



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**ANDRÉ LUIZ PETRINI MERCANTE**

**Geração de bioeletricidade, através do bagaço e da palha  
da cana-de-açúcar**

**ARARAS - 2020**



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**ANDRÉ LUIZ PETRINI MERCANTE**

**Geração de bioeletricidade, através do bagaço e da palha  
da cana-de-açúcar**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia  
Agrônoma – CCA – UFSCar para a obtenção do  
título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Octavio Antonio Valsechi

**ARARAS - 2020**

**Dedico esse trabalho a Deus e a toda minha família e amigos, que sempre me deram força e acreditaram em mim. Especialmente aos meus pais João Luiz Mercante e Fátima Aparecida Petrini Mercante, exemplos de honestidade, valores e princípios, os quais levo por toda minha vida.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por mostrar o caminho e dar a força e a coragem para vencer os obstáculos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Octavio Antonio Valsechi, por ter aceitado me orientar, pela confiança depositada em mim, pelos ensinamentos, dedicação, sinceridade e conselhos compartilhados para a conclusão desse trabalho;

Aos membros da banca examinadora;

A todos os amigos e amigas da XXI turma de Engenharia Agrônômica e aos da UFSCar Araras, dos quais jamais vou esquecer por tudo que passamos juntos, sempre unidos tanto nas horas difíceis como nas boas;

Aos grandes amigos: “Luiz Fiapo”, “Alex China”, “Dedé”, “Kuririn”, amigos dos “Biriguis” e da república “Trem Q’ Pula”, os quais tenho no coração pela união e amizade sincera;

Ao Centro de Ciências Agrárias - UFSCar, pelo apoio no aprendizado e capacitação profissional;

Finalmente, gostaria de registrar um agradecimento todo especial de extrema importância na minha vida: meus pais João Luiz Mercante e Fátima Aparecida Petrini Mercante.

## RESUMO

Os problemas do uso de energias não renováveis e a necessidade de se buscar alternativas renováveis, que são menos nocivas ao meio ambiente e importante para atender à crescente demanda de energia, fazem com que diversos países se empenhem em desenvolver novas tecnologias, através de pesquisas e estudos, com o objetivo de substituir o uso de energias não renováveis, seguindo uma nova ordem mundial que busca repensar as formas de obtenção e geração de energia elétrica preservando o meio ambiente. Esse trabalho apresenta a capacidade de geração de bioeletricidade através do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, e seu potencial para garantir a alta eficiência da cogeração de energia nas usinas. A biomassa da cana-de-açúcar oferece muitas vantagens que contribuem para preservação do meio ambiente no futuro. A cogeração de energia, a partir do bagaço e da palha da cana, apresenta-se como uma boa alternativa para matriz energética brasileira. Existem ainda outras vantagens na utilização do bagaço para geração de energia, como a agregação ao sistema de uma energia de baixo custo, imune a variações cambiais e do preço do petróleo. O bagaço e a palha da cana podem vir a ser componentes ainda mais importantes na matriz energética brasileira, sendo que potencial para isso já existe.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar; bioeletricidade; cogeração; bagaço; palha; energia elétrica.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Evolução da área total colhida da cana-de-açúcar. ....	14
<b>Figura 2</b> - Evolução da produção de cana-de-açúcar.....	15
<b>Figura 3</b> - Diagrama do aproveitamento da cana. ....	18
<b>Figura 4</b> - Capacidade instalada de geração, por combustível, Brasil, setembro de 2020 (MW e %). ....	24
<b>Figura 5</b> - Potência outorgada, fonte biomassa – em operação comercial (MW). ....	25
<b>Figura 6</b> - Bioeletricidade para a rede, por Estado, janeiro a julho de 2019 e 2020 (MWh e % do total).....	26

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Energia gerada e custo de implantação das usinas por MWh. ....	19
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros utilizados e resultados da simulação do uso combinado de bagaço e da palha para geração de eletricidade.....	21
<b>Tabela 3</b> - Análise imediata dos constituintes da palha e do bagaço da cana.....	22
<b>Tabela 4</b> - Geração de Bioeletricidade sucroenergética, 2010 a 2019 (GWh).....	27

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. História da Cana-de-Açúcar.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2. Cana-de-Açúcar no Brasil.....</b>	<b>13</b>
<b>3. BAGAÇO DA CANA .....</b>	<b>16</b>
<b>4. PALHA DA CANA .....</b>	<b>20</b>
<b>5. GERAÇÃO E COGERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE .....</b>	<b>23</b>
<b>6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES .....</b>	<b>28</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos e energia tem se tornado um desafio aos grandes centros de produção e consumo, devido a um cenário formado pelo crescimento populacional e enriquecimento de países em desenvolvimento. Além disso, discussões relacionadas à mitigação de impactos ambientais e sobre a minimização das emissões de gases do efeito estufa, reforça a necessidade de obtenção de fontes alternativas, limpas e renováveis de energia. Nesse sentido, a busca por outras fontes e formas de geração de energia e a diversificação da matriz energética do Brasil são crescentes e providenciais, com destaque à energia termelétrica como a substituta primária à fonte hidrelétrica no País.

A biomassa da cana-de-açúcar vem se mostrando como principal matéria-prima utilizada nas usinas termelétricas por ser um recurso renovável e com elevado potencial de geração de energia elétrica. Dentre os subprodutos da cana, podemos citar o bagaço, o qual é o mais utilizado para cogeração de bioeletricidade, e a palha, que vem se mostrando como um aditivo para ser queimado junto ao bagaço que possui alto potencial de geração de energia.

Diante deste contexto, fica evidente a importância do uso dos subprodutos da cana-de-açúcar, como o bagaço e a palha, para a cogeração de bioeletricidade.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. História da Cana-de-Açúcar

O primeiro contato com a cana-de-açúcar foi em Nova Guiné, e de lá foi levada à Índia, de onde se tem os mais antigos registros sobre sua existência. Por volta de 327 a.C., nas campanhas de Alexandre Magno na Índia, foi descoberta uma espécie de bambu que produzia mel sem a intervenção de abelhas e, ainda, servia para preparar uma bebida inebriante, conforme Henrique Parreira, historiador português. Foi na região do Mediterrâneo que se iniciou o cultivo da cana-de-açúcar no Ocidente. No século XV, a produção de açúcar no Sul da Europa teve um aumento significativo em sua produção, já que o produto era artigo de primeira necessidade para os trabalhadores e a classe média dos países em processo de urbanização e industrialização. A cana-de-açúcar floresceu em termos de produtividade, quando foi levada para as ilhas da Madeira, às Canárias e, depois, com maior intensidade quando levada ao Brasil e ao Caribe (PÁDUA, 2013).

O Brasil colonial surgiu em função do pau-brasil. Mas cabe à introdução da cana e dos engenhos para produção do açúcar a responsabilidade de transformar a colônia em um país. Os engenhos surgiram ao longo da costa brasileira, com o uso de trabalho escravo. A produção de açúcar cresceu rapidamente, pois em 1570 havia 60 engenhos no Brasil e, em 1630, eram 350, produzindo mais de 20 mil toneladas por ano (SCHAWRTZ, 2013).

O Brasil hoje é o maior produtor de cana-de-açúcar, desde o plantio até a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade. A cana-de-açúcar permitiu ao longo do tempo, a geração de empregos, o aumento da renda da população e das empresas sucroalcooleiras.

Desde a Revolução Industrial o homem tem provocado um crescimento drástico das emissões de gases que provocam o chamado “efeito estufa”, para atmosfera da Terra. Esses gases possuem a capacidade de reter o calor e desequilibrar o equilíbrio climático de nosso planeta. Esse fato decorre do uso intensivo de recursos fósseis – carvão, petróleo e gás natural -, bem como da destruição de florestas e ecossistemas. (CORNEJERO, 2006). A cogeração de energia, a partir do bagaço e da palha da cana, mostra-se ser uma boa alternativa

para matriz energética brasileira, diante dos problemas enfrentados no fornecimento de energia elétrica, evidenciados pela imposição de racionamento em 2001/2002 (BACCARIN, 2001).

Na atualidade, praticamente toda cana-de-açúcar produzida no Brasil é transformada em etanol ou açúcar. Após a extração do caldo da cana, o que sobra é uma biomassa de alto valor energético chamada bagaço. Normalmente, esse bagaço é queimado em caldeiras para geração de energia elétrica, a qual é consumida nas próprias usinas e o excedente é vendido para outros consumidores ou concessionárias de energia elétrica. A utilização da palha para queima junto ao bagaço, apresenta grande potencial energético que, se aproveitado, pode tornar a produção de bioeletricidade mais atrativa no setor energético.

A biomassa é uma das fontes de produção de energia elétrica que mais vem crescendo nos últimos tempos, principalmente a biomassa residual, provenientes dos resíduos da cana de açúcar, reduzindo a utilização de combustíveis fósseis por ser considerada um recurso natural renovável. Ela garante o fornecimento de energia e ajuda na diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A geração de energia através dos subprodutos da cana permite uma agregação ao sistema de uma energia de baixo custo, o qual é imune a variações cambiais e do preço do petróleo. Nas usinas, além de fonte adicional de receita, a cogeração representa a oportunidade de renovação da planta industrial, permitindo o investimento em novas máquinas e equipamentos mais modernos e eficientes.

## 2.2. Cana-de-Açúcar no Brasil

Desde a introdução em solo brasileiro, a cana-de-açúcar vem provocando impactos socioambientais diferenciados no tempo e no espaço devido aos aspectos políticos e econômicos, características físicas dos diversos ambientes por onde se propagou e diferentes técnicas e tecnologias empregadas. No passado, matas foram desmatadas para a implantação de engenhos e de usinas. Os corpos d'água serviam de abastecimento para produção sucroalcooleira. Os solos foram usados intensamente, desgastados pela erosão e modificados através da utilização de adubos para o cultivo da cana.

Com o aumento da produção de etanol, sob incentivo do Proálcool, aumentou a produção de vinhaça, a qual era lançada sobre os campos e atingiam os lençóis freáticos, causando um impacto ambiental. O uso do fogo era comum para queimar a palha que ficava no solo, causando impactos ambientais ao solo, atmosfera e à saúde da população. Com isso, a preocupação com os impactos da atividade sucroalcooleira e as discussões sobre o clima mundial e o meio ambiente ganharam força em meados de 1990.

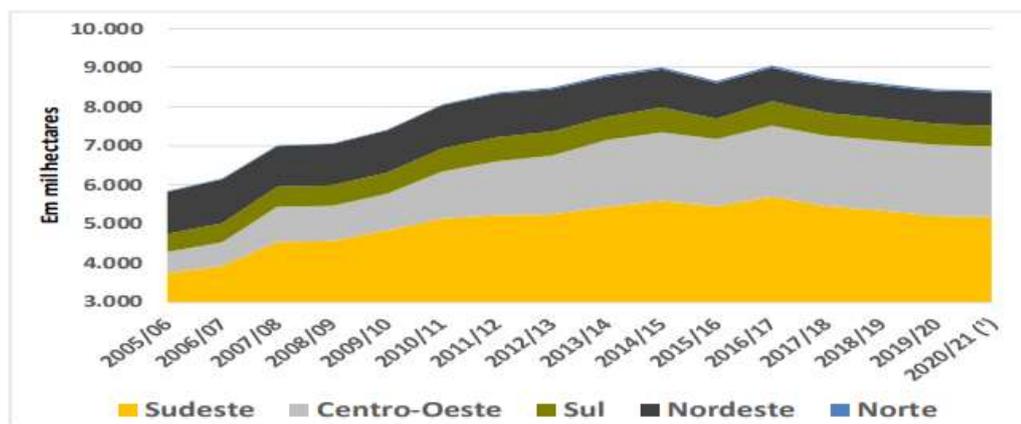
O uso de colheitadeiras mecanizadas possibilitou a eliminação do uso do fogo nos canaviais, porém as máquinas operam apenas em áreas com declividade até cerca de 12%. Foi necessário um investimento em tecnologias de tratamentos dos efluentes líquidos, controle das emissões atmosféricas e o reuso da água e dos subprodutos da cana.

Desde o período colonial, a expansão da economia canavieira havia estabelecido uma divisão regional: o Norte/Nordeste e o Centro Sul. Devido as diferenças de produção entre as divisões, como os sistemas de irrigação, tipo de colheita, a região Centro Sul se tornou mais eficiente em termos de produção, devido a suas áreas mais planas e mais tecnologias. Atualmente, a agroindústria do açúcar e a indústria sucroalcooleira se transformaram em uma agroindústria sucroenergética, onde a geração de energia elétrica através da biomassa da cana-de-açúcar se tornou cada vez mais relevante. A produção de açúcar, álcool e energia vem sendo comum entre as usinas brasileiras.

A previsão de safra da cana-de-açúcar de 2020/21, indica uma diminuição de 0,1% em relação à safra anterior. Segundo a CONAB (2020), serão colhidas cerca de 642 milhões de toneladas. Os dois principais produtos da cana-de-açúcar são o etanol, com produção estimada em 30 bilhões de litros, e o açúcar, que possui estimativas de produção em cerca de 39 milhões de toneladas.

A área de colheita em terras brasileiras teve um crescimento significativo de 2005 até 2015. De 2015 para 2020, a área colhida se estabilizou com reduções mínimas que ocorreram de ano pra ano.

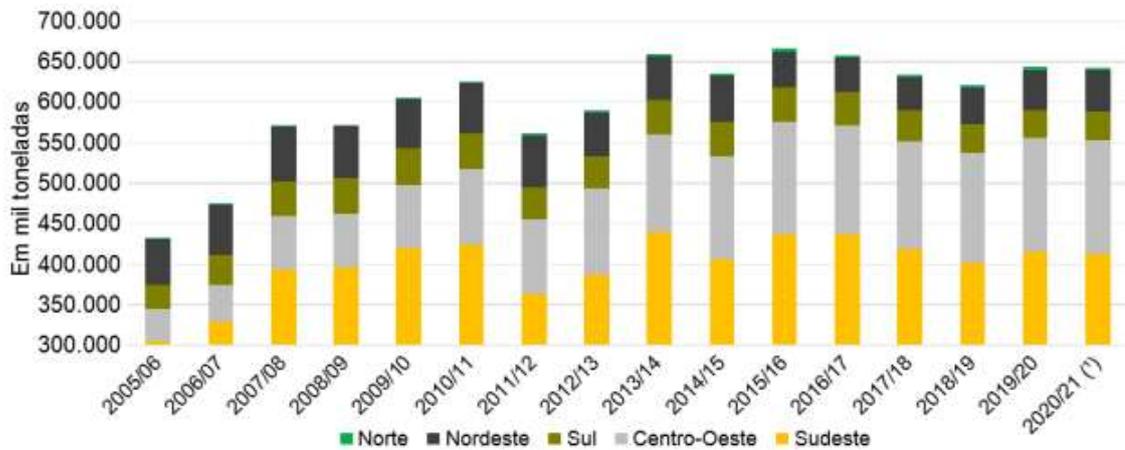
**Figura 1** - Evolução da área total colhida da cana-de-açúcar.



**Fonte:** CONAB, 2020.

A Região Sudeste sofreu uma pequena queda na área colhida em relação à safra 2019/20. A projeção para a safra atual é que sejam dispostos 5.174 mil hectares. No Centro-Oeste, também houve uma queda, resultando em cerca de 1.811,9 mil hectares. Na Região Nordeste, houve um incremento na área de produção, com estimativas de 857,6 mil hectares. No Sul houve uma maior queda em relação à safra passada, com estimativas de 520,4 mil hectares para safra atual. Na Região Norte, os números chegam a 45,3 mil hectares, indicando uma queda em relação ao ano anterior.

Apesar da estimativa de redução da área de produção, a expectativa para safra 2020/21 em relação a quantidade produzida de cana é bem próxima à da safra passada. São esperadas cerca de 642.069,7 mil toneladas de cana-de-açúcar, 0,1% a menos em comparação ao total produzido em 2019/20 (CONAB, 2020).

**Figura 2 - Evolução da produção de cana-de-açúcar.**

**Fonte:** CONAB, 2020.

Na Região Centro-Sul, onde a colheita está mais avançada, é prevista uma produção de 587.275,5 mil toneladas de cana-de-açúcar, a qual representa cerca de 92% da produção nacional. Os maiores estados produtores de cana em destaque são: São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, respectivamente. Na Região Norte-Nordeste, como a época de colheita é de agosto a março, a região tem uma dinâmica diferente de produção e das operações pertinentes a ela. Estimativas são de que sejam colhidas 54.794,2 mil toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2020).

Os principais produtos comercializados da cana-de-açúcar são o açúcar e o etanol. Porém, decorrente dos processos industriais envolvidos para obtenção dos mesmos, há a origem de alguns subprodutos que podem ser utilizados para produção de biogás e bioenergia. A palha é um subproduto proveniente da matéria prima. O bagaço é um resíduo gerado na etapa de extração do caldo da cana. A vinhaça e a torta de filtro são resíduos poluentes provenientes da destilação e clarificação do mosto. Neste trabalho, o foco para obtenção de bioeletricidade está voltado para o bagaço e a palha da cana-de-açúcar.

### 3. BAGAÇO DA CANA

O bagaço é um material obtido após a moagem da cana-de-açúcar para extração do caldo e produção de açúcar e etanol. Através da queima desse material em caldeiras, é possível produzir bioeletricidade, tornando as usinas de cana-de-açúcar autossuficientes em energia elétrica (CERQUEIRA et al, 2010).

O bagaço, após ser moído, possui cerca de 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas, de 2 a 3% de sólidos insolúveis e de 2 a 3% de sólidos solúveis. É um material completo, constituído de celulose, hemicelulose e lignina, responsáveis pelo seu elevado valor energético (SANTOS et al, 2012).

A quantidade de bagaço produzida após a moagem depende fundamentalmente do colmo de cana-de-açúcar, cujas características físico-químicas variam segundo fatores como a variedade da espécie plantada, a idade da cultura e seu estágio de corte, o clima, o solo, o uso ou não de vinhoto na fertirrigação do campo, entre outros. Contudo, de acordo com estudos da CONAB (2011), o material genético em uso no país apresenta um teor aproximado de 0,270t a 0,290t de bagaço (com 50% de umidade) em cada tonelada de cana processada. Do total produzido nas unidades de produção, uma parcela diminuta (próxima a 10%) é destinada a usos diversos, como a alimentação animal, em especial através de um processo de hidrólise. Toda a parte restante (90%) é queimada em caldeiras no próprio ambiente onde é produzida para a geração de vapor (CONAB, 2011).

A produção do bagaço se inicia na fase de recepção da matéria prima após a extração do caldo e enviado para as caldeiras de combustão. O excedente do bagaço é enviado a um pátio de estocagem. O estoque de bagaço sempre gera pequenas perdas devido a ação de fungos e/ou bactérias degradantes de matéria prima. Fungos da classe dos *Basidiomicetos* causam deterioração, causando podridão parda, destruindo a parede celular e, podridão branca, causando a destruição da lignina (RAAD et al, 2006).

A queima do bagaço nas caldeiras produz a energia que movimenta os equipamentos das usinas, podendo gerar energia excedente que pode ser vendida para as distribuidoras de energia elétrica. O uso do bagaço é responsável pela autossuficiência das usinas sucroalcooleiras no Brasil, em relação à energia elétrica;

pois inclusive na entressafra, parte do bagaço armazenado é utilizado para gerar energia (SOUZA, 2006). A discussão sobre o aproveitamento do bagaço está na possibilidade de diminuir os custos da usina e os impactos ambientais causados por ela (COSTA, 2010).

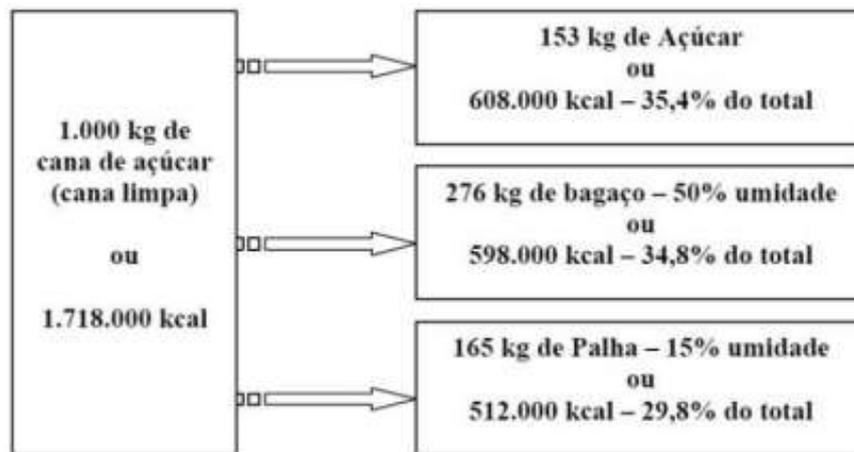
Uma típica central termoelétrica a bagaço de cana-de-açúcar é composta de vários sistemas: caldeira, turbina, gerador elétrico, subestação elevatória e o sistema de transmissão de energia, além de um conjunto de sistemas periféricos como alimentação da caldeira, sistemas de refrigeração de mancais do turbogerador etc. (MATEUS, 2010). As termelétricas que usam o bagaço de cana servem como um sistema complementar à produção de energia elétrica a partir de recursos hídricos. Isto porque a produção de excedente de energia elétrica transformou o setor sucroalcooleiro em um produtor independente de energia.

No início de 2020, o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) da energia elétrica gerada pelo bagaço de cana estava em torno de US\$45,00 o megawatt. Já no final de março, o preço despencou para ao redor de US\$23,00 (LORENZON, 2020). A queda é um efeito da menor demanda entre os grandes consumidores de energia elétrica e outros setores da economia, um quadro que pode se agravar devido à pandemia do Covid-19.

O uso da biomassa do bagaço para gerar energia produz algumas vantagens como o baixo custo de aquisição, não emite dióxido de enxofre, suas cinzas são menos agressivas ao meio ambiente, é um recurso renovável, há uma menor corrosão dos equipamentos industriais e contribui menos para o efeito estufa. Apesar dos combustíveis fósseis como petróleo, carvão ou gás natural, também serem derivados de matéria orgânica, eles precisam de milhares de anos para serem gerados e por isso não são considerados biomassa, pois não são recursos naturais renováveis a curto prazo (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008). Porém existem algumas desvantagens pois a biomassa do bagaço produz menos energia devido ao seu baixo poder calorífico e há maior chance de geração de material particulado para a atmosfera, sendo assim necessário um investimento maior nas caldeiras e equipamentos para remoção da emissão. O bagaço de cana-de-açúcar é uma biomassa muito utilizada, que pode ser transformada quase que totalmente em energia renovável, com baixo impacto ambiental.

Como podemos observar na Figura 3, para cada tonelada de cana é gerado cerca de 153 kg de açúcar, 276 kg de bagaço e 165 kg de palha. Em termos energéticos, observamos que 1 tonelada de cana equivale a aproximadamente 1.718.000 kcal, onde 608.000 kcal vem do açúcar, 598.000 kcal do bagaço e 512.000 kcal da palha.

**Figura 3** - Diagrama do aproveitamento da cana.



**Fonte:** International Sugar Journal/DEDINI apud NOVACANA, 2017a.

Além de atender as necessidades de energia das usinas, desde a década de 1980, o bagaço tem permitido a geração de excedentes de energia elétrica que são fornecidos para o sistema elétrico brasileiro (SOUZA, 2012). A participação dessa fonte de biomassa na matriz elétrica é importante, porque a safra da cana-de-açúcar coincide com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. A eletricidade fornecida neste período auxilia, portanto, a preservação dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas (ANEEL, 2008).

Segundo Dantas Filho (2009), foi estimado o potencial de geração de energia através do bagaço da cana-de-açúcar em 2 usinas semelhantes. Ambas usinas têm capacidade de processar cerca de 2,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, comercializam a energia excedente para as redes. Como podemos observar na Tabela 1, as duas usinas têm capacidade de geração de aproximadamente 400 mil MWh, com pouca diferença entre o custo de geração de energia.

**Tabela 1** - Energia gerada e custo de implantação das usinas por MWh.

<b>Usinas</b>	<b>Energia Gerada (MWh)</b>	<b>Custos (R\$/MWh)</b>
Santa Isabel	455.040	260,42
Cerradinho	378.000	272,49

**Fonte:** adaptado de Dantas Filho, 2009.

A evolução tecnológica dos equipamentos industriais utilizados para a geração de energia torna esses equipamentos mais caros, mas contribui para o aumento da capacidade de geração de energia, melhorando a eficiência do processo em geral.

#### 4. PALHA DA CANA

A palha é um subproduto gerado antes da colheita da matéria-prima, com a planta da cana-de-açúcar ainda no campo, composta por folhas verdes, folhas secas e pelas pontas da cana (HASSUANI et al., 2005). A palha geralmente fica depositada sobre a cultura, porém em alguns lugares ainda é queimada. As partes da palha são constituídas de celulose, hemicelulose, lignina e algumas matérias orgânicas (CORTEZ, 2006). As queimadas de palha que ainda ocorrem em alguns canaviais, geram a emissão de poluentes atmosféricos (hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxido nitroso), causando riscos ao meio ambiente (PAOLIELLO, 2006).

A palha, quando deixada no solo, o protege contra erosões, reduz sua exposição e preserva sua funcionalidade (UNICA, 2010). A palha também é responsável por auxiliar na formação da fauna microbológica do solo, aumentando o teor de carbono no mesmo, representando um importante aporte de nutrientes e sua disponibilidade para as plantas, aumentando assim a fertilidade do solo (LUCA et al., 2008). A redução no uso de herbicidas é observada, pois a palha dificulta o crescimento de plantas daninhas (RONQUIM, 2010). A palha, além das contribuições ao solo, com ela no campo também colabora com a redução na emissão de CO<sub>2</sub>, resultando na diminuição da liberação de gases do efeito estufa (FIGUEIREDO, 2011). Porém, atualmente a palha vem sendo estudada como um aditivo para a queima junto ao bagaço em caldeiras para a geração de bioeletricidade.

Um estudo realizado por Mello (2007), analisou o potencial de geração de energia com a queima somente do bagaço e do bagaço com a palha, em duas turbinas de extração-condensação usadas para geração de energia que trabalham em pressões e temperaturas diferentes. Na Tabela 2, podemos observar que a queima da palha junto ao bagaço possui uma maior capacidade de geração de eletricidade.

**Tabela 2** - Parâmetros utilizados e resultados da simulação do uso combinado de bagaço e da palha para geração de eletricidade.

Parâmetro	Unidade	Caso A	Caso B
Pressão do vapor	bar	65	92
Temperatura do vapor	°C	510	520
Demanda de vapor no processo	kg/t <sub>cana</sub>	342-402	342-402
Consumo eletricidade (processo eletrificado)	kWh/t <sub>cana</sub>	32	32
Eficiência nominal da turbina a vapor	%	85	87
Eficiência nominal da caldeira	%	88	88
Geração específica de excedente de eletricidade usando apenas o bagaço	kWh/t <sub>cana</sub>	60-70	70-80
Geração específica de excedente de eletricidade usando o bagaço e a palha	kWh/t <sub>cana</sub>	125-130	132-145

**Fonte:** Mello, 2007.

O uso da palha, para queima, é viabilizado a partir do seu recolhimento e transporte do campo até a usina. Porém, essas operações apresentam custos para a usina, e por isso a rota de recolhimento deve ser analisada para qual finalidade a palha será utilizada. Outro fator importante é relacionado à composição da palha e seu alto teor de cinzas. A palha apresenta um poder calorífico de 17,1 MJ kg<sup>-1</sup>, e representa uma fonte significativa para a geração de eletricidade pelas usinas do setor sucroenergético (BIZZO et al., 2014).

Na Tabela 3, podemos observar que a umidade presente na palha da cana é maior em relação ao bagaço. Além disso a palha apresenta maior teor de cinzas. A eficiência da geração de energia depende da umidade no momento da queima. A alta umidade demanda maior consumo de energia no processo de queima da palha e, o alto teor de cinzas implica em problemas de corrosão em superfícies de troca térmica, facilitando a incrustação e deposição de resíduos nos equipamentos industriais.

**Tabela 3** - Análise imediata dos constituintes da palha e do bagaço da cana.

<b>Constituintes (%)</b>	<b>Folhas secas</b>	<b>Folhas verdes</b>	<b>Pontas</b>	<b>Bagaço</b>
Teor umidade	13,5	67,7	82,3	50,2
Material volátil	84,5	80,6	79,3	79,9
Carbono fixo	11,6	15,7	16,4	18,0
Cinzas	3,9	3,7	4,3	2,2

**Fonte:** Tufaille Neto, 2005.

A palha da cana apresenta razoável variação em sua composição química, que depende de fatores agronômicos como a variedade de cana, tipo de solo, sistema de limpeza e de colheita. As biomassas herbáceas, incluindo a palha de cana, têm como elementos inorgânicos principais o potássio, o silício, o enxofre e o cloro. A combinação desses constituintes na composição do combustível potencializa a formação de depósitos fundidos nas superfícies metálicas, nas temperaturas normais de operação dos geradores de vapor (JENKINS et al., 1996).

A palha de cana ainda não é utilizada para geração de energia em larga escala, mas apresenta um grande potencial de aproveitamento. Por este motivo, o conhecimento de suas características como combustível é necessário (BIZZO et al. 2014).

## 5. GERAÇÃO E COGERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE

Cogeração é um processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária (ANEEL, 2006). A cogeração já se tornou comum no setor sucroalcooleiro, sendo aplicada em várias partes do mundo. Com a criação do Programa Brasileiro do Alcool (PROÁLCOOL), a maioria das usinas sucroalcooleiras do Brasil se tornaram autossuficientes em termos energéticos. Elas são capazes de gerar toda a energia elétrica necessária para suprir sua demanda, utilizando cada vez mais os subprodutos da cana, principalmente o bagaço, o qual corresponde por cerca de 35% do conteúdo energético da cana moída, chegando a render excedentes a ser vendidos para a rede (BRIGHENTI, 2003).

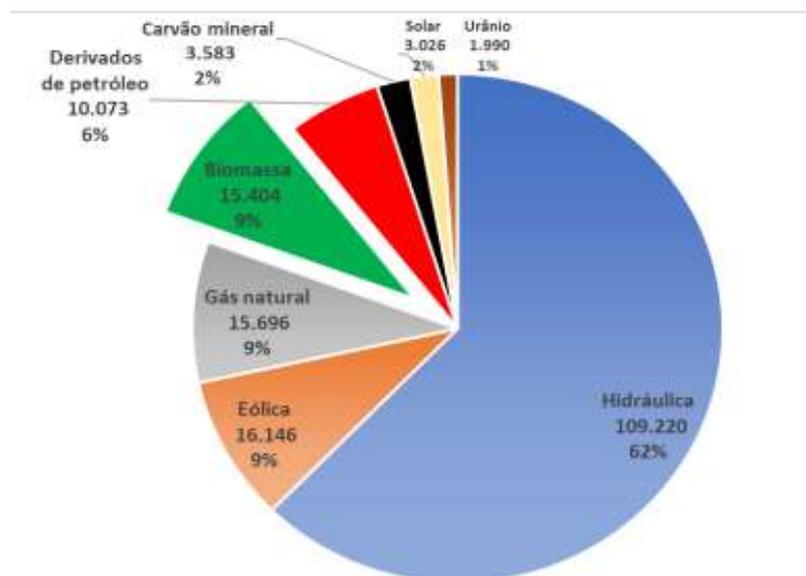
Maior eficiência na utilização de insumos energéticos, redução dos impactos ambientais na emissão de gases tóxicos à atmosfera, são exemplos de algumas vantagens da cogeração. A cogeração é uma prática de conservação de energia e de racionalidade energética, baseada no princípio de aproveitamento do calor rejeitado em máquinas térmicas. A indústria sucroalcooleira demanda de potência elétrica e térmica, e a cogeração de energia atende perfeitamente as suas necessidades, pois dispõe de combustível residual (subprodutos da matéria prima) que se integra de modo favorável ao processo. Os custos de produção de açúcar e álcool são baixos, pois a energia consumida em seu processo é proveniente de seus próprios resíduos. Com a reformulação do setor elétrico brasileiro, surge na década de 1990 a regulamentação da produção de energia elétrica através dos autoprodutores e produtores independentes, através do Decreto 2.003 de 10 de setembro de 1996 (BRASIL, 1996). Isso possibilitou às usinas do setor sucroalcooleiro comercializarem o excedente de energia elétrica produzida como uma alternativa para complementar a matriz eletroenergética do país (UNICA, 2015).

A demanda de energia mundial aumenta a cada ano, tendo como as principais fontes o carbono fóssil, o petróleo, o carvão, o gás natural, entre outros. Um dos parâmetros utilizados para se avaliar o grau de desenvolvimento econômico, social e ambiental de um país é conhecer o seu nível de independência energética, assim como o tipo de energia gerada por este. A eletricidade, recurso indispensável

para o crescimento econômico de um país, pode ser obtida através de diversas fontes, sendo estas renováveis ou não. Neste contexto, o Brasil se destaca por ser um país pouco dependente de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade devido a alguns privilégios da natureza como: ser o maior país tropical do mundo, um diferencial positivo para produção de energia de biomassa; possuir uma bacia hidrográfica com vários rios de planalto, fundamental para produção de eletricidade (UNICA, 2015).

No Brasil, a capacidade instalada, atualmente outorgada pela ANEEL, é de 175.137 MW. Como podemos observar na Figura 4, a energia da biomassa gera cerca de 15.404 MW e ocupa a 4ª posição na matriz, atrás das fontes hídricas, eólicas e gás natural. Hoje em dia, existem 8.996 usinas geradoras em operação no Brasil, das quais, cerca de 6.506 são geradoras de energia renovável. Em 2020, a energia da biomassa tende a ser 24% maior que em 2010.

**Figura 4** - Capacidade instalada de geração, por combustível, Brasil, setembro de 2020 (MW e %).



**Fonte:** UNICA e ANEEL 2020.

Em relação à biomassa da cana-de-açúcar, o setor sucroenergético tem cerca de 406 usinas termelétricas (UTES) em operação atualmente, onde cerca de 51% delas estão localizadas no estado de São Paulo. De acordo com a Figura 5, observamos que o bagaço da cana representa cerca de 11.747 MW, 76% da

capacidade de geração de energia através de todas as fontes de biomassa. A capacidade de geração de energia através do bagaço da cana é capaz de superar a capacidade instalada da usina Belo Monte. Com essa capacidade de gerar bioenergia através dos subprodutos da cana-de-açúcar, é possível abastecer cerca de 10,4% das indústrias brasileiras, 9 milhões de unidades residenciais e cerca de 64,2% do consumo de energia elétrica no município de São Paulo (UNICA, 2020).

**Figura 5** - Potência outorgada, fonte biomassa – em operação comercial (MW).

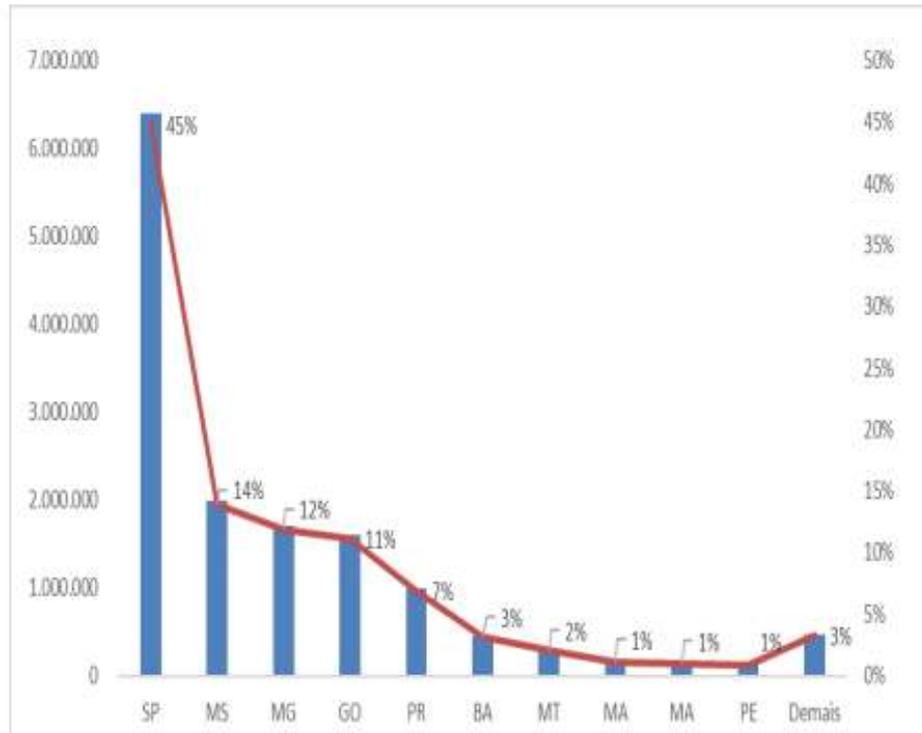


**Fonte:** UNICA e ANEEL 2020.

No ano de 2019, a geração de bioeletricidade, a partir da biomassa sólida, representou 8,4% da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) no Brasil. Um dado interessante é que apenas no mês de agosto de 2020, a bioeletricidade ofertada para o Sistema Interligado Nacional (SIN) foi de 3.159 GWh. Embora represente uma queda de 9% em relação a agosto do ano anterior, esse valor foi quase 7 vezes superior à geração pelo carvão mineral no último mês e 1,4 vezes superior à geração total pelas térmicas a gás no país em agosto de 2020 (UNICA, 2020).

Conforme a Figura 6, de janeiro a julho deste ano, 89% do total da geração pela fonte bioeletricidade em geral para a rede esteve concentrada em apenas cinco Estados: São Paulo (45%), Mato Grosso do Sul (14%), Minas Gerais (12%), Goiás (11%) e Paraná (7%). Todos esses estados ficam na chamada Região Centro-Sul sucroenergética (UNICA, 2020).

**Figura 6** - Bioeletricidade para a rede, por Estado, janeiro a julho de 2019 e 2020 (MWh e % do total).



**Fonte:** UNICA, a partir de CCEE, 2020.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), existiam cerca de 366 usinas de açúcar e álcool em operação em 2019, onde 220 delas comercializaram eletricidade, oito usinas a mais do que no ano anterior. Em 2019, a produção de bioeletricidade no setor sucroenergético cresceu em 1.392 GWh, cerca de 3,9% em relação a 2018. A oferta para a rede representou um crescimento de 4,3% e a geração para o autoconsumo 3,4% em relação a 2018.

Como podemos observar na Tabela 4, desde 2013 o setor sucroenergético produz bioeletricidade através da biomassa da cana mais para a rede do que para o consumo próprio. A geração de bioeletricidade sucroenergética acumulada nos últimos 10 anos corresponde a 309.415 GWh, valor equivalente ao consumo anual das Regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do país juntas. Na safra sucroenergética 2010/11, cada tonelada de cana-de-açúcar processada resultou em um total de 36 kWh, na média-Brasil. Já na safra 2019/20, esse mesmo indicador foi 57,3 kWh por tonelada de cana-de-açúcar processada, representando um crescimento de quase

60% no período decenal para esse indicador.

**Tabela 4** - Geração de Bioeletricidade sucroenergética, 2010 a 2019 (GWh).

Ano	Autoconsumo	Ofertada para a rede	Total	Oferta à rede/Total
2010	12.325	10.039	22.364	45%
2011	12.571	9.669	22.240	43%
2012	12.999	12.067	25.066	48%
2013	13.888	15.983	29.871	54%
2014	13.476	19.081	32.557	59%
2015	13.732	20.431	34.163	60%
2016	14.032	21.204	35.236	60%
2017	14.351	21.305	35.656	60%
2018	13.852	21.583	35.435	61%
2019	14.318	22.509	36.827	61%
Total	135.544	173.871	309.415	56%
2020 - até jul	ND	11.339	ND	ND

**Fonte:** UNICA, a partir de MME, 2020.

## 6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Atualmente o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e, com isso, capaz de gerar bioeletricidade através de seus subprodutos, especialmente o bagaço e a palha da cana.

A região Centro-Sul concentra o maior número de usinas capazes de gerar bioeletricidade no Brasil. Muitos fatores estão envolvidos, porém a presença de solos férteis, topografia favorável, maior uso de tecnologias disponíveis e a alta concentração de empreendedores, possuem alta relevância.

A geração de energia pela própria usina evita o custo de compra de energia externa para seu funcionamento e também permite a comercialização do excedente de energia elétrica gerada pela usina, para as redes de distribuição. Com isso, o custo de produção dos produtos da cana-de-açúcar tende a reduzir, melhorando o resultado operacional e a eficiência das usinas. Através da energia elétrica gerada pelo setor sucroenergético da região Centro-Sul, seria possível atender cerca de 9,85 milhões de pessoas a partir da palha da cana e cerca de 5,55 milhões de pessoas a partir do bagaço (RIPOLLI, 2004). Portanto, a geração de bioeletricidade através dos subprodutos da cana-de-açúcar mostra-se atrativa, proporcionando resultados positivos aos investidores.

A cogeração de bioeletricidade no Brasil vem sendo cada vez mais utilizada nas usinas termelétricas. Em 2020, a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil era de cerca de 175 mil MW, sendo que aproximadamente 15 mil MW são oriundos da biomassa em geral e cerca de 11 mil MW são provenientes do bagaço da cana-de-açúcar. O uso de energias renováveis permite a redução dos impactos ambientais causados por fontes de energia não renováveis. Um fator importante é que a safra da cana coincide com o período de secas, portanto a oferta de energia elétrica através do setor sucroenergético para as redes distribuidoras de energia é importante para preservar o nível de água das usinas hidrelétricas.

Uma usina termelétrica utiliza caldeiras e turbinas para geração de energia. O tipo de queima influencia a eficiência das caldeiras e, por isso, é recomendado as caldeiras que realizam a queima da biomassa em suspensão pois possuem maior eficiência e são mais modernas. Para aumentar a eficiência das caldeiras também é utilizado um sistema de superaquecimento do vapor que aumenta a temperatura do

vapor diminuindo o consumo da biomassa. O vapor gerado pela queima da biomassa nas caldeiras alimenta as turbinas geradoras de energia. Existem três tipos de turbinas: as de vapor de contrapressão; a combinação de turbinas de vapor de contrapressão com turbinas de condensação e; turbinas de extração-condensação de controle automático. Para Higa (2003), o sistema de turbinas de contrapressão, muito utilizado nas usinas, está longe de apresentar a melhor performance na geração de energia. A maioria das usinas do setor sucroalcooleiro opera utilizando equipamentos de baixa eficiência energética e com caldeiras de baixa temperatura e baixa pressão (COELHO, 1999).

Para aumentar a eficiência do processo seria necessário aumentar os níveis de pressão e temperatura da operação com o uso de turbinas mais potentes, aproveitar a palha utilizando-a como aditivo junto a queima do bagaço e utilizar a tecnologia de gaseificação da biomassa integrado com a turbina. A gaseificação da biomassa corresponde a conversão de um combustível sólido ou líquido em um gás energético, através da oxidação parcial à temperatura elevada. Esse gás (gás de síntese) é composto por hidrogênio, monóxido de carbono e uma pequena concentração de metano, e possui baixo poder calorífico (LORA, 2012). No processo de gaseificação é necessário o uso de vapor de água e, dependendo da vazão que esse vapor é injetado no sistema, a produção de  $H_2$  aumenta em relação ao  $CO$ , fator favorável para a produção do gás de síntese. Para instalar uma planta de gaseificação são necessários alguns equipamentos industriais como um sistema de pré-processamento do combustível, um gaseificador, um sistema de tratamento do gás, um sistema de controle do processo de gaseificação e um sistema de tratamento dos resíduos. Porém essa tecnologia é recomendada para geração de energia em grandes escalas e requer cuidado com a produção de um gás tóxico decorrente do processo de gaseificação.

Um fator importante na avaliação energética de determinado combustível, é o seu poder calorífico, que consiste na quantidade de energia que o material combustível libera quando queimado totalmente. Ele pode ser determinado como Poder Calorífico Superior (PCS) e Inferior (PCI). O PCS corresponde a quantidade de calorias liberadas por um material em sua combustão completa, expresso em cal/g ou kcal/kg (QUIRINO et al., 2005). Quanto maior for esse parâmetro, maior será a energia contida no combustível (CARVALHO JÚNIOR, 2010). O PCI considera o resfriamento

dos gases, até o ponto de ebulição da água, evitando assim que a água contida na combustão seja condensada (COSTA et al., 2009). De acordo com Gabra et al. (2001), o bagaço da cana com teor de umidade de 50%, possui PCS de cerca de 4.347 kcal/kg e a palha da cana com teor de umidade de 15% possui cerca de 4.705 kcal/kg. Nessas mesmas condições, o PCI do bagaço possui cerca de 1.722 kcal/kg e a palha possui cerca de 3.773 kcal/kg. A palha da cana de açúcar possui um poder calorífico maior que o bagaço, sendo um acréscimo bem-vindo como combustível para geração de energia. Sua eficiência pode ser aumentada com pré-tratamentos mecânicos adequados, para reduzir o seu tamanho, facilitando a manipulação.

A palha, normalmente deixada no campo para manutenção do solo, vem se mostrando ter alto potencial para queima, junto ao bagaço, em caldeiras para ampliação da geração de bioeletricidade. Porém é necessário fazer a limpeza da palha que vem do campo para remoção de impurezas que podem diminuir a eficiência da queima da palha. Outro fator importante é a redução da umidade da palha ao ser queimada junto ao bagaço. A alta umidade dessas matérias-primas pode causar alguns problemas operacionais dentro das caldeiras.

A palha necessita de atenção devido à necessidade de otimização da eficiência do processo como um todo, onde a rota de recolhimento da palha do campo para a indústria pode influenciar na eficiência de geração de energia. O uso de colheita integral da cana junto a palha se mostra mais eficiente, especialmente quando a remoção da palha é feita parcialmente do solo, evitando a retirada de nutrientes e, conseqüentemente, o uso adicional de fertilizantes.

O bagaço e a palha da cana, por serem ricos em fibras, possuem alto teor de energia. Uma tonelada de bagaço gera aproximadamente 300 kWh e uma tonelada de palha gera cerca de 500 kWh (UNICA, 2020b). O consumo médio de uma residência no mês é cerca de 150 kWh.

Na safra 2020/21, o Brasil colheu cerca de 650 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Isso corresponde a aproximadamente 180 milhões de toneladas de bagaço e cerca de 108 milhões de toneladas de palha produzidas. Apenas com o bagaço, seria possível gerar cerca de 54 mil GWh. Utilizando toda a palha, o número chega a aproximadamente 53 mil GWh. Portanto o potencial de geração de

bioeletricidade através do bagaço e da palha pode chegar a cerca de 100 mil GWh. Hoje é gerado apenas cerca de 37% desse potencial. Esses valores mostram a capacidade de geração de bioeletricidade dos principais subprodutos da cana-de-açúcar.

Como podemos observar, o setor sucroenergético ainda tem muito “espaço” para crescer e se tornar um ator ainda mais importante na geração de energia no Brasil.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) – Resolução Normativa N° 235, de 14 de novembro de 2006. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>. Acesso em 12/04/2017.

BACCARIN, J. G.; CASTILHO, R. C. A Geração de Energia como Opção de Diversificação Produtiva da Agroindústria Canavieira. FCV – UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Júlio de Mesquita. Jaboticabal.

BIZZO, W. A., LENÇO, P. C., CARVALHO, D. J., VEIGA, J. P. S. The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 29, p. 589–603, 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2008. 236p.

BRASIL. Lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9427cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427cons.htm)>. Acesso em 04/11/2014.

BRIGHENTI, Cláudia Rodrigues Faria. Integração do cogenerador de energia do setor sucroalcooleiro com o sistema elétrico. São Paulo, 2003. 169p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CARVALHO JÚNIOR, R. M. Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ. Dissertação (Mestrado) UFPR, Curitiba – PR, 2010.

CERQUEIRA, D. A.; FILHO, G. R.; CARVALHO, R. A.; VALENTE, A. J. M.; Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por <sup>1</sup>H-RMN. *Polímeros*, vol. 20, n. 2, p. 85-91, 2010.

COELHO, S.T. 1999. Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir da biomassa- um modelo para o estado de São Paulo. São Paulo. Tese doutorado. Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. V. 7 - Safra 2020/21, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-64, agosto de 2020.

CORNEJERO, M. C. Marketing de Créditos de Carbono: Um Estudo Exploratório. Dissertação de Mestrado, apresentada a Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2006

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S.; Biomassa para energia, Editora da Unicamp, Campinas – SP, Brasil, 2006.

COSTA, A. B.; KIPPER, L. M.; GERBASE, A. E.; DPOKE, H. B.; DAEHN, C. M. Determinação do poder calorífico no controle de qualidade de combustíveis para sistemas de geração de energia e aquecimento industrial. ENEGEP. Salvador, 2009.

COSTA, P. R. O.; DUARTE, F. S.; A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. Revista de Administração da Fatea, v. 3, n. 3, p. 2-107, 2010.

DANTAS FILHO, P. L. Análise de Custos da Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: um Estudo de Caso em Quatro Usinas de São Paulo. 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

FIGUEIREDO, E. B.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. Agriculture, ecosystems & environment, v. 141, p. 77-85, 2011.

GABRA, M.; PETTERSSON, E.; BACKMAN, R.; KJELLSTROM, B. Evaluation of cyclone gasifier performance for gasification of sugar cane residue—Part 2: gasification of bagasse. Biomass and Bioenergy, n. 21, pp. 351–369, 2001.

HIGA, M. Cogeração e Integração Térmica em Usinas de Açúcar e Álcool. Campinas, 2007. 153p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

JENKINS B.M.; BAKKER, R.R.; WEI, J.B. On the properties of washed straw. In: Biomass and Bioenergy; 10(4), p. 177-200, 1996.

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

LORENZON, G. UDOP. Recuo na atividade econômica faz despencar preço da energia elétrica do bagaço da cana. Disponível em <<https://www.udop.com.br/noticia/2020/03/24/recuo-na-atividade-economica-faz-despencar-preco-da-energia-eletrica-do-bagaco-da-cana.html>>. Acesso em 03 novembro 2020.

LUCA, E. F. et al. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. Revista brasileira de ciências do solo, Viçosa, v. 32, n. 2, 2008.

MATEUS, Liliana Adriana Nappi. Análise dos aspectos ambientais e energéticos do setor sucroalcooleiro do Estado de Minas Gerais. 2010. 199 fl. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental) – Universidade Federal de Ouro, Ouro Preto, 2010.

NOGUEIRA; RENDEIRO. 2008. Combustão e gaseificação de biomassa sólida, soluções energéticas para a Amazônia. Programa Luz para todos. Brasília.

NOVACANA. A cana-de-açúcar como fonte de energia elétrica. 2017a. Disponível em: <<https://www.novacana.com/estudos/a-cana-de-acucar-como-fonte-de-energia-eletrica241013/>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

PÁDUA, J. A. O amargo avanço da doçura. Revista de História da Biblioteca Nacional. Rio de Janeiro, v. 8, n. 94, p. 18-23, jul. 2013.

PAOLIELLO, J. M. M. ASPECTOS AMBIENTAIS E POTENCIAL ENERGÉTICO NO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA. 2006.

180 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru - Sp, 2006.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. Revista da Madeira, n.89. abr. 2005, p. 100-106.

RAAD, T. J.; Pinheiro, P. C. C.; Yoshida, M. I. Cerne 2006, v.12, 1993.

RIPOLLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2004. ISBN 85-904440-5.

RONQUIM, C. C. Queimada na colheita de cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos. Embrapa monitoramento por satélite: documentos, 77. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

SANTOS, F. A; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. São Paulo, 2012.

SCHWARTZ, S. B. Como se cria um país. Artigo, In DAHÁS, Nashla. Org. Dossiê Civilização do açúcar: da Colônia ao etanol. Revista de História da Biblioteca Nacional, Rio de Janeiro, v.8, n. 94, p. 22-26, jul. 2013.

SOUZA, R. R. Panorama, oportunidades e desafios para o Mercado Mundial de Álcool Automotivo. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, Zilmar José de. Bioeletricidade: o que falta para esta alternativa energética deslançar. Revista Mercado Empresarial. Edição nº 41. Especial FENASUCRO 2012. Págs. 52-54.

TUFAILE NETO M. A. Characterization of sugar cane trash and bagasse. In: Hassuani S.J, Leal MRLV, Macedo IC, editors. Biomass power generation, sugar cane bagasse and trash, PNUD Programa das Nações unidas para o desenvolvimento. CTC-Centro de Tecnologia Canavieira; p. 24- 26, 2005.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Bioeletricidade: a energia verde e

inteligente do Brasil: Prole, 2020b. Disponível em: <https://unica.com.br/wp-content/uploads/2020/10/cartilha-da-bioeletricidade.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2020.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Estudo da Matriz Energética (2020).

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Etanol e bioeletricidade: a cana de açúcar no futuro da matriz energética. Souza, E. I.; Macedo, I. C. (Coords.) São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.