



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio**  
**Economia**

**CAPACIDADE PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA**  
**GERAÇÃO E COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO**  
**BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

**CARLOS SÉRGIO CÂNDIDO JÚNIOR**

**ILHA SOLTEIRA/SP**  
**DEZEMBRO/2022**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia**

**CAPACIDADE PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA  
GERAÇÃO E COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO  
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

**CARLOS SÉRGIO CÂNDIDO JÚNIOR**

**Prof. Dr. OMAR JORGE SABBAG**  
**Orientador**

Trabalho de graduação apresentado à  
Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus  
de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**ILHA SOLTEIRA/SP**  
**DEZEMBRO/2022**

#### FICHA CATALOGRÁFICA

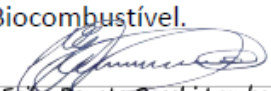
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C217c Cândido Junior, Carlos Sérgio.  
Capacidade para produção de etanol de segunda geração e cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar no estado de São Paulo / Carlos Sérgio Cândido Junior. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022  
30 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Omar Jorge Sabbag  
Inclui bibliografia

1. Biomassa. 2. Bioenergia. 3. Carbono. 4. Celulose. 5. Biocombustível.

  
Erika Renata Bocchi Lomba  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação  
Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Supervisora Técnica de Seção  
CRB/6 -10792

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**  
**CURSO DE ENG<sup>ª</sup>. AGRONÔMICA**

**ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TÍTULO: CAPACIDADE PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA  
GERAÇÃO E COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO  
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

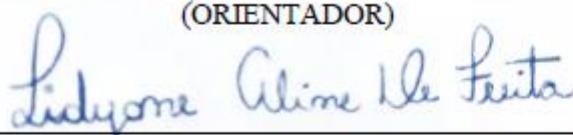
**ALUNO: CARLOS SÉRGIO CÂNDIDO JÚNIOR - RA: 172053927**

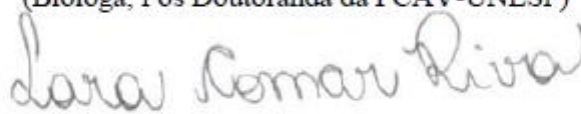
**ORIENTADOR: PROF. DR. OMAR JORGE SABBAG**

Aprovado (X) - Reprovado ( ) pela Comissão Examinadora. Nota: 10,0

Comissão Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
**PROF ASSOC. OMAR JORGE SABBAG**  
(ORIENTADOR)

  
\_\_\_\_\_  
**PROF.<sup>ª</sup> DR.<sup>ª</sup> LIDYANE ALINE DE FREITA**  
(Bióloga, Pós Doutoranda da FCAV-UNESP)

  
\_\_\_\_\_  
**PROF<sup>ª</sup> MS. LARA COMAR RIVA**  
(Engenheira Agrônoma, Mestre e Doutoranda em Agronomia FEIS-UNESP)

  
\_\_\_\_\_  
**CARLOS SÉRGIO CÂNDIDO JÚNIOR**  
Aluno

Ilha Solteira(SP) 02/12/2022.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus Pais, Neuceli Maria da Silva Cândido e Carlos Sérgio Cândido por todo suporte durante o período da graduação. Sem eles, nada seria possível.

Aos meus avós maternos, Maria Madalena Cunha Silva e Miguel Bueno da Silva por instigarem o gosto pelo agronegócio desde a infância.

Aos meus avós paternos, Neusa Luiza Correa Cândido e Aparecido Cândido (*In memoriam*).

Não posso deixar de lembrar meu período de graduação iniciado na UTFPR – Campus Dois Vizinhos, local onde fui extremamente bem recebido e levo grandes recordações. Cito aqui em especial as repúblicas e seus agregados Sminoffline, MoLe Incocho.

À Raízen Energia que desde o estágio acadêmico deu todo suporte para meu desenvolvimento, e ainda hoje, continuamos na missão de redefinir o futuro da energia, em especial através da biomassa.

À Empresa Júnior Ramo da Terra, onde passei boa parte da graduação e que me proporcionou lições além do teórico, especialmente no quesito de liderança, gestão de pessoas e projetos.

Ao meu orientador professor Omar, por compartilhar seus conhecimentos, pelo incentivo e aprendizado, que foram essenciais para realização deste trabalho.

À faculdade Unesp/Ilha Solteira, a todos os professores e envolvidos, pelo aprendizado adquirido ao longo desses anos, e por todas as boas lembranças que levo comigo.

## RESUMO

O Bagaço de cana-de-açúcar tem mostrado potencial para geração de outros produtos nos últimos anos, passando de um mero resíduo industrial para um ativo com valor agregado para as sucroenergéticas. Tal valor fez com que diversos trabalhos buscassem oportunidades e alternativas de precificação para o material. Com base nos dados divulgados pela CONAB, do fechamento da safra 2021/22, foram estimadas as sobras de bagaço de cana no estado de São Paulo. Ressalta-se que essa safra foi extremamente desafiadora para o setor, que conviveu com três ondas de geada e um grande período de déficit hídrico nas áreas produtoras, impactando a produtividade da cultura. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo calcular os potenciais de cogeração de energia elétrica e de produção de etanol celulósico, por meio de uma revisão na literatura. Com o propósito de se obter uma eficiência padrão, foi considerado uma caldeira de 67 kgf/cm<sup>2</sup>, com produção de 126,80 t/h de vapor e 80% da capacidade. Nessas características, se obteve 1,91 toneladas de vapor por tonelada de bagaço consumido e uma conversão de toneladas de bagaço para MWh de 0,15MWh. Os valores de cogeração com essas características têm potencial de 3.761.035 MWh, sendo esse número, potencial para abastecer com sobras, por um ano todo, duas das 3 maiores cidades consumidoras do estado de São Paulo individualmente (Guarulhos e Campinas), além de cerca de 14% da cidade de São Paulo, no ano de 202. No caso do etanol de segunda geração (ou etanol celulósico), chegamos em uma produção potencial de 12.161.792 m<sup>3</sup> do produto no estado de São Paulo, sendo suficiente para aumentara produção em 102% no território, sem plantar nenhum hectare a mais da cultura da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** biomassa, bioenergia, carbono, celulose, biocombustível.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - ESTOQUE DE BAGAÇO.....                                              | 14 |
| FIGURA 2 - VISÃO GERAL DO LEVANTAMENTO DE SAFRA DA CANA-DE-AÇÚCAR 2021/22..... | 16 |
| FIGURA 3 - DIFERENTES TIPOS DE BIOMASSA .....                                  | 19 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 - COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA (BAGAÇO DE CANA) (%).....     | 20 |
| TABELA 2 - CELULOSE E POTENCIAL DE CONVERSÃO EM ETANOL (%)..... | 20 |
| TABELA 3 - ENERGIA POTENCIAL – COMPARAÇÃO (MWh).....            | 23 |
| TABELA 4 - PRODUÇÃO DE ETANOL (M <sup>3</sup> ).....            | 24 |



## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 1 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE (%) ..... | 12 |
| GRÁFICO 2 - HISTÓRICO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR (T).....       | 17 |
| GRÁFICO 3 - ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DO BAGAÇO (T).....               | 21 |
| GRÁFICO 4 - POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (MWh) .....   | 22 |

## SUMÁRIO

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                         | <b>10</b> |
| 1.1 COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM BAGAÇO DE CANA.....         | 12        |
| 1.2 GERAÇÃO DE ETANOL CELULÓSICO COM BAGAÇO-DE-CANA.....          | 14        |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>                                           | <b>15</b> |
| <b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>                         | <b>16</b> |
| 3.1 EXTRAÇÃO DOS DADOS DE PRODUTIVIDADE E ÁREA PLANTADA.....      | 16        |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE BAGAÇO .....                     | 17        |
| 3.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ..... | 19        |
| 3.4 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ETANOL CELULÓSICO .....             | 20        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                             | <b>21</b> |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>                                         | <b>25</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                           | <b>26</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar é uma das atividades agrícolas com maior volume no estado de São Paulo. Atualmente, o estado é o maior produtor do país para a cultura, sendo essa destinada majoritariamente para a produção de açúcar e etanol (CONAB, 2022).

Se observada a série histórica de expansão da cultura, entre os anos de 1994 até 2014, “a área de cana em São Paulo passou de 2,6 milhões hectares (ha) para 6,8 milhões ha, enquanto a área com outras lavouras caía de 4,1 milhões ha para 3,1 milhões ha e a de pastagens, de 10,7 milhões ha para 6,8 milhões ha”. (IEA, 2016 apud BACCARIN et al, 2020, p. 2). Conforme dito por Baccarin et al (2020), fica explícito que a paisagem agrícola paulista é fortemente marcada pelos mares de cana.

A produção de cana-de-açúcar totalizou na safra 2021/22 cerca de 585,2 milhões de toneladas no Brasil, sendo que o Centro-Sul (Centro-Oeste, Sudeste e Sul) contabilizou cerca de 530,2 milhões de toneladas. Do total produzido pelo Centro-Sul, São Paulo representa 55,91% da produção (CONAB, 2022).

Atualmente, além da produção de açúcar e etanol nas usinas, tem-se intensificado o interesse pelos resíduos gerados no processo.

Dentre as alternativas economicamente promissoras, destaca-se o bagaço de cana, tanto do ponto de vista agrônômico quanto industrial. Do bagaço, pode-se utilizá-lo em dieta de bovinos para complemento de dieta volumosa (subproduto muito usado na alimentação de bovinos durante a década de 80 (EZEQUIEL et al, 2006), cogeração de energia elétrica, por meio da conversão de energia térmica em energia elétrica, geração de vapor para indústrias e na transformação em etanol celulósico (conhecido como etanol de segunda geração) (ENTRETESES, 2013).

A biomassa chegou tanto a ser valorizada, que na safra 2021/22 em função dos desafios da safra, relaciona as intempéries climáticas vividas (FAESP/SENAR, 2022) e de uma crise hídrica que impactou o setor elétrico, tendo por consequência a abertura de editais para fornecimento de energia elétrica via termelétricas, em especial as movidas à biomassa (G1, 2021) chegou a ser cotado por R\$400 por tonelada (CANAONLINE, 2022).

Nesse contexto, um dos principais desafios para o setor é relacionado à logística do produto. Visto que muitas das usinas não tem capacidade para produção de outros produtos que não sejam açúcar e etanol, devido à um elevado investimento

em geradores e operação de transporte de biomassa, seus papéis ficam restritos à comercialização da biomassa na modalidade Free on Board (FOB), onde o comprador assume todos os riscos e custos com o transporte da mercadoria (LOUREGA, 2015) para indústrias que possuam capacidade de utilização. No entanto, por se tratar de um produto com densidade variável em função da umidade (Relacionada à sazonalidade Climática), o transporte do produto em grandes distâncias é inviabilizado, seja pelo custo ou pela falta de caminhões em picos de safra (FILIPPI; GUARNIERI, 2019).

Diante desse cenário, por se tratar de um mercado sem grandes regulamentações, surge uma figura conhecida no mercado como atravessador, que dentro da cadeia produtiva, tem sua única função o intermediar o produto para o consumidor final. (BARRETO; BORGES, 2018). Esses agentes, assim como já visto em outros mercados, acabam por inflacionar o preço real dos produtos.

Para a cogeração de energia, os preços recebidos pela venda do excedente ao mercado da energia elétrica ficam atrelados ao PLD, divulgado de hora em hora pela CCEE ou à leilões pré-estabelecidos entre as termelétricas e o Governo Federal (CCEE, 2022). Portanto, para que o negócio se torne lucrativo, os preços pagos pelo megawatt-hora (Mwh) devem ser superiores à soma dos custos de transporte, manuseio e investimento, além de serem interessantes dentro do custo de oportunidade aberto por uma gama de outros produtos que podem ser produzidos.

Pensando na expansão desses negócios, e em sua proposta de valor sustentável, não seria interessante expandir mais as áreas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo apenas para se obter mais biomassa, a fim de se evitar problemas agrônômicos e sociais relacionados à monocultura, como estudado por Silva e Martins (2010). Dessa forma, fica ao setor a responsabilidade em buscar outras formas de biomassa que não o bagaço para produtos que possibilitem essa troca. Em especial, ganham espaço outros resíduos, que vão desde resíduos florestais (GENOVESE et al, 2006) até rejeitos de agricultura e agroindústria (Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo, 2021).

No caso do etanol, a grande diferença do etanol primeira geração (que é produzido através da fermentação e destilação do caldo) para a segunda geração é a possibilidade de expansão da produção sem que se seja plantando um único hectare sequer a mais no território paulista. O etanol de segunda geração, produzido a partir de materiais lignocelulósicos, deriva da hidrólise do bagaço de cana, importante

resíduo da indústria, também destinado a geração de energia elétrica.

Contudo, o Brasil assume o compromisso mundial na questão da descarbonização, pressionando as indústrias (VALOR, 2022). De modo geral, o bagaço para produzir energia e etanol provém de gigantes estoques de carbono captados da atmosfera.

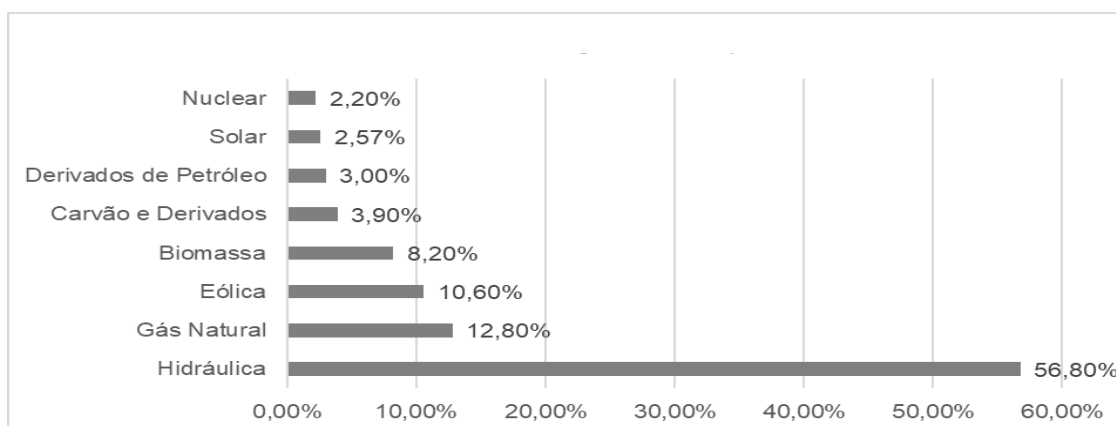
Considerando-se que a geração de energia, utiliza de fontes mais poluentes (como o carvão, por exemplo), destaca-se a utilização de matérias-primas mais limpas como o etanol de segunda geração (2G) (a partir deste bagaço) não necessitando de expansão da produção agrícola e baixa pegada de carbono. No caso do etanol de segunda geração, além de não ser necessário expandir a produção agrícola, já herda de seu irmão de primeira geração a baixa pegada de carbono (NASTARI, 2019).

Dentro deste enfoque, esta pesquisa propõe investigar o potencial no estado de São Paulo em produzir mais biocombustíveis sem expansão da área de cana-de-açúcar, e qual a quantidade de energia poderia ser gerada em cenários de crise hídrica e risco de desabastecimento no Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo ambos os casos supridos, em momentos isolados, a partir do bagaço de cana das usinas sucroenergéticas?

### 1.1 Cogeração de energia elétrica com Bagaço de Cana

No Brasil, a oferta interna de energia elétrica é majoritariamente composta por fonte hidráulica, sendo a biomassa, responsável por apenas 8,20% dessa oferta em todo o país (EPE, 2022), conforme gráfico 1.

Gráfico 1. Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: Adaptado de EPE, 2022.

Abordando especificamente do bagaço de cana, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 prevê que a contribuição da biomassa para o cenário energético pode se tornar ainda mais relevante, caso o potencial técnico da cultura e da indústria sejam plenamente aproveitados. A Expansão do PDE 2031 ainda prevê 2.060MW oriundos de UTEs renováveis, sendo contratado e indicativo, 1066MW a bagaço (EPE, 2021).

O estado de São Paulo, particularmente, apresenta números de geração de energia elétrica através da biomassa bem maiores que a média do restante do país. Com capacidade instalada de 23GW, 65% são gerados por hidrelétricas, 25% por termelétricas à biomassa e o restante por termelétricas fósseis. (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE). Esse fato se dá por sua grande concentração de usinas sucroenergéticas em seu território. (CONAB, 2022)

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022) indica que existem em sua base, cadastradas cerca de 407 usinas, sendo que no estado de São Paulo, o número é de 175. Esse número faz com que o setor seja autossuficiente na produção de energia elétrica via fonte biomassa e com capacidade excedente para comercializar no Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo uma fonte de renda extra para a indústria (SILVA, 2020).

De acordo com o Boletim de Bioeletricidade, entre os meses de janeiro a julho de 2020, a Bioeletricidade colocada na rede pelo setor sucroenergético foi de 11,3GWh, o que representa cerca de 79% da Bioeletricidade no período. Para se ter ideia, se estima que esse número tenha evitado a emissão de 3,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, uma marca que seria atingida apenas com 20 anos de cultivo de 27 milhões de árvores (UNICA, 2020).

Do total gerado, 73% foram ofertados entre os meses de maio e julho, meses do período seco do setor elétrico brasileiro. Considerando os meses de janeiro a julho de 2020, 89% da geração total por Bioeletricidade esteve concentrada em cinco estados: São Paulo (45%), Mato Grosso do Sul (14%), Minas Gerais (12%) Goiás (11%) e Paraná (7%) (UNICA, 2020).

A Cogeração pode ser definida como uma produção de duas ou mais formas de energia, com base em um único combustível, de maneira simultânea e sequenciada. Comumente, a produção de eletricidade e energia a partir de biomassa, gás natural ou outros (COGEN).

O bagaço da cana é produzido através da moagem e retirada dos açúcares destinados a produção de açúcar e etanol. Assim como outros produtos fibrosos, a

composição desse material é, em suma, celulose, hemicelulose e lignina (OLIVEIRA, 2011). Esse produto é armazenado em pátios, sejam cobertos os não para posterior destinação conforme custo de oportunidade.

Figura 1 - Estoque de Bagaço



Fonte: Próprio autor, 2022.

Segundo Oliveira (2002), “O bagaço de cana in natura pode ser considerado a principal fonte de combustível de biomassa, pois o mesmo apresenta baixa densidade,  $184 \text{ kg/m}^3$ , umidade de 50% e porosidade de empilhamento de até 96,2% quando não compactado” (apud SILVA, 2020, p.26). Ainda de acordo com Oliveira (2002) “É uma matéria composta por microtubos que contém o caldo, e possui característica porosa, sendo favorável à troca de calor do fluido contido em suas fibras se submetido à passagem de gases quentes” (apud SILVA, 2020, p.26). Para fins de cogeração de energia, esse bagaço é enviado as caldeiras que, através da queima, transformam a energia térmica em energia elétrica, através da geração de vapor e da ação de turbogeradores. Para a eficiência desse processo, cada caldeira apresenta uma especificação. Além disso, o material não é sempre homogêneo, devendo a produtora entender sua umidade real no momento da queima, e consequentemente seu poder calorífico.

## 1.2 Geração de etanol celulósico com bagaço-de-cana

De acordo com a resolução da ANP (2015), o etanol pode ser definido como “biocombustível proveniente do processo fermentativo de biomassa renovável”; o mesmo é produzido por meio do processo de moagem da cana-de-açúcar e um processo de simples fermentação do mosto obtido.

A fermentação alcoólica ocorre através de microrganismos em reações químicas capazes de converter o açúcar em etanol, sendo a mais comum a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, que na falta de oxigênio ou alta concentração de glicose, o produto final é o etanol.

Atualmente, com o crescimento do pensamento sustentável, a crescente demanda mundial por combustíveis tem-se estudado algumas alternativas de matérias-primas mais limpas.

Dentre elas destaca-se a tecnologia de conversão de biomassas com composição lignocelulósica em açúcares fermentáveis para a produção de Etanol (NUNES et al., 2013).

De acordo com Silva (2009), a composição química do bagaço da cana-de-açúcar in natura é de aproximadamente 43% Celulose, 26% Hemicelulose e 22% Lignina. Ainda segundo esse mesmo trabalho, após o efeito do pré-tratamento hidrotérmico e da deslignificação alcalina na sacarificação enzimática do bagaço de cana-de-açúcar, foi observado uma conversão próxima de 89% da celulose recuperada em etanol.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a capacidade de cogeração de energia elétrica e de etanol de segunda geração no estado de São Paulo, levando em consideração dos dados de produtividade agrícola da safra 2021/22 divulgados no fechamento de safra pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

Especificamente, pretendeu-se:

- a) Avaliar potencial de geração de energia elétrica no estado de São Paulo, com resíduo das atividades industriais sucroenergéticas, a fim de se estabelecer mais uma alternativa para segurança energética no estado.
- b) Avaliar potencial de geração de etanol no estado de São Paulo, sem a expansão da área plantada, através do etanol celulósico proveniente do resíduo das atividades industriais das sucroenergéticas.



### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1.Extração dos dados de produtividade e área plantada

O presente trabalho configura-se em um estudo pautado pela metodologia científica e foi realizado com base nos dados divulgados pela CONAB (Figura 1), do fechamento dos indicadores de produção da safra da Cana-de-açúcar 2021/22, e estimativas para a safra 2022/23.

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) é uma empresa pública, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e tem em uma de suas funções, realizar as estimativas de safras de cana-de-açúcar desde 2005, tendo seus dados utilizados para tomada de decisão dos agentes envolvidos no agronegócio, influenciando até mesmo nos preços relacionados à safra (FIGUEIREDO, 2005).

Figura 2 - Visão geral do levantamento de Safra da cana-de-açúcar 2021/22



Fonte: CONAB (2022).

Para esse trabalho, foi utilizada uma amostragem não aleatória, do tipo intencional, sendo essa planejada propositalmente pelo pesquisador (MARCONI; LAKATOS, 1996). Além disso, o método utilizado foi o quantitativo de pesquisa descritiva e exploratória, por meio da técnica de coleta de dados, análise, registros e observações de conteúdos em situações com demanda específica de conhecimento nos temas.

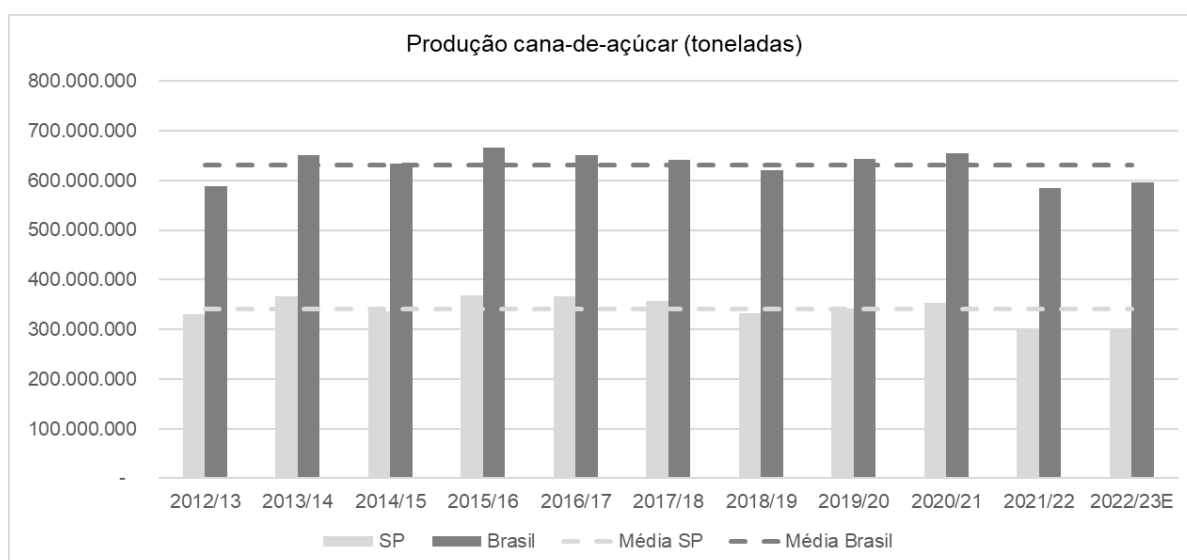
Os dados empregados foram coletados através da extração das informações do fechamento da safra 2021/22 da cultura da cana-de-açúcar, divulgados oficialmente pela CONAB como balizador na tomada de decisões para a safra 2022/23. Ressalta-se que a safra 2021/22 compreende os períodos de abril de 2021 até março

de 2022.

### 3.2. Caracterização da geração de Bagaço

A safra utilizada como base para os números potenciais foi a 2021/22, safra extremamente desafiadora para o setor sucroenergético em função de diversas intempéries climáticas vividas durante o período, reduzindo consideravelmente sua produção no estado de São Paulo e com reflexos negativos para as estimativas da safra 2022/23 em comparação com a média das últimas safras (Gráfico 1). Dado o cenário apresentado (Gráfico 1), a produção de cana na temporada 2021/22 teve um resultado de 298.494.849 toneladas no estado, um número frente a média do território desde a temporada 2012/13, 12,58% menor.

Gráfico 2 - Histórico da produção de cana-de-açúcar (t).



Fonte: Elaboração própria, dados adaptados de CONAB (2022) e Observatório da Cana (2022)

Para que se tenha um padrão de eficiência no processo, assim como foi utilizado em Alliotte (2020) para balizar um indicador de preços para biomassa e Silva e Moura (2020) para comparar a geração de vapor entre dois tipos de biomassa, foi utilizado por padrão uma caldeira de 67 kgf/cm<sup>2</sup>, com produção de 126,80 t/h de vapor e 80% da capacidade. Nessas características, se obteve 1,91 toneladas de vapor (SILVA; MOURA, 2020). Para Alliotte (2020), essas características geram 0,15 MWh por tonelada de bagaço consumido. Conforme avaliado por Soares e Rossel (2007) excedentes de bagaço entre 30% e 50% podem ser atingidos com otimização do sistema de vapor e energia elétrica da usina, demandando geração de vapor com pressão entre 65 e 80 bar, além de turbinas e geradores de alta eficiência. Nesse

contexto, a sobra de bagaço no processo, entendendo-se pelo excedente do necessário para o vapor da usina, foi considerado para o trabalho em 30%. Para a conversão de toneladas de cana para toneladas de bagaço, foi utilizado uma média de 280kg por tonelada de cana processada, conforme citado por Soares e Rossel (2007) e utilizado como balizador de geração de biomassa pelas sucroenergéticas. Dessa forma, foi calculado a estimativa de geração do bagaço (EGB), constituído pelas premissas já apresentadas acima, de acordo com a Equação 1, e com resultados apresentados no Gráfico 2:

$$\text{EGB} = \text{PC} \times 28\% \text{ (Equação 1)}$$

Em que: PC = Produção de cana-de-açúcar (t); 28% = 280kg/t cana-de-açúcar.

A escolha da temporada tem 2021/22 tem objetivo de representar a atual situação dos canaviais e balizar as estimativas de produção em temporadas abaixo da curva no índice de produtividade. Dessa forma, futuros trabalhos podem utilizar o cenário como *benchmark*, de forma a apresentar os números mais próximos da realidade e se precaver a safras com exposição alta as intempéries climáticas e riscos de produtividade.

Ressalta-se que as caldeiras, dependendo da configuração, podem receber outros tipos de biomassa (Figura 2), desde derivados florestais (Exemplo: Cavaco de Madeira e Serragem de Madeira), até resíduos agroindustriais (Exemplo: Casca de Amendoim e Palha de Arroz). No entanto, para o presente trabalho, foi considerado apenas o resíduo originário das usinas de cana-de-açúcar (Bagaço), visto sua disponibilidade diretamente ligada ao processo das usinas. Além disso, a dificuldade de precificar diferentes tipos de biomassa, em função de seus diversos usos, conforme colocado em Aliotte, (2020).

Figura 3 - Diferentes tipos de biomassa



**Cavaco de Madeira**



**Palha de Arroz**

Fonte: MFRural, 2022.



**Serragem de Madeira**



**Casca de Amendoim**

### 3.3.Avaliação do potencial de cogeração de energia elétrica

Para se obter uma eficiência padrão, foram determinadas especificações padrões para a caldeira, sendo ela, uma caldeira de 67 kgf/cm<sup>2</sup>, com produção de 126,80 t/h de vapor e 80% da capacidade. Nessas características, se obteve 1,91 toneladas de vapor por tonelada de bagaço consumido. (SILVA; MOURA, 2020).

Ainda com objetivo de se padronizar o processo, foi considerado um bagaço-de-cana com as especificações de umidade em 51,30% e poder calorífico inferior em 1.744,31 Kcal/Kg, também citado em Silva e Moura, 2020.

De acordo com Aliotte (2020), em seu trabalho para avaliar a precificação de biomassas, nessas especificações de caldeira, umidade e poder calorífico, 1 tonelada de bagaço equivale a 0,15 MWh.

A partir dos dados obtidos na equação 1, podemos estimar a produção de energia elétrica (Equação 2). No entanto, nem todo bagaço gerado pela usina pode ser considerado excedente, visto que uma parte deve ser utilizado no processo. Para a especificação da caldeira em 67 kgf/cm<sup>2</sup>, pode ser considerado um excedente de 30%, conforme indicado por (SOARES; ROSSEL, 2007).

$$\text{PGEE} = ((\text{EGBe}) \times 0,15 \text{ (Equação 2)})$$

Em que: PGEE = Potencial Geração de Energia Elétrica (MWh); EGBe =

Estimativa de Geração de Bagaço Excedente (t); 0,15 MWh/tonelada de bagaço.

### 3.4.Avaliação do potencial de etanol celulósico

Através da literatura, com dados de Silva (2009) e Nunes et al (2013) conseguimos estimar a produção de etanol celulósico levando em conta a composição química da biomassa, em especial a celulose exposta ao pré-tratamento juntamente com o potencial de conversão de celulose em etanol, também citado nos trabalhos de Silva (2009) e De Moura Nunes et al (2013).

Tabela 1 - Composição da Biomassa (Bagaço de Cana) (%)

| <b>Composição da Biomassa</b> | <b>Bagaço de cana-de-açúcar</b> |
|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>Celulose (%)</b>           | 43%                             |
| <b>Hemicelulose (%)</b>       | 26%                             |
| <b>Lignina (%)</b>            | 22%                             |

Fonte: Adaptado de NUNES et al, 2014

A partir do pré-tratamento do material, é possível se estimar o potencial de conversão da celulose em etanol, a qual é o principal objetivo de todo o processo. (Equação 3).

Ressalta-se que a equação citada, leva em consideração os dados avaliados por Silva (2009) em função pré-tratamento e potencial de conversão da celulose da biomassa em etanol, ambos estão apresentados nos quadros abaixo, sua composição juntamente com o potencial de conversão dessa celulose no biocombustível.

Tabela 2 - Celulose e Potencial de Conversão em Etanol (%)

| <b>Bagaço de cana-de-açúcar</b>        | <b>%</b> |
|----------------------------------------|----------|
| <b>Celulose</b>                        | 43%      |
| <b>Conversão de celulose em etanol</b> | 89%      |

Fonte: Adaptado de NUNES et al, 2014.

Dessa forma, podemos estimar potencial de produção de etanol celulósico, com base nos dados de produção agrícola da safra 2021/22 levando em consideração a equação abaixo (Equação 3):

$$\text{PPE} = ((\text{EGBe} \times \% \text{CL}) \times \% \text{CC}) / 0,789 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: PPE: Potencial de Produção de Etanol; EGB = Estimativa geração de bagaço excedente (t); %CL = Porcentagem de celulose na biomassa; %CC = Porcentagem de conversão de celulose em Etanol; 0,789 - (Massa específica etanol - 20°C) g/cm 10<sup>-3</sup>

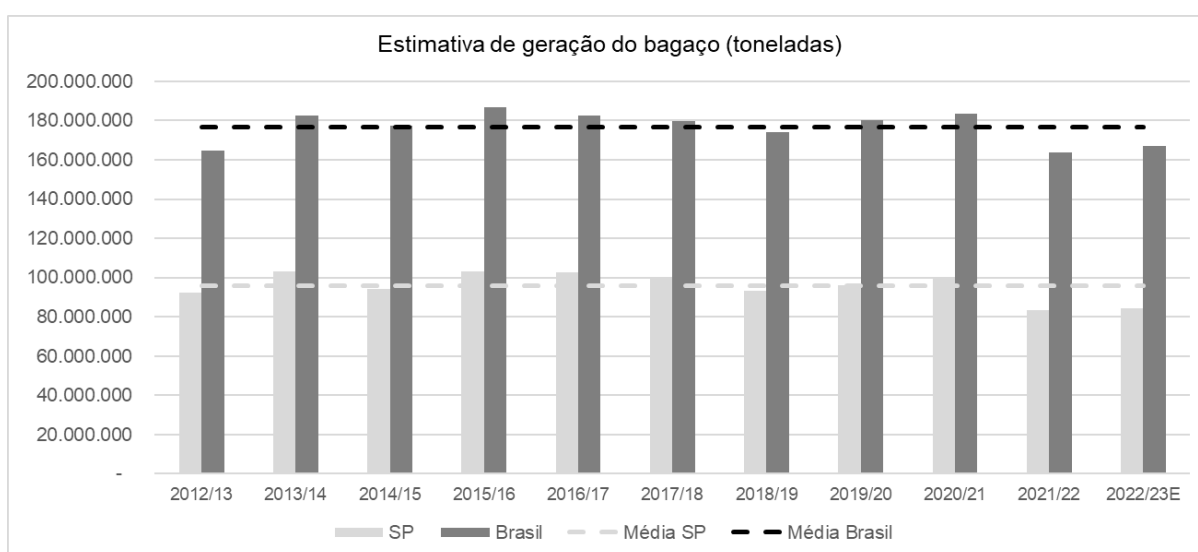
Para o processo de produção do bioetanol lignocelulósico, é necessário, de acordo com Nunes et al (2014):

1. Pré-tratamento (para que se aumente o acesso das enzimas com fim melhorar a digestibilidade da celulose).
2. A hidrólise dos polissacarídeos presentes na biomassa em açúcares aptos para a fermentação.
3. A Fermentação, para que os açúcares obtidos no processo anterior possam ser transformados em etanol, gás carbônico e outros subprodutos.
4. A destilação do resultante e a produção do etanol.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, se definiu a produção de bagaço-de-cana através da extração de dados de produção divulgados oficialmente pela Conab para a safra 2021/22 com base nas premissas já citadas durante o trabalho. Para isso, foi utilizada a equação 1.

Gráfico 3 - Estimativa de geração do bagaço (t)



Fonte: Dados da Pesquisa.

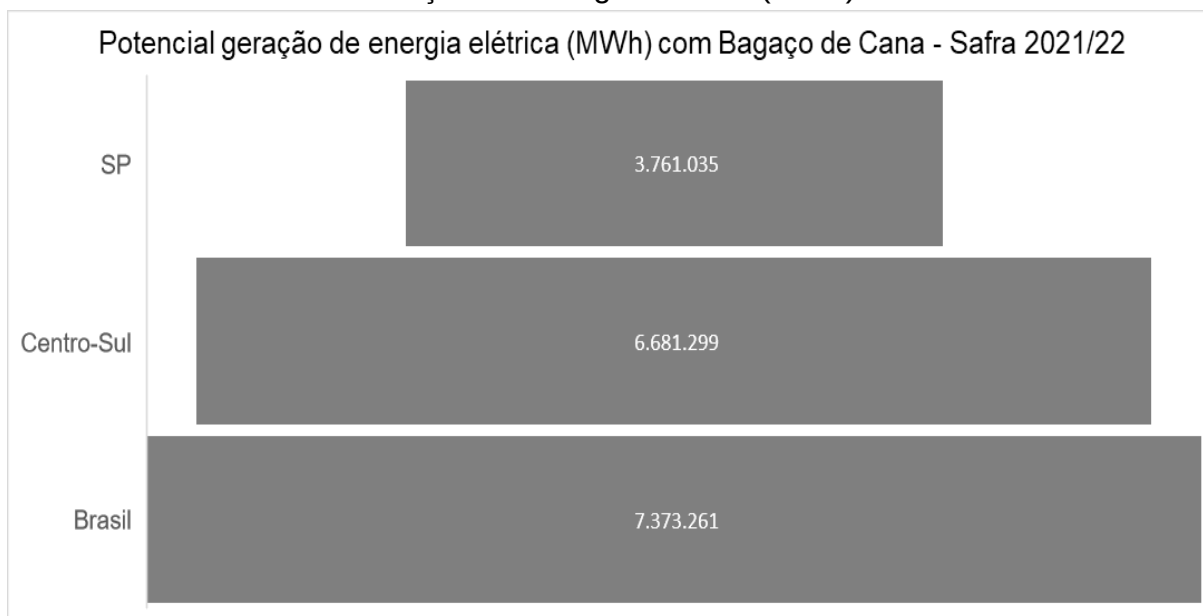
Diante das premissas apresentadas de produção de cana-de-açúcar, a

temporada 2021/22 teve uma geração de bagaço de 83.578.558 toneladas em São Paulo (Equação 1 - Gráfico 2), um número frente a média do estado desde a temporada 2012/13, também 12,58% menor, visto que considerando as premissas apresentadas, a curva de geração com bagaço de cana é diretamente proporcional à de produção de cana-de-açúcar. No entanto, nem todo bagaço gerado pela usina pode ser considerado excedente. Para a especificação da caldeira em 67 kgf/cm<sup>2</sup>, foi considerado um excedente de 30%, conforme indicado por (SOARES; ROSSEL, 2007), totalizando um excedente de 25.073.567 de toneladas.

Vale ressaltar, que o número de geração de bagaço pode ser bem maior, desde que fossem utilizadas caldeiras mais eficientes que hoje já estão disponíveis no mercado. No entanto, para se obter um padrão para essa eficiência, foi utilizada uma caldeira específica. Fica o incitamento à novas pesquisas, buscar uma média de eficiência de caldeiras no setor que possui desde processadoras muito antigas no mercado, até processadoras que se otimizaram ou surgiram nos últimos anos.

Com esses dados em mãos, podemos estimar potencial de geração de energia elétrica, com base nos dados de produção agrícola da safra 2021/22 levando em consideração a equação 2.

Gráfico 4 - Potencial de Geração de Energia Elétrica (MWh)



Fonte: Dados da pesquisa.

Com base nessas informações, podemos inferir que na capacidade da safra 2021/22 e na especificação de caldeira apresentada, o potencial de 3.761.035 MWh, é suficiente para abastecer com sobras, por um ano todo, duas das 3 maiores cidades

consumidoras do estado de São Paulo individualmente (Guarulhos e Campinas), além de cerca de 14% da cidade de São Paulo, no ano de 2020 (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE, 2020).

Em nível de comparação com as usinas hidrelétricas, a UHE Ilha Solteira tem potência instalada de 3.444,00MW com 20 unidades geradoras do tipo Francis (CTG Brasil, 2022). Já a UHE Itaipu, conta com potência instalada de 14.000,00MW com 20 unidades geradoras 700MW. A UHE Itaipu fornece cerca de 10,8% da energia consumida no Brasil, e 88,5% do Paraguai (ITAIPU, 2022).

Ressalta-se aqui, que MW é uma unidade de utilização para medição de potência. Já o MWh, é o quanto de energia é usada para alimentar certa carga, com uma potência estabelecida em um certo período. Para igualarmos as unidades, foi considerado um período de 1 ano, sendo equivalente à 8760 horas, considerando que as UHEs estejam com todas as unidades geradoras em 100% de funcionamento. Os dados estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3 - Energia Potencial – Comparação (MWh)

| <b>Geradora</b>                        | <b>Capacidade MWh</b> |
|----------------------------------------|-----------------------|
| <b>Itaipu<sup>1</sup></b>              | 122.640.000           |
| <b>UHE Ilha<sup>2</sup></b>            | 30.169.440            |
| <b>SP (Bagaço de Cana)<sup>3</sup></b> | 3.761.035             |

Fonte: 1 - Itaipu; 2 – CTG Brasil; 2 – Dados da Pesquisa

Com essas informações, podemos inferir que a capacidade de cogeração de energia com bagaço de cana na safra 2021/22 no estado de São Paulo, com as características da caldeira e premissas apresentadas representam em comparação a UHE Itaipu e UHE Ilha, respectivamente, 3,07% e 12,47%.

Em termos segurança energética, ressalta-se que a safra de cana-de-açúcar, vai de abril até março. No entanto, os grandes picos de safra, conforme boletins divulgados quinzenalmente pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), vão de abril até outubro, geralmente. Na América do Sul, o período seco costuma estar entre os meses de maio e setembro, com picos entre agosto e setembro (TEMPO, 2020). Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), em matéria publicada no dia 06/04/2021, o Sistema Interligado Nacional (SIN) registrou a pior afluência dos últimos 91 anos, considerando o período de setembro a março, fato esse que posteriormente colocaria o país em um estado de atenção energética, com abertura de leilões de emergência (CNN BRASIL, 2021). Com base nessas informações, a biomassa de



cana-de-açúcar é uma reserva bastante importante para auxílio em períodos de emergência e complemento da carga.

No caso do etanol de segunda geração (ou etanol celulósico), as premissas de geração de bagaço e excedente de bagaço na indústria são as mesmas apresentadas nos números de cogeração de energia elétrica. Portanto, as sobras de bagaço, considerando eficiência da caldeira e números de produção da safra 2021/22 estão na ordem de 25.073.567 de toneladas.

Conforme já citado nesta pesquisa, a composição do bagaço de cana é majoritariamente celulose, hemicelulose e lignina. Para a conversão dessa biomassa em etanol, é necessário converter seus compostos lignocelulósicos em açúcares fermentáveis, para que assim, seja produzido o etanol.

A partir dos resultados na equação 3, e considerando o teor de celulose no bagaço em 43% e potencial de conversão da celulose em etanol em 89% chegamos em um resultado de produção na ordem de 12.161.792 m<sup>3</sup>. Segundo a CONAB, o fechamento de safra para etanol de primeira geração no estado de São Paulo, foi na ordem de 11.943.736 m<sup>3</sup>. Com essas informações, podemos inferir que o potencial de expansão é da ordem de 102%, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Produção de Etanol (M<sup>3</sup>)

| <b>Região/UF</b>                                   | <b>SP</b>  |
|----------------------------------------------------|------------|
| <b>Etanol Total (m<sup>3</sup>)</b>                | 11.943.736 |
| <b>Potencial Etanol Celulósico (m<sup>3</sup>)</b> | 12.161.792 |
| <b>Potencial Expansão (%)</b>                      | 102%       |

\*Dados são referentes à produção divulgada pela CONAB para a Safra 2021/22. Fonte: CONAB, Dados da pesquisa

Ressalta-se que estamos apresentando uma produção de etanol adicional sem que se seja plantando nenhum hectare a mais da cultura da cana-de-açúcar. A produção é somente com a conversão de biomassa lignocelulósica que já é um resíduo da indústria sucroenergética.

Além disso, diante dos acordos firmados na COP26 e no acordo de Paris, essa alternativa pode ser tornar uma excelente oportunidade para o cumprimento das obrigações de descarbonização.

## 5 CONCLUSÕES

- ✓ A capacidade de cogeração de energia elétrica se mostrou bastante interessante como alternativa para a segurança energética no país, em especial durante o período seco e em emergências no Sistema Interligado Nacional (SIN);
- ✓ No caso do etanol de segunda geração a capacidade do país em produzir o biocombustível seria duplicada, com base no fechamento 2021/22 (CONAB, 2022). Pensando nas metas de descarbonização, especialmente em alternativas aos combustíveis fósseis o valor agregado é maior ainda, colocando na mesa que nenhum hectare a mais da cultura teriam que ser plantados (NASTARI, 2019);
- ✓ Desta forma, recomenda-se a busca por caldeiras com mais eficiência no processo, fazendo com que o potencial de geração de bagaço seja maior e consequentemente os produtos agregados também aumentem seu volume. Além disso, a busca de novas tecnologias agrícolas para incremento no potencial produtivo da cultura. Em novas pesquisas, deve-se avaliar a viabilidade de cogeração em períodos sazonais do setor elétrico, especialmente com valores de PLD (Preço de liquidação das diferenças) elevados e reservatórios baixos. No caso do Etanol de Segunda Geração, a avaliação tem que ser baseada nos custos de produção para o biocombustível nas etapas de processo (pré-tratamento, hidrólise e fermentação) e no microrganismo utilizado no processo.
- ✓ Conclui-se que o bagaço da cana-de-açúcar possui valor agregado para que o Brasil possa cumprir parte de suas metas de descarbonização e garantir em períodos sazonais a segurança energética do país, podendo abastecer o sistema interligado nacional (SIN) com um adicional considerável.

## REFERÊNCIAS

ALIOTTE, F. F. **Indicador de preço para valoração da biomassa a partir da geração de vapor no estado de São Paulo**. 2020. Tese de Doutorado. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/29032>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

ANP, **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2015. Acesso em 12/11/2022.

ATLAS DE BIOENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo: IEE-USP, 2020. 250p. Disponível em: <[http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/sites/default/files/Atlas\\_Bioenergia\\_SP\\_2020\\_livro\\_DIGITAL\\_FinalV2.pdf](http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/sites/default/files/Atlas_Bioenergia_SP_2020_livro_DIGITAL_FinalV2.pdf)>. Acesso em 28 ago. 2022.

BACCARIN, J. G.; OLIVEIRA, A. J.; MARDEGAN, E. G. **Monocultura e concentração da terra: efeitos da expansão da cana-de-açúcar na estrutura fundiária do Estado de São Paulo**, Brasil. Revista NERA, v. 23, n. 55, 2020. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/6958/0>>. Acesso em 15 mai. 2022.

BARRETO, D. A. A.; BORGES, F. G. P. **A presença dos atravessadores na cadeia produtiva do açaí no Estado do Amapá: transportadores tradicionais capitalistas ou operadores logísticos? Uma perspectiva sob a ótica de Fleury**. Brazilian Journal of Development, v. 4, n. 6, p. 2923-2938, 2018. Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/299>>. Acesso em 22 mai. 2022.

CANAONLINE. **Tonelada de bagaco de cana chega a custar 400 reais em 2021**. 2022. Disponível em: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/tonelada-de-bagaco-de-cana-chega-a-custar-400-reais-em-2021.html>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

CCEE, CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Comercialização**. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/mercado/procedimentos-de-comercializacao>>. Acesso em 22 mai. 2022.

CNN BRASIL. **Leilão emergencial de energia contrata 17 projetos ao custo de R\$ 39 bi até 2025**. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/leilao-emergencial-de-energia-contrata-7755-mw-medios-e-122-gw-de-potencia/>>. Acesso em 12 out. 2022.

COGEN, Associação da indústria de cogeração de energia. **Conceito e tecnologias**. Disponível em: <<https://www.cogen.com.br/cogeracao/conceito-e-tecnologias>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de cana-de-açúcar**. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em 15 mai. 2022.

CTG BRASIL. **Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira**. 2022. Disponível em: <<https://www.ctgbr.com.br/usina-hidreletrica-ilhasolteira/>>. Acesso em 12 out. 2022.

ENTRETESES. **Uso de bagaço da cana abre novas possibilidades**. 2013. Disponível em: <<https://www.unifesp.br/reitoria/dci/edicoes-anteriores-entreteses/item/2280-uso-de-bagaco-da-cana-abre-novas-possibilidades>>. Acesso em 12 out. 2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional, ano base 2021**. 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em 18 set. 2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2031**. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>>. Acesso em 18 set. 2022.

EZEQUIEL, J. M. B.; GALATI, R. L.; MENDES, A. R., FATURI, C. **Desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore em confinamento alimentados com bagaço de cana-de-açúcar e diferentes fontes energéticas**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 35, p. 2050-2057, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbz/a/dkpCKLhnRHFBgmYWzsPP7xF/?lang=pt>>. Acesso em 12 out. 2022.

FAESP/SENAR. **FAESP divulga balanço da safra de cana 2021/22 e perspectivas da safra 2022/23**. 2022. Disponível em: <<https://faespsenar.com.br/faesp-divulga-balanco-da-safra-de-cana-2021-22-e-perspectivas-da-safra-2022-23/>> Acesso em 22 mai. 2022.

FIGUEIREDO, D. C. **Projeto geosafra sistema de previsao de safras da conab**. Revista de Política Agrícola, v. 14, n. 2, p. 110-120, 2005. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/543>>. Acesso em: 15 mai. 2022.

FILIPPI, A. C. G; GUARNIERI, P. **Novas formas de organização rural: os Condomínios de Armazéns Rurais**. Revista de economia e sociologia rural, v. 57, p. 270-287, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/resr/a/5dDryVXVj3c5J9TgmQFZ7xr/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em 22 mai. 2022.

G1. Crise hídrica: **Aneel aprova leilão para contratação emergencial de energia elétrica**. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/crise-da-agua/noticia/2021/10/05/crise-energetica-aneel-aprova-leilao-para-contratacao-emergencial-de-energia.ghtml>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M; GALVAO, L. C. R. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100021&script=sci\\_arttext#:~:text=Aproximadamente%2011%25%20da%20energia%20produzida,parte%20em%20forma%20n%C3%A3o%20comercial.](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100021&script=sci_arttext#:~:text=Aproximadamente%2011%25%20da%20energia%20produzida,parte%20em%20forma%20n%C3%A3o%20comercial.)> Acesso em: 27 ago. 2022.

IEA (Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo). **Banco de dados**. Disponível em <<http://www.iea.sp.gov.br>>.

ITAIPU. **Itaipu Binacional**. 2022. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-impressao/perguntas-frequentes>>. Acesso em 12 out. 2022.

LOUREGA, L. O. **Análise da participação do complexo soja nas exportações do Brasil no período de 2004 a 2014**. 2015. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/3174>> Acesso em 22 mai. 2022.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema de acompanhamento da produção canavieira**. 2022. Disponível em: <<https://sistemasweb4.agricultura.gov.br/sapcana/downloadBaseCompletaInstituicao!downloadArquivoXLS.action>>. Acesso em 09 out. 2022.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1996. 231 p.

MFRURAL. **Compra e venda de produtos agro em todo Brasil**. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/>>. Acesso em; 22 mai. 2022.

MMA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **CMSE avalia as condições de atendimento ao SIN e iniciativas para a transição para o período seco 2021**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/cmse-avalia-as-condicoes-de-atendimento-ao-sin-e-iniciativas-para-a-transicao-para-o-periodo-seco-2021>>. Acesso em 12 out. 2022.

MOURA NUNES, R. et al. **Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil**. Revista liberato, v. 14, n. 22, p. 135-150, 2013. Disponível em <<https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/223>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

NASTARI, P. M. **Quarenta anos do carro a etanol**. AgroANALYSIS, v. 39, n. 12, p. 20-21, 2019. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/80847>>. Acesso em 19 set. 2022

NUNES, E. F. Cana-de-açúcar: **A produção de etanol e seus benefícios**. 2017. Disponível em: <<https://brt.ifsp.edu.br/phocadownload/userupload/213354/IFMAN170005%20CANA%20DE%20ACAR%20A%20PRODUO%20DE%20ETANOL%20E%20SEUS%20BENEFICIOS.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

OLIVEIRA, T. S.; ROCHA, V. R. J.; REIS, S. T.; AGUIAR, E. F.; SOUZA, A. S.; SILVA, G. W. V.; DUTRA, E. S.; SILVA, C. J.; ABREU, C. L.; BONALTI, F. K. Q. **Composição química do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com diferentes doses de uréia e soja grão**. Arquivos de zootecnia, v. 60, n. 231, p. 625-635, 2011. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922011000300051>>. Acesso em 21 mai. 2022.

OLIVEIRA, V. R.; FREIRE, F. M.; VENTURIN, R.; CARRIJO, O. A.; MASCARENHAS, M. H. T.; **Chemistry characterization of growing media**. Revista da Associação Brasileira de Horticultura. 2002.

RAELE, R.; BOAVENTURA, J. M. G.; FISCHMANN, A. A.; SARTURI, G. **Scenarios for the second generation ethanol in Brazil**. Technological Forecasting and Social Change, v. 87, p. 205-223, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004016251300317X>>. Acesso em 12 jun. 2022.

RAÍZEN. **Fato relevante**. 2021. Disponível em: <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/c016735f-1711-48ce-919f-a8c701b83c19/4d65d905-6eec-0532-e755-2f809400ee64?origin=1>>. Acesso em 31 ago. 2022.

RAÍZEN. **Nossos negócios – renováveis**. 2022. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/nossos-negocios/renovaveis>>. Acesso em 12 out. 2022.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. **A energia elétrica no estado**. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/infraestrutura/coordenadorias/coordenadoria-de-energias-eletrica-e-renovaveis/a-energia-eletrica-no-estado/>>. Acesso em 18 set. 2022.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. **Consumo de energia no estado de São Paulo**. 2020. Disponível em: <<https://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/Portalcev2/Municipios/ranking/index.html>>. Acesso em 22 mai. 2022.

SILVA, M. A. M.; MARTINS, R. C. **A degradação social do trabalho e da natureza no contexto da monocultura canavieira paulista**. Sociologias, v. 12, p. 196-240, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/soc/a/T3fJpD4S5B3qvLm5jfCPMhF/abstract/?lang=pt>>. Acesso em 27 ago. 2022.

SILVA, P. I.; MOURA, A. A. de O. **Análise da viabilidade do uso de bagaço de cana-de-açúcar e cavaco para geração de vapor.** 2020. Disponível em: <<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/An%C3%A1lise%20de%20Viabilidade%20do%20uso%20de%20baga%C3%A7o%20e%20cavaco.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

SILVA, R. N.; DE LIMA, F. E. **Estudo do impacto do teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar em sistemas de cogeração.** Revista Geama, v. 6, n. 2, p. 25-33, 2020. Disponível em: <<http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3029/482483745>>. Acesso em 09 out. 2022.

SILVA, V. F. N. **Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico.** 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97131/tde-22082013-084521/en.php>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

SOARES, P. A.; ROSSELL, C. E. V. **Conversão da Celulose pela tecnologia Organosolv.** NAIPPE/USP. 3.vol, 2007. 29p. Disponível em: <[http://www.naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro\\_Naippe\\_Vol3.pdf](http://www.naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro_Naippe_Vol3.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2022.

TEMPO, T. **Período seco e queimadas no Brasil: o pior ano para o Pantanal.** 2020. Disponível em: <<https://www.tempo.com/noticias/actualidade/periodo-seco-e-queimadas-no-brasil-o-pior-ano-para-o-pantanal.html>>. Acesso em 12 out. 2022.

UNICA, União da indústria de cana-de-açúcar. **Bioeletricidade em números.** 2020. Disponível em: <<https://unica.com.br/wpcontent/uploads/2020/10/BoletimUNICABioeletricidadeSETEMBRO2020.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

VALOR, E. **Metas de descarbonização pressionam a indústria.** 2022. Disponível em: <<https://valor.globo.com/publicacoes/suplementos/noticia/2022/10/04/metas-de-descarbonizacao-pressionam-a-industria.ghtml>>. Acesso em: 13 set. 2022.