

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA: UMA APLICAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR

GENERATION OF ELECTRIC ENERGY FROM BIOMASS: AN APPLICATION OF SUGAR CANE BAGASS

Maria das Dores Ivana da Silva¹, João Marcus Pereira Lima e Silva ¹

¹Faculdade de Integração do Sertão – FIS, Serra Talhada-PE, Brasil.

Resumo

Diante das demandas atuais por energia uma alternativa viável para substituição do petróleo como fonte primária de energia se faz necessária. O Brasil nos últimos anos tem se mostrado comprometido com a produção de biocombustíveis e de novas fontes limpas e renováveis de energia, em sua maioria provenientes de grandes culturas agrícolas produtoras de cana de açúcar, destinadas a ter competitividade com os combustíveis fósseis. O bagaço da cana de açúcar pode ter um aproveitamento quase que total para ser transformado em energia podendo assim ser dito um recurso totalmente renovável. Neste texto se apresenta um levantamento da utilização do bagaço da cana-de-açúcar como alternativa à geração termoeétrica a combustível fóssil além de evidenciar seu potencial energético. Apresentam-se, também neste trabalho a evolução dos consumos e aumentos de demandas ao longo dos anos para o Brasil, evidenciando a necessidade da exploração de alternativas de geração energética para os próximos anos.

Palavras-Chave: Cogeração. Fontes alternativas. Geração de energia elétrica. Termelétrica.

Abstract

Given the current demands for energy, a viable alternative to replace oil as a primary source of energy is needed. In recent years, Brazil has shown itself to be committed to the production of biofuels and new clean and renewable sources of energy, mostly from large agricultural crops such as sugarcane, aimed at being competitive with fossil fuels. Sugarcane bagasse can be used almost entirely to be transformed into energy and can thus be said to be a renewable resource. This text presents a survey of the use of sugarcane bagasse as an alternative to fossil fuel thermoelectric generation, in addition to highlighting its energy potential. This work also presents the evolution of consumption and increases in demand over the years for Brazil, highlighting the need to explore alternative energy generation for the coming years.

Keywords: Cogeneration. Alternative sources. Electric power generation. Thermoelectric.

Introdução

Desde a segunda metade do século XX, o consumo de fontes de energias fósseis vem crescendo, porém, esses recursos são limitados e altamente poluentes. Deste modo se faz necessário ampliar investimentos em energias alternativas, limpas e renováveis (Campbell 2006).

Entre os vários tipos de biomassa existentes que possam ser utilizados na geração de energia, a cana-de-açúcar apresenta-se como uma matéria prima para a produção de energia bastante vantajosa, pois dela pode-se extrair: o açúcar e o bagaço, até mesmo os seus rejeitos podem ser aproveitados para diversas finalidades como: fertilização do solo, material para indústria de cimento e geração de energia. Tendo em vista que a produção de cana-de-açúcar em 2020 foi estimada em 677,9 milhões de toneladas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), pode-se concluir que a cana-de-açúcar é recurso abundante em que pode ser quase totalmente aproveitado (IBGE, 2020).

É importante ressaltar que todas as fontes de energias causam impactos ao meio ambiente, onde nenhuma pode ser considerada melhor ou pior. Diante da situação atual, no que se refere a produção de energia, a biomassa da cana-de-açúcar se sobressai com inúmeras vantagens se comparado as fontes de energia a base de combustíveis fósseis (UNICA 2007). O Brasil se consolida como um dos países que possuem uma ampla diversidade de matrizes energéticas. Onde a biomassa já se torna a terceira fonte de energia mais utilizada abrangendo tamanha utilização ganhando seu espaço no desenvolvimento energético utilizada (IPEA, 2012).

É também propósito deste artigo: descrever o processo da obtenção da biomassa da cana-de-açúcar; Analisar o meio econômico e ambiental tendo o uso da biomassa resultante da cana-de-açúcar; Analisar o seu potencial em energia elétrica; Analisar a viabilidade de implantação de uma usina elétrica com o uso da biomassa.

BIOMASSA E BIOENERGIA

Bioenergia é a denominação da energia resultante da biomassa que é orgânica de origem animal e/ou vegetal. Essa energia é usada na produção de combustíveis, eletricidade e calor, e é considerada uma fonte de energia alternativa e renovável.

Além do bagaço da cana de açúcar, também são fontes de matéria prima renovável para a biomassa a madeira, os dejetos orgânicos, os produtos agrícolas, os vegetais e as verduras.

Segundo FIGUEIREDO (2007), as fontes de energia renováveis citadas acima são classificadas em quatro categorias: I) culturas, que são os produtos agrícolas, como o milho e os cereais, já cultivados com esse propósito; II) resíduos agrícolas: produzidos durante a colheita e/ou corte de árvores como, as palhas e demais resíduos de madeira; III) subprodutos orgânicos que são sedimentos da agropecuária e originários do processamento da madeira; IV) resíduos orgânicos constituídos por sedimentos domésticos, industriais e alimentares.

A biomassa é definida como matéria orgânica utilizada para produzir a bioenergia, que é renovável, limpa, com custo reduzido e que não produz gases poluentes.

A queima da biomassa, tanto de cana-de-açúcar, quanto de outros materiais, libera gás carbônico, mas a quantidade não afeta a atmosfera.

A biomassa é dividida em três classes: I) biomassa sólida composta por produtos e detritos agrícolas, florestais e biodegradáveis originários das indústrias presentes na área urbana; II) biomassa líquida que é originária das "culturas energéticas" resultando os biocombustíveis líquidos como o etanol e o biodiesel; III) biomassa gasosa que é encontrada nos despojos agropecuários provenientes da indústria e da zona urbana como um todo.

Devido o esgotamento de algumas fontes de energia não renováveis, a biomassa está mais presente nas matrizes energéticas, transformando-se em uma possível alternativa energética de âmbito mundial.

Bale ressaltar que a biomassa utilizada para produzir energia está relacionada a alguns problemas ambientais como o desmatamento, o que causa inúmeros problemas e desequilíbrios ecológicos.

Segundo o diretor científico da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Carlos Henrique, “a bioenergia poderá ser uma solução para os danos provocados ao meio ambiente”.

A geração de bioenergia no Brasil é diretamente ligada a utilização de fontes primárias, como o bagaço da cana-de-açúcar.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação destaca que, nosso país ocupa a segunda posição na produção de bioetanol a nível internacional.

A biomassa é extremamente usada na produção de eletricidade, cerca de 43% da energia produzidas no Brasil provém de fontes renováveis, desse modo, a cana-de-açúcar condiz a 17% da matriz energética brasileira.

ANÁLISE DO MEIO ECONÔMICO

O Brasil goza de uma diversidade considerável em fontes de biomassa, mesmo que nem todas apresentem viabilidade uso em geração de energia elétrica, o que faz deste país um grande potencial para geração termoelétrica usando fontes mais sustentáveis em comparação a países da Europa ou os Estados Unidos. Dentro deste contexto, as fontes de biomassa são classificadas em três ordens: origem florestal, agrícola e rejeitos urbanos e industriais (REZENDE, 2018) ainda enfrentam barreiras no exterior.

As principais barreiras existentes para a maior utilização das energias renováveis são de ordem econômica. Apesar dos avanços em pesquisas, biocombustíveis ainda tem de superar imposições comerciais internacionais. Isso se deve ao fato de custos para se produzir biomassa em outras nações é muito elevado, em comparação ao Brasil. Nos países europeus e também nos Estados Unidos a agricultura é subsidiada e a entrada de produtos estrangeiros mais baratos lhes é prejudicial. Assim, importações são sujeitas a taxas diferenciadas (GUARDABASSI, 2006).

As tecnologias empregadas têm custo de implantação muito alto. Porém, a exemplo positivo disso, tem-se a utilização de etanol como combustível no Brasil, que demandou pesquisas em melhoramento das práticas industriais e agrícolas, levando ao incremento dos índices de rendimento, tornando-o competitivo frente à gasolina (GUARDABASSI, 2006).

Quando comparamos a geração de energia através da biomassa de cana-de-açúcar em relação com o uso de fontes termelétricas como de carvão mineral e de petróleo, constatamos que está oferece inúmeras vantagens.

Segundo o PIX FORCE (2021), podemos exemplificar: I) elevar a competitividade com relação ao custo, uma vez que a cana-de-açúcar já é cultivada para a produção de etanol, o aproveitamento do bagaço para a produção de energia suficientemente executável, o que a torna acessível e competitiva; II) Suprir a sazonalidade das chuvas, uma vez que diferentemente da energia elétrica gerada as hidrelétricas e que depende das chuvas como garantia de manter a margem dos reservatórios, a energia resultante da biomassa da cana-de-açúcar pode fornecer eletricidade nos períodos de seca; III) diminuir os gases do efeito estufa, uma vez que a energia biomassa da cana-de-açúcar é renovável ela minimiza a poluição e aumento do efeito estufa; IV) Gerar empregos através da produção do tipo de energia biomassa, sendo esse um estímulo para a economia nacional, essa geração de emprego é em diversas áreas como na lavoura até nas usinas e terminais de distribuição elétrica. V) Maior disponibilidade e melhor acesso do que a energia resultante das usinas termelétricas.

A utilização de energias renováveis é uma realidade não apenas nacional mas também internacional e a energia biomassa da cana-de-açúcar tem como atrativo o uso de resíduos da fabricação do etanol, viabilizando a geração de empregos o que estimula direta e indiretamente a economia do Brasil.

Materiais E Métodos

O presente trabalho consiste de pesquisa embasada em dados obtidos dos órgãos competentes (ONS, ANEEL, EPE, EMBRAPA), bem como de outras pesquisas acadêmicas

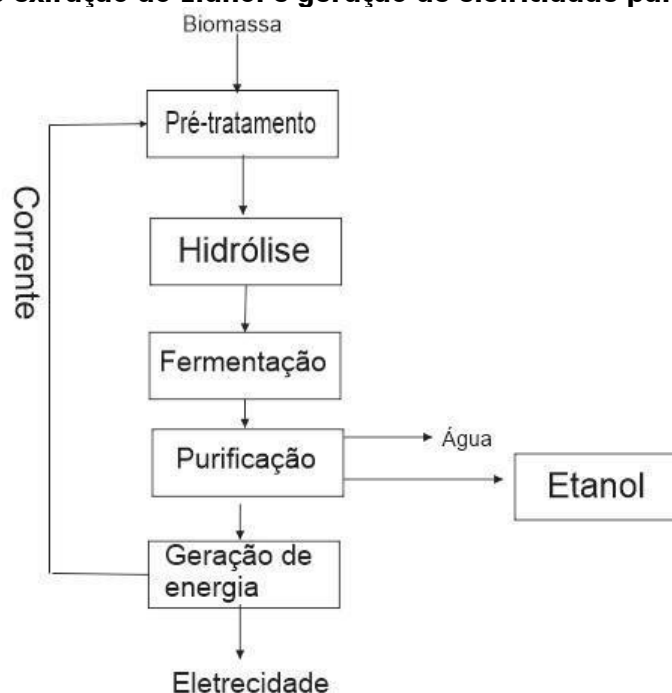
referentes ao uso do bagaço da cana-de-açúcar como elemento de combustão para geração de energia elétrica. A pesquisa busca ainda compreender como se realiza o uso do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil, estabelecendo uma observação diante a relação da tecnologia utilizada durante o processo e o seu impacto econômico e também estabelecer os benefícios ambientais existentes na geração da energia da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar.

Para MAYER (2007), a utilização racional e eficaz de resíduos agro florestais , subprodutos vegetais de cultivos alimentícios e/ou agroindústria é a solução factível na condição de minimizar a exploração de florestas, apesar de possuírem decréscimo de densidade, elevada umidade, aparência geométrica inconveniente e reduzido poder calorífico, desse modo, é primordial utilizar objetos para elevar a eficiência desses insumos, sendo lucrativo devido o custo de obtenção ser mínimos.

A OBTENÇÃO DA BIOMASSA

A biomassa utilizada como fonte provedora de energia constitui um forte indício da possibilidade de usá-la durante o processo de produção de etanol e açúcar no Brasil que é gerada, em sua maior parte, nas próprias usinas a partir da queima do bagaço da cana. Segundo OLIVEIRA (2004). Essa energia é produzida para suprir a necessidade do processo GOMES (2017), explica que o bagaço, de natureza lignocelulósica (estruturas fibrosas compostas principalmente por celulose) é composto por um arranjo em porções variadas de celulose, e é submetido ao processo ilustrado na Figura 1.

Figura1 - Processo de extração do Etanol e geração de eletricidade para proveito das usinas.

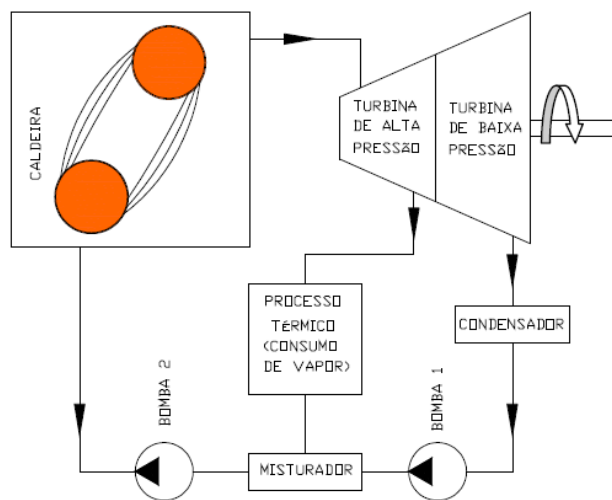


Fonte: GOMES, 2017

No processamento do bagaço da cana-de-açúcar, a primeira etapa é o pré-tratamento que consiste em mecanicamente destruir a estrutura celular das plantas. A hidrólise enzimática é a conversão da celulose à glicose por uso de enzimas. Este processo é de crucial importância na ciclagem de nutrientes, e produção dos demais derivados da cana-de-açúcar. É no processo de fermentação que é realizada a conversão dos açúcares presentes na solução resultante da hidrólise, utilizando a levedura. Neste momento se obtém o etanol combustível. A geração de energia elétrica através da biomassa ocorre no momento seguinte. O bagaço é usado como material combustível para a fornalha que tem o propósito de aquecer o fluido (em geral água) à condição de vapor superaquecido. A Figura 2 ilustra o processo de geração da energia

mecânica com aquecimento do fluido a partir do bagaço da cana-de-açúcar, segundo FLAUSINO (2015).

Figura 2 – Processo de ciclo Rankine para tração de turbina em geração termoeletrica.



Fonte: (FLAUSINIO, 2015)

O processo, de maneira geral, é uma geração termoeletrica padrão tendo por grande diferença a utilização da cana-de-açúcar no lugar do combustível fóssil. (ROMEIRO, 2004) apresenta que é necessário toda uma adaptação tecnológica no projeto para que se possa ter o processo em pleno funcionamento. Isso se deve ao fato de a cana de açúcar produzir quantidades de energia diferentes às do carvão mineral (geralmente mais usado em gerações termoeletricas).

Pode-se exemplificar através da análise realizada pela Agência Internacional de Energia - IEA (2020), que mostra como maior fonte de energia utilizada o petróleo e seus derivados que correspondem por 31,5%, seguido pelo carvão mineral que compreende 26,9%, gás natural que representa 22,8%, a biomassa encontra-se em quarto lugar correspondendo a 9,3%, sem seguida a nuclear compreendendo 5,0%, em penúltimo vem a energia hidráulica com 2,5% e 2,0 da energia gerada é através de outras fontes.

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO

O poder calorífico calculado produzido pelo bagaço da cana varia entre valores de 8,92 MJ/kg até 9,45 MJ/kg. A transformação da energia térmica, proveniente desta biomassa, em mecânica (exemplificada na Figura 2) é realizada por ciclos termodinâmicos, mais especificamente pelo ciclo Rankine, onde o bagaço na caldeira produz o calor necessário para produzir vapor superaquecido (a temperaturas superiores a 700K). Este vapor se expande na turbina e produz trabalho mecânico, acionando um gerador (FLAUSINIO, 2015).

Durante todo processo os valores calóricos foram superiores em níveis diferenciados de umidade, sendo obtido seu aumento conforme a diminuição da umidade. Alterando a umidade de 50% para 0% adquirindo uma elevação energética da ordem de 92%, de modo que 60% são adquiridos através da diminuição da umidade para 20%. Desse modo, pode-se afirmar que o bagaço de cana-de-açúcar com umidade em torno de 20% é considerado mais viável na sua utilização para o rendimento energético. Os processos de secagem possuem alto custo e para fabricação de um bagaço mais seco é necessário uma consumação de energia elevado para sua produção o que pode resultar na inviabilização do processo.

Resultados E Discussões

Diante dos resultados obtidos, a biomassa apresenta grande potencial no que se refere a geração de energia com inúmeras vantagens. É perceptível as melhorias e potencialidades que a mesma apresenta no que se diz respeito a matriz biomassa da cana-de-açúcar, além de se

mostrar satisfatória, como uso de matéria prima renovável, para obter maior aproveitamento e gerar um grande desenvolvimento na cogeração de alta eficiência, como nos mostra o PORTAL BRASIL (2021).

No que diz respeito à sustentabilidade as questões que estão em pauta são: o uso de combustíveis não derivados do petróleo e a aplicação de fontes de renováveis.

A energia renovável é resultante de subsídios naturais que são reabastecidos de forma totalmente natural, mesmo que isso acarrete um período longo de tempo a PIX FORCE (2021) reconhece esse tipo de energia como energia verde e/ou energia limpa, resultante de fontes inesgotáveis. Dentre as fontes mais conhecidas estão: a solar, a eólica e a biomassa.

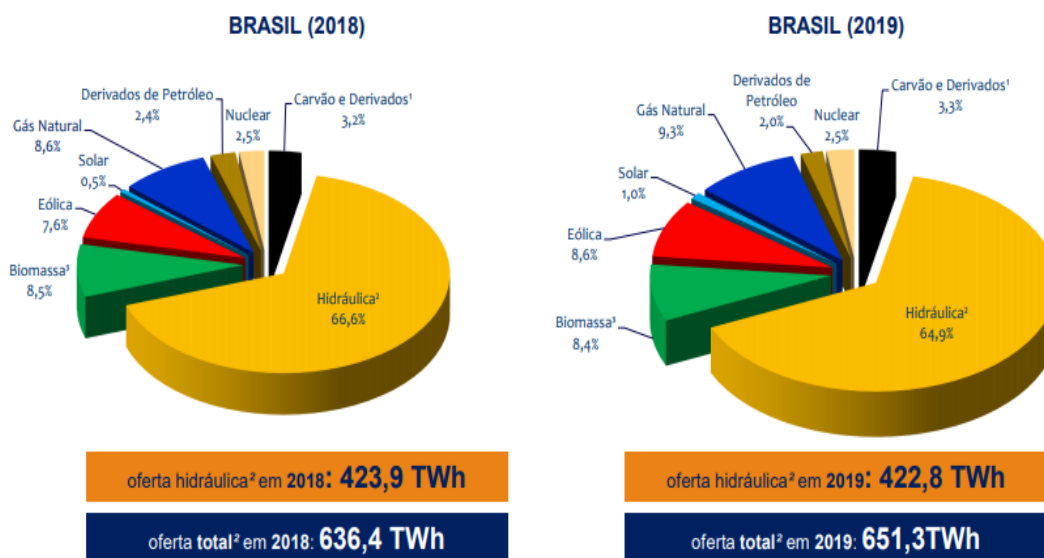
Segundo a PIX FORCE (2021), o Brasil vem se destacando internacionalmente em consequência ao uso de energias renováveis, impreterivelmente em se tratando da produção de etanol no uso automobilístico e eletricidade gerada através dos resíduos da cana-de-açúcar.

Apesar da maior parte da energia do país ser resultante de fontes hidrelétricas e térmicas a utilização da energia biomassa alcançou o terceiro lugar no quesito utilização como mostra o site Portal Brasil, acessado em 20 de julho de 2021.

Partindo dessa observação, a biomassa da cana-de-açúcar se enquadra como uma alternativa viável para a obtenção de energia elétrica, além de ser menos poluente do que as energias não renováveis, uma vez que é utilizada no seu processo resíduos naturais. Deste modo, o uso de resíduo agropecuário e o cultivo de espécies dedicada a produção de biomassa já é uma realidade que ainda anseia por um maior investimento, visto que nas últimas décadas houve o aumento do consumo de energia e diante toda essa evolução precisamos cada vez mais de fontes alternativas de forma a atender essa demanda, de acordo com o Balanço Energético Nacional – BEM (2020).

O consumo final de energia por fonte Brasil (2018-2019), existindo variação na utilização da biomassa, é mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Consumo final de energia elétrica por fonte.

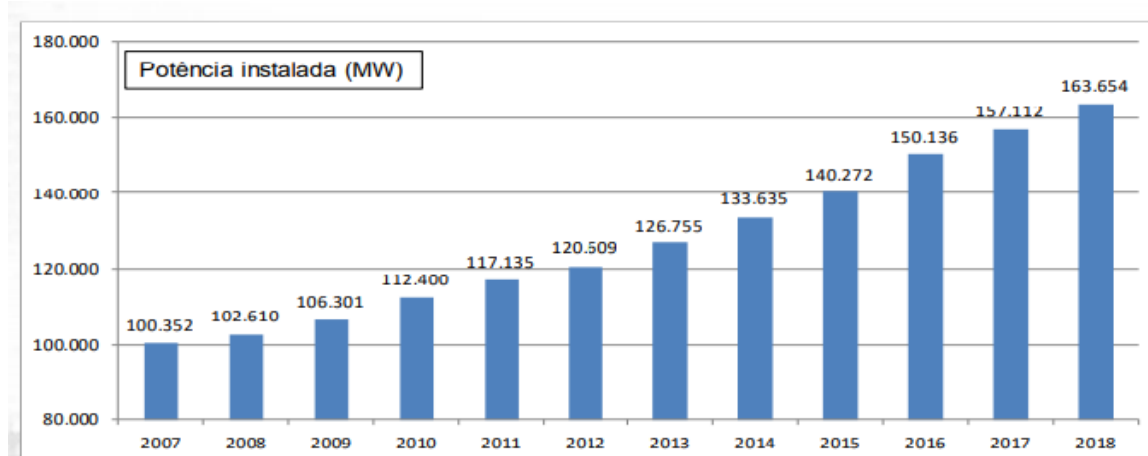


Fonte: EPE, 2019.

As fontes renováveis estão se tornando cada vez mais necessárias na matriz elétrica, devido às preocupações existentes ao meio ambiente. No Brasil em 2007, de acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG), a potência instalada relacionada às energias renováveis como por exemplo, hídrica (energia resultante das águas dos rios), solar (energia do sol), eólica (resultante dos ventos), biomassa (energia resultante a partir da matéria orgânica), geotérmica (energia do interior da Terra), oceânica (energia produzidas pelas mares e das ondas), hidrogênio (energia química da molécula de hidrogênio) foi de 100,352 (MW), e entre o período de 11 anos teve um aumento de 63%, correspondente a 63,302 (MW), resultando em

163,654(MW) segundo o Banco de Informações de Geração – BIG (2018). Podendo ser observado de acordo com a Figura 4.

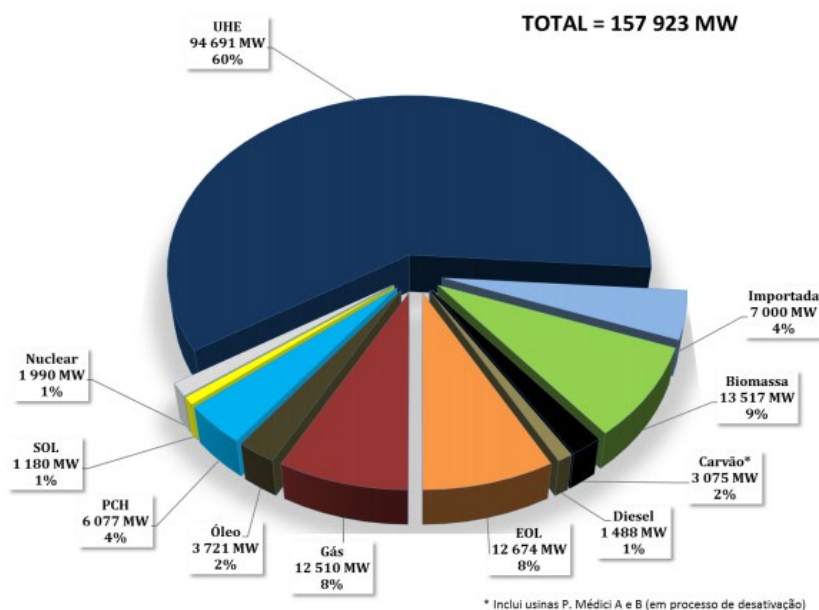
Figura 4 – Aumento da potência instalada das energias renováveis.



Fonte: BIG, 2018.

De acordo com o Plano decenal de expansão de energia (PDE), a potência instalada por cada fonte de energia na matriz energética, se resultou em altas potencialidades, onde será mostrado na figura 5 (EPE, 2018).

Figura 5 – Capacidade instalada em MW



Fonte: PDE, 2027 (EPE, 2018)

A utilização de energia limpa e renovável vem ganhando espaço na Matriz Energética Brasileira. Apesar das vantagens das energias renováveis, elas possuem duas grandes dificuldades: investimento inicial elevado e, em alguns casos, a intermitência no potencial energético (eólica e solar, por exemplo) ao longo do tempo. A biomassa de cana, entretanto, não possui problema de intermitência, pois o bagaço pode ser armazenado para o período da entressafra. Além disso, o custo de geração de energia a partir da biomassa é inferior ao das outras fontes de energia renovável (GOLDEMBERG, 2003).

Porém, vale ressaltar sobre a importância da oferta de biomassa ser próximo ao seu local de consumo, pois quanto mais próximo, menor o seu custo com transporte. Segundo o boletim de abril de 2018 da UNICA (União da Indústria de Cana de açúcar), atualmente a biomassa

representa 9% da potência outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na matriz elétrica do Brasil, como apresentado na Tabela 1 (UNICA, 2018).

Tabela 1 - Fontes utilizadas no Brasil e seus percentuais de utilização.

Fontes energéticas produzidas no Brasil		
Origem	Potência Outorgada (MW)	Percentual
Fóssil	28.619	17,2
Biomassa (em geral)	14.681	8,8
Nuclear	1.990	1,2
Hídrica	107.579	64,6
Eólica	12,561	7,5
Solar	1.133	0,7

Fonte: UNICA (2018)

Com relação à geração de energia através da cana, o setor sucro-energético detém aproximadamente 7% da potência outorgada no Brasil e 77% da fonte biomassa, como mostrado na Tabela 2, sendo a quarta fonte de geração mais importante da nossa matriz elétrica em termos de capacidade instalada, atrás somente da fonte hídrica e das termelétricas a gás natural e eólicas (UNICA 2018).

Tabela 2 - Potência outorgada e percentual das fontes de biomassa utilizadas no Brasil.

Origem	Potência Outorgada	%
Cana de açúcar	11.298	77
Casca de arroz	45	0,3
Biogás	1	0
Capim Elefante	32	0,2
Floresta	3.161	21,5
Resíduos Sólidos Urbanos	135	0,9
Resíduos Animais	4	0
Biocombustíveis Líquidos	5	0

Fonte: Única (2018), dados básicos da ANEEL (2018)

Ao longo dos anos o ser humano vem utilizando fontes intensivas de geração de energia, sendo assim, existem uma grande necessidade de analisar todo o meio de geração de energia através de fontes alternativas em função de suprir a necessidade de forma limpa e renovável.

O bagaço da cana-de-açúcar é considerado uma excelente alternativa na produção de energia limpa, isso se deve ao fato de que é uma biomassa com custo reduzido e que os combustíveis fósseis estão se tornando cada vez mais escassos. Sua produção energética no estado in natura é bom, porém quando é usado de maneira racional se obtém vantagens maiores como a redução do impacto ambiental, minimizando a emissão de carbono e a diminuição do efeito estufa.

O cenário atual, em que o Brasil se encontra, mostra que as fontes de energia renováveis estão assumindo gradativamente um papel mais amplo na matriz energética mundial, Entre as fontes renováveis de energias citadas anteriormente, o bagaço da cana-de-açúcar se destaca como promissor.

Através da pesquisa realizada pode-se afirmar que o aproveitamento energético de bagaço de cana-de-açúcar torna viável a sua utilização para gerar energia efetiva e de maneira sustentável.

Referências

BAJAY, S. VILELA, I. JANNUZZI, G. M. HEIDEIER, R. B. Paccola, J. A. Gomes, R. D. M. Santos, L. G. M. (2018) O avanço da Geração Distribuída, da Eficiência Energética e de outros recursos distribuídos: possíveis soluções e experiências no Brasil e em outros países.

DACHERY, J. M. (2019) Matriz elétrica de Santa Catarina: análise mesorregional e evolução temporal. UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA DA REGIÃO DE CHAPECÓ – UNOCHAPECÓ. (Dissertação de Pós-Graduação).

DACHERY, J. M. (2019) Matriz elétrica de Santa Catarina: análise mesorregional e evolução temporal. UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA DA REGIÃO DE CHAPECÓ – UNOCHAPECÓ. (Dissertação de Pós-Graduação).

DE OLIVEIRA, Anderson Ramos; BRAGA, Marcos Brandão; SANTOS, Bruno Leonardo Santana. (2014) Produção de biomassa de cana-de-açúcar no vale do São Francisco. **Energia na agricultura**, v. 29, n. 1, p. 27-38.

DIAS FIGUEIREDO, Paulo; da Agência Lusa (19 de julho de 2007). «[Biocombustíveis: Brasil vai produzir electricidade a partir de capim](#)» (online). *Jornal de Notícias*. Consultado em 1 de outubro de 2013

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN): Ano base 2019. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf> Acessado em: 08 de abril de 2021.

FALUSINIO, B.F.P.G. (2015) Produção De Energia Elétrica A Partir Do Aproveitamento Do Bagaço De Cana-De-Açúcar Gerado No Setor Sucroalcooleiro De Minas Gerais. (Tese de pós Graduação). UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG.

GOMES, F. D. et al. (2017) Processo de obtenção de álcool de segunda geração a partir de material lignocelulósico. **BlucherChemicalEngineeringProceedings**, v. 4, n. 1, p. 38-43.

GOVERNO DO BRASIL, Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira. Disponível em <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>> Acessado em : 15 de maio de 2021.

GUARDABASSI, P. M. Sustentabilidade da Biomassa como Fonte de Energia: Perspectivas para Países em Desenvolvimento. 2006. 123p. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

MAYER, F. D.; CASTELLANELLI, C.; HOFFMAN, R. Geração de Energia Através da Casca de Arroz: Uma Análise Ambiental. Em: Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (XXVII ENEGEP), Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA/EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA: MME/EPE, Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-50/topico-87/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202021.pdf> Acessado em :06 de abril de 2021.

REZENDE, Bianca X. Estudo da viabilidade da utilização de biomassa para geração de energia elétrica; Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Ciências Exatas e Aplicadas.

UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. BOLETIM. Disponível em: <<https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Numeros-da-Bioeletricidade-em-2018-UNICA.pdf>> Acessado em: 13 de maio de 2021.

VIOLANTE, Mauro Henrique Salgueiro Rodrigues. Potencial de produção de cana-energia em áreas agrícolas marginais no Brasil. Dissertação (Mestrado Profissional em Agronegócios) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas - FGV, São Paulo, 2012 .

<https://www.gov.br/pt-br/categorias?id=energia-minerais-e-combustiveis>, acesso em 20 de julho de 2021.

Recebido em: 20/08/2021

Aprovado em: 15/09/2021