil, mas também o mundo está

demandando por um consumo de fontes de energia mais limpa, como, por exemplo, a energia proveniente da biomassa vegetal, que pode ser produzida também através da matéria seca do capim-elefante.

Portanto, vários genótipos promissores de capim-elefante, que apresentam características para produção de biomassa, estão sendo estudados para fins energéticos para o desenvolvimento econômico do estado.

Referências

ACUNHA, J. B. V.; COELHO, R. W. Efeito da altura e intervalo de corte do capim-elefante anão. I. Produção e qualidade da forragem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.32, n.1, p. 117-22, 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. 2013. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 10 out. 2015.

ALCANTARA, P.B.; ALCANTARA, V.B.G.; ALMEIDA, J.E. Estudo de vinte e cinco prováveis variedades de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Boletim da Indústria Animal*, Nova Odessa, v.37, n.2, p. 279-302, 1980.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural 2013*. Rio de Janeiro, 2013. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2013.

BOTREL, M. A.; PEREIRA, A. V.; FREITAS, V. P. Potencial forrageiro de novos clones de capim-elefante. *Rev. Bras. Zootec.*, v.29, n.2, p. 334-340, 2000.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Balço Energético Nacional 2004*: ano base 2003: Sumário Executivo. Rio de Janeiro: EPE, 2004.

BRUNKEN, J.N. A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). *Amer. J. Bot.*, v.64, n.2, p. 161-76, 1977.

CORSI, M. Espécies forrageiras para pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE PASTAGENS, 3., 1976, Piracicaba. Piracicaba, SP: ESALQ, USP, 1976, p. 5-36.

DAHER, R. F.; VÁSQUEZ, H. M.; PEREIRA, A. V. Introdução e avaliação de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 29, n.5, p. 1296-1301, 2000.

EMBRAPA AGROENERGIA. *Focando em soluções*: da biomassa à energia. Plano Diretor Da Embrapa Agroenergia Brasília, DF, 2008.

EVANE, S.; ROCHA, C. R. Eucalipto e Capim-elefante: Característica e Potencial Produtivo de Biomassa. *Revista Agrogeoambiental*, Pouso Alegre: IFSULDEMINAS, v.2, n.1, 2010.

FARIA, T.; GARCIA-PLAZAOLA, J. I.; ABADIA, A.; CERASOLI, S.; PEREIRA, J. S.; CHAVES, M. M. Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology*, v.16, p.115-123, 1996.

FARIA, V. P. de (1994) Formas de uso do capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE CAMPIM-ELEFANTE, 2., 1994, Coronel Pacheco. *Anais...* Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA/CNPGL, 1994. p. 139-148.

FERNÁNDEZ, E. F. Y; ALMEIDA, A. dos S. de; FONSECA, H. R.; FERNANDES, M. C. B. *Balanco Energético do Estado do Rio de Janeiro 2013*.

FLORES, R.A.; URQUIAGA, S.S.; ALVES, B.J.R.; COLLIER, L.S.; ZANETTI, J.B., PRADO, R.M. Nitrogênio e idade de corte na qualidade da biomassa de capim-elefante para fins agroenergéticos cultivado em Latossolo. Semina: *Ciências Agrárias*, v.34, n.1, p. 127-136, 2013.

GÓMEZ, E. O. *Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão*. 2002. (Tese de Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, 2002. 412p.

GOMIDE, J.A. Fisiologia e manejo de plantas forrageiras. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.2, n.1, p. 17-26, 1973.

GUTIERREZ, M.; EDWARDS, G.E.; BROWN, W.V. PEPcarboxilase containing species in the Brachiaria group of the family Panicoidae. *Biochem. Systems Ecology*, 1976.

JACQUES, A. V. A. Caracteres morfológicos e suas implicações no manejo In: CARVALHO, M. M; XAVIER D. F. CARVALHO L. DE A. *Capim-elefante: produção e utilização*. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1997.

JACQUES, A. V. A. Fisiologia do crescimento do capim-elefante. In: SIMPÓSIO DE CAPIM ELEFANTE, 1990, Juiz de Fora, *Anais...* Coronel Pacheco, MG; EMBRAPA-CNPGL, 1990. p. 23-34.

JAHUAR, P.P. *Cytogenetics and breeding of pearl millet and related species*. New York: Alan R. Liss. Lavras:SBZ, 1981. p. 1-32.

JORNAL DE SÃO DESIDÉRIO. São Desidério comemora 48 anos. São Desidério, Bahia, v.1, Edição Zero, fev. 2010. Distribuição Gratuita Disponível em: <http://www.saodesiderio.ba.gov.br/jornal_cidadao/00-2010.pdf>. Acesso em: 21 out. 2014.

KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 2008.

KRAMER, P.J. *Water relations of plants*. New York: Academic Press, 1983. 489p.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEL, M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIER, G., HODGSON, J., MORAES, A., et al. (Eds.). *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. CAB International, 2008. p. 265-288

LIMA, E. S.; SILVA, J. F. C. da MALDONADO, H. V. ; ARAUJO, S. A.C.; LISTA, F.N.; CARNEIRO, R.F.V.; ROCHA, T.C. ; RUIVO, S. C.; DEMINICIS, B. B.; COSTA, D. P. B. (2008) Composição e digestibilidade in vitro de genótipos de capim-elefante aos 56 dias de rebrota. *Archivos de Zootecnia*, v. 57, p. 279-282, 2008.

- LOOMIS, R.S.; AMTHOR, J.S. Yield Potential, Plant Assimilatory Capacity, and Metabolic Efficiencies. *Crop Science*, v.39, p. 1584–1596, 1999.
- MALDONADO, J.A. El pasto elefante o grama elefante *Pennisetum purpureum* (Schum). *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, Tucumán, v.39, n.1-9, p. 22-29, 1955.
- MAZZARELLA, V. *Jornada Madeira Energética: Capim Elefante como fonte de energia no Brasil: Realidade Atual e Expectativas*. Rio de Janeiro: IPT-BNDS, 2007.
- MAZZARELLA, V. *Capim-elefante: A energia renovável moderna*. 2008. Disponível: <www.capim-elefante.org.br>. Acesso em: 9 nov. 2011.
- MENEZES, B. R da S. *Capacidade Combinatória e Estimativas de Parâmetros de Heterose em Genótipos de Capim-elefante para Fins Energéticos*. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, 2014. 109p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. *Balanço Energético Nacional, 2012, Ano Base 2011*. Brasília: Secretaria de Energia, República Federativa do Brasil, 2012.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. *Balanço Energético Nacional, 2013, Ano Base 2012*. Secretaria de Energia, República Federativa do Brasil, 2013.
- MORAIS, R. F.; ZANETTI, J. B.; PACHECO, B. M.; JANTÁLIA, C. P.; BODDEY, R. C.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Produção e qualidade da biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante cultivados para uso energético. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.4, n.2, 2009.
- NASCIMENTO JÚNIOR, D. do. Leguminosas: Espécies Disponíveis, Fixação de Nitrogênio e Problemas Fisiológicos para o Manejo de Consorciação. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE PASTAGEM, 8., 1986. FEALQ, 1986. p. 390-411. *Anais...*
- NOGUEIRA, L.A.; LORA, E. E. S. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 200p.
- OLIVEIRA, E. da Silva. *Varição de Caracteres Morfoagronômicos e da Qualidade da Biomassa em Seis Genótipos de Capim-elefante (Pennisetum purpureum schum.) em Função de Diferentes Doses de Nitrogênio e Análise da Viabilidade Econômica em Campos dos Goytacazes, RJ*. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense. UENF, 2012. 131p.
- OLIVEIRA, M. L. F. *Avaliação Uni e Multivariada de Características Morfoagronômicas para Fins Energéticos e estudo da Diversidade Genética do Capim-elefante com Base em Características Quantitativas e Multicategóricas*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. UENF, 2014. 97p.
- ORT, D.R.; BAKER, N.R. Consideration of photosynthetic efficiency at low light as a major determinant of crop photosynthetic performance. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.26, p.555-65, 1988.
- OSAVA, M. *Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil*. Agrosoft Brasil, 2007. Disponível em: <www.agrosoft.org.br/?q=node/26484>. Acesso em: 27 abr. 2008.

PASSOS, L.P. Fisiologia do capim-elefante: uma revisão analítica. In: PASSOA, L.P., CARVALHO, L.A., MARTINS, C.E. et al. (Eds.) *Biologia e manejo do capim-elefante*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 1999. p. 29-62.

PAZ, L.G.; MATOS, M.M.V.L. A fotossíntese e a produtividade das forrageiras. *Universidade Federal Rural de Pernambuco*, Recife, v.8, n.10, p. 103-20, 1985.

PEDREIRA, C.G.S.; NUSSIO, L.G.; SILVA, S.C. da. Condições Edafo-climáticas para Produção de *Cynodon* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1998. FEALQ, 1998. p. 85-113. *Anais...*

PEREIRA, A. V. (1992) Escolha de variedades de capim-elefante. In: PEIXOTO A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 10., 1992, Piracicaba. *Anais...* p. 45-62.

PEREIRA, A.V.; AUAD, A.M.; LÉDO, F.J.S.; BARBOSA, S. (2010) *Pennisetum Purpureum*. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. (Ed). *Plantas Forrageira*, Viçosa: UFV, v.6, p.197-219, 2010.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V.M.; URQUIAGA, S. Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa. *Circular Técnica* 8, Seropédica, RJ, 2004.

REVISTA FATOR BRASIL. *DEDINI assina contrato de termoelétrica movida à capim-elefante*. 2006. Disponível em: <http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=14691>. Acesso em: 06 out. 2014.

ROCHA, A. dos S. *Estudos de Interação Genótipos por Cortes Semestrais e Correlações em Capim-elefante para Fins Energéticos*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense. 70p.

RODRIGUES, L. R. de A.; PEDREIRA, J. V. S.; MATTOS H. B. de. Adaptação ecológica de algumas plantas forrageiras. *Zootecnia*, Nova Odessa, v.13, n.4, p. 201-218, 1975.

ROSSI, D. A. *Avaliação morfoagronômica e da qualidade de biomassa de acessos de capim-elefante (Pennisetum purpureum, Schum.) para fins energéticos no Norte Fluminense*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2010. 57p.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HOLEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Chicago, v.24, p. 461-495, 2005.

SANT'ANA, J. A. de A. *Efeito da adubação nitrogenada e fosfatada na composição química de genótipos de capim-elefante para uso energético e viabilidade econômica de risco*. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense. UENF, 2013. 74p.

SANTANA, J.R.; PEREIRA, J.M.; ARRUDA, N.G. (1989) Avaliação de cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) no sul da Bahia. 1. Agrossistema cacauzeiro. *R. Soc. Bras. Zootec.*, v.18, n.3, p.273-83, 1989.

- SANTOS, M. M. P. *Otimiza o da aduba o nitrogenada em três cultivares de capim-elefante para fins energéticos no sul do Espírito Santo*. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense. UENF, 2013. 147p.
- SANTOS, M.V.F.; DUBEIX JÚNIOR, J.C.B.; SILVA, M.C.; SANTOS, S.F.; FERREIRA, R.L.C.; MELLO, A.C.L.; FARIAS, I.; FREITAS, E.V. Produtividade e composi o química de gramíneas forrageiras tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.4, p. 821-827, 2003.
- SILVA, M. M. P.; VASQUEZ, H. M.; BRESSAN-SMITH, R. E.; SILVA, J. F. C.; ERBESDOBLER, E. D. Diferenças Varietais nas Características Fotossint ticas de *Pennisetum purpureum* Schum. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.6S, p. 1975-1983, 2001.
- SMEETS, E. M. W.; LEWANDOWSKI, I. M.; FAAIJ, A. P. C. The economical and environmental performance of Miscanthus and Switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, New York, v.13, p. 1230-1245, 2009.
- SMITH, D. *Forage Management in the North*. Dubuque, Iowa: Kendall Hunt Pubs, 1975.
- SOUZA, J.R.P; MEHL H. O.; RODRIGUES, J. D.; PEDRAS, J. F. Sombreamento e o desenvolvimento e produ o de rabanete. *Scientia Agricola* v.56, p. 1-9, 1999.
- SUÁREZ, J.J.; HERRERA, J.; HERRERA, R.S.; RIEGO. In: SISTACHS, M. (Ed.). *Los Pastos en Cuba: producción*. 2.ed. Havana: Edica, 1, 1986. p.417-468.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- TIMBÓ, A. L. de O. *Obten o de Protoplastos de Híbridos Tripl ides entre Capim-elefante e Milheto*. Universidade Federal de Lavras: UFLA, 2007. 44p. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=82222>. Acesso em: 14 nov. 2008.
- ZANETTI, J. B. *Identifica o de genótipos de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schumch.) de alta produ o de biomassa com qualidade para fins energéticos*. Disserta o (Mestrado em Fitotecnia) - Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010. 73 p.

Artigo recebido em: 22 jul. 2015

Aceito para publica o em: 2 fev. 2016