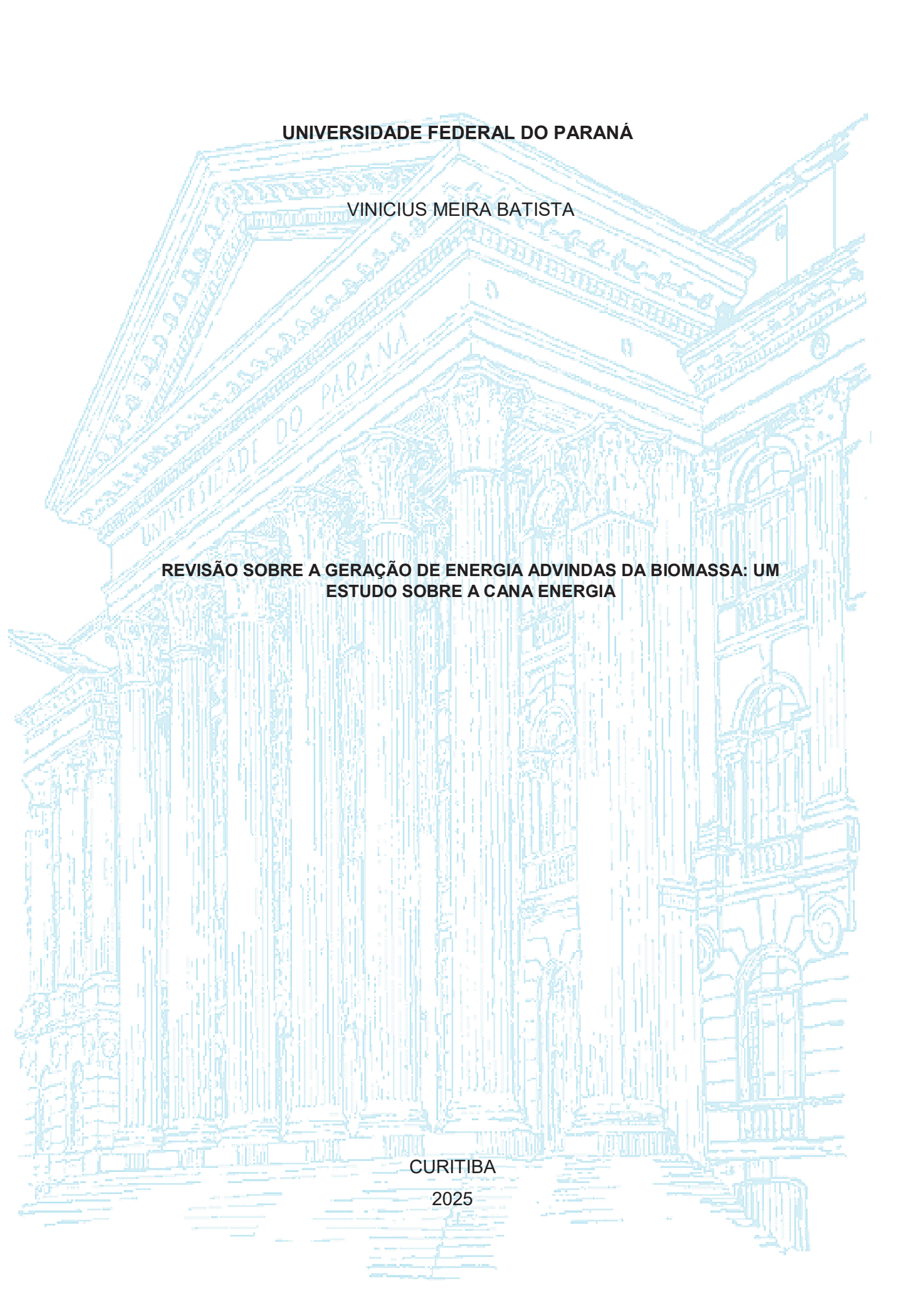




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VINICIUS MEIRA BATISTA

**REVISÃO SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ADVINDAS DA BIOMASSA: UM
ESTUDO SOBRE A CANA ENERGIA**

CURITIBA

2025

VINÍCIUS MEIRA BATISTA

**Revisão Sobre a Geração de Energia Advindas da Biomassa: um Estudo sobre a Cana
Energia**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Bessalhok Filho

Curitiba

2025

Resumo

O presente trabalho faz revisão dos conceitos e aspectos técnicos da cana energia como a gente gerador de energia, passando pelos aspectos da geração de energia proveniente da biomassa até o etanol G2. Visando elucidar o atual cenário da cana energia no Brasil, bem como as perspectivas futuras dessa tecnologia. O desenvolvimento deste foi baseado em diversos trabalhos disponíveis para livre acesso na plataforma do Google Acadêmico e Scielo para obtenção de uma visão clara que pudesse elucidar e explicar os aspectos do desenvolvimento da cana energia. Embora seu potencial não possa ser descartado, a cana energia está muito longe de ser uma realidade no Brasil. O avanço lento de tecnologias como o etanol de segunda geração pesou muito para que houvesse um entrave no seu desenvolvimento. Com uma nova abordagem é possível que essa tecnologia ainda venha a ter um espaço no mercado, mas esse ainda se mostra um futuro distante da atual situação apresentada, sendo refletida inclusive no investimento dado a essa tecnologia.

Palavras-chave: Cana-energia, etanol G2 e biomassa.

Abstract

This work reviews the concepts and technical aspects of energy sugarcane as an energy generator, going through aspects of energy generation from biomass to G2 ethanol. Aiming to elucidate the current scenario of energy sugarcane in Brazil, as well as the future prospects of this technology. The development of this was based on several works available for free access on the Google Scholar and Scielo platforms, to obtain a clear vision that could elucidate and explain aspects of the development of energy sugarcane. Although its potential cannot be discarded, energy sugarcane is very far from being a reality in Brazil. The slow advancement of technologies such as second generation ethanol weighed heavily on its development. With a new approach, it is possible that this technology will still have a place in the market, but this still appears to be a distant future from the current situation presented, even being reflected in the investment given to this technology.

Keywords: Cane energy, G2 ethanol and biomass.

Sumario

1 INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	6
2.1.1 Objetivo geral	6
2.1.2 Objetivos específicos	6
3. REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Energia	7
3.1.1. Matriz Energética Brasileira	7
3.1. 2. Biomassa no Brasil	8
3.2. Cana Energia	8
3.2.1 Características	9
3.2.2 Melhoramento da cana energia no Brasil	9
3.3. Barreiras e Potencial a ser explorado	10
3.3.1 Etanol de segunda geração	11
3.3.2 Queima do bagaço	13
4. MATÉRIAS E MÉTODOS	13
5. RESULTADOS	14
6. CONCLUSÃO	17
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia, impulsionada exponencialmente pelo surgimento de novas tecnologias como a Inteligência Artificial, tem alimentado a busca pela ampliação e diversificação das matrizes energéticas, visando especialmente as soluções com maior grau de sustentabilidade. Nesse cenário, a fonte energética que apresenta uma participação importante e com um grande horizonte ainda a ser explorado é a biomassa. Nessa categoria o insumo mais representativo no Brasil e no mundo é a queima do bagaço proveniente do processamento da cana-de-açúcar. Visando a expansão do potencial de produção de energia, têm sido lançadas no mercado novas variedades com maior concentração de fibras e que consequentemente produzem mais bagaço. Essa linha de variedade é conhecida como cana energia.

Para a otimização dessa nova tecnologia é imprescindível o real entendimento sobre ela. Buscando avaliar uma gama de informações sobre a cana energia o presente trabalho visa reunir as informações mais relevantes para elucidar as características dessa linha, bem como a real situação sobre a sua difusão.

2. OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo geral

Compreender os conceitos básicos da cana energia, bem como o seu potencial para geração de energia.

2.1.2 Objetivos específicos

Conjecturar se o potencial teórico dessa linha se mostrou viável e quais as perspectivas futuras.

3. REVISÃO DE LITERATURA

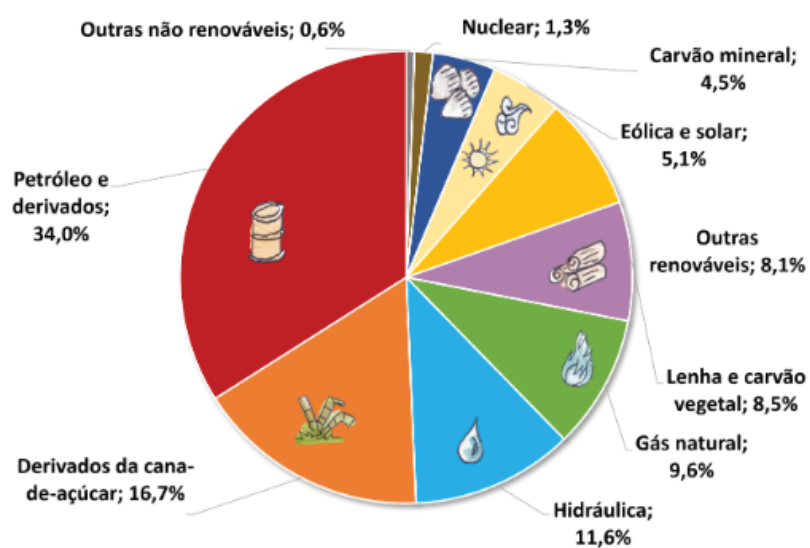
3.1 Energia

3.1.1. Matriz Energética Brasileira

A crescente demanda por energia, bem como o agravamento das tensões políticas demonstraram a fragilidade de depender de uma única fonte de energia. Nesse sentido, diversos países correm para aumentar a diversificação da sua matriz energética.

Nesse ponto, a matriz energética brasileira apresenta uma maior diversidade se comparada ao restante do mundo (Figura 1).

Figura 1: REPRESENTAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL NO ANO DE 2024



Fonte: BEN (2025), adaptado por EPE (2025)

Podemos observar que cerca de 60% da energia provem de fontes não renováveis (petróleo, carvão mineral e gás natural), demonstrando que mesmo nesse cenário favorável às energias renováveis ainda há um grande mercado e espaço para crescimento destas. Uma das fontes de maior potencial para o Brasil é a utilização da biomassa, dentre qual a principal representante é a cana-de-açúcar.

- 3.1. 2. Biomassa no Brasil

A biomassa pode servir como fonte de energia de diversas formas, originando compostos como álcool e óleos vegetais, que processados servem como combustíveis, bem como fontes de calor através da queima direta (ex: carvão vegetal) (Santos et al, 2017). No Brasil, como já salientado, atualmente, a biomassa mais utilizada para geração de eletricidade é proveniente da cana-de-açúcar, a qual pode gerar energia tanto a partir do etanol como da queima do bagaço.

No Brasil, a produção do etanol foi impulsionada pelo governo federal a partir de incentivos como o Proálcool, uma tentativa – bem-sucedida – de gerar uma alternativa aos combustíveis fósseis, que tiveram grave crise na década de 70 (Leite, 2007). Contudo, ainda hoje essa é uma questão importante, pois os combustíveis renováveis ganham cada vez mais enfoque devido a questões ambientais, que tem pressionado os países a buscarem alternativas para diminuir os GEE's.

Historicamente o Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor do mundo de etanol (RFA, 2025). Visando uma maior produção, sem a necessidade de expansão da área agrícola, o etanol de segunda geração começou a ser estudado. Pensando nisso uma linha de cana passou a ser selecionada, a cana energia.

3.2. Cana Energia

A *Saccharum officinarum* possui como característica intrínseca a capacidade de converter fotoassimilados em sacarose e armazena-los (Wilfred, 2008). Todavia esse preciosismo pelo aumento da produtividade diminuiu o metabolismo secundário das plantas, ou seja, baixo teor de fibra e menor resistência a estresses e doenças.

Contudo, indo na contramão do melhoramento tradicional e visando uma maior produção de fibras, foram desenvolvidos híbridos tendo alto vigor e alta produção de biomassa. Todavia, essas características implicam em variedades com menor teor de açúcar, sendo necessário a gestão cuidadosa dessas pelas usinas.

- 3.2.1 Características

Ao contrário da cana-de-açúcar, a cana energia é menos exigente em fertilizante e água, além de possuir maior rusticidade, sendo mais resistente ao frio e necessitando de replantio uma vez a cada dez anos apenas – em contraste, na cana-de-açúcar convencional cujo período seria de cinco anos (Serra et al., 2008, citado por Da Silva, 2014). Em razão do seu vigoroso e abundante sistema radicular fasciculado – possui maior capacidade de formar rizomas –, apresenta ótima eficiência no controle de erosão e recuperação de áreas degradadas.

Conforme Tew e Cobil (2008) podemos diferenciar a cana energia em duas divisões:

- Tipo I: descrito como uma cana mais próximo da cana-de-açúcar convencional, pois apresenta teor de sacarose semelhante e maior conteúdo de fibra. Portanto com menor pureza (baixa proporção de sacarose sobre açúcares redutores - recuperação eficiente do açúcar)

- Tipo II: caracterizada por apresentar teor de açúcar menor, porém com uma proporção muito maior de fibras, sendo destinada especificamente para produção de biomassa.

3.2.2 Melhoramento da cana energia no Brasil

O Brasil ocupa a vanguarda do melhoramento da cana-energia, com iniciativas já consolidadas de melhoramento como a genômica, transgenia e parceria público-privada. No cenário internacional, embora haja interesse crescente, o desenvolvimento segue focado no melhoramento das variedades convencionais.

Contudo acreditasse que as futuras cultivares de cana devem apresentar um teor lignocelulósico maior, como maior produtividade de biomassa (Silveira, 2014). Mesmo que não seja para o fim da cana energia o aumento do teor de fibra na cana-

de-açúcar é um ponto de atenção dos pesquisadores e melhoristas, visto que essa confere maior rusticidade aos clones e mais capacidade de tolerância as injúrias.

No Brasil grande centros de pesquisa com a Ridesa e CTC, já pesquisaram muito sobre esse assunto, mas a dificuldade a adaptação das usinas a essa tecnologia, parecem ter inviabilizado o projeto. Reflexo disso é a baixa quantidade de trabalhos que abordem variedades com essa característica.

No setor privado, todavia, a cana energia pode ter ganhado uma sobrevida, empresas como a Granbio tentam impulsionar o mercado através de uma visão mais conservadora, com um equilíbrio maior entre a produção de fibras e ATR. As Canas Vertex (Canaonline, 2024), tentam justamente explorar os ambientes mais restritivos, devido a sua adaptabilidade a solos de baixa fertilidade e teores de fibra que podem ultrapassar os 18%. Dentre essas variedades temos a Vertex 3 que como aponta Silva et al. (2019), apresenta um teor de fibra médio de 15,10% em contraste com os 14,16% da variedade convencional. Somado a isso, quanto à avaliação energética da unidade de fibra seca, apresentou resultados superiores em até 17% superior à cana convencional.

Além disso, outra técnica de melhoramento utilizada para a melhoria da matéria prima e aumento de produtividade para produção de etanol G2 é a superexpressão fatores de transcrição. Segundo Takahashi (2021) na variedade de cana energia Vx2SHN252, a superexpressão do fator ShSHN1 apresentou aumento no diâmetro do colmo e no teor de fibra, respectivamente de 22% e 21% em contraste com a testemunha utilizada.

3.3. Barreiras e Potencial a ser explorado

A principal barreira para o avanço da cana energia é justamente o seu acúmulo de açúcar. A proposta original de Alexander se restringia apenas a canas Tipo I, desse modo tanto o menor teor de açúcar quanto a menor pureza foram fatores determinantes para a baixa adesão às suas ideias. Visto que suas características a

tornavam um meio termo, pouco atrativo para as duas finalidades, com uma pureza menor do que a cana convencional, mas também menos fibras que a cana energia tipo II. Alexander reconheceu a restrição dessa cana para a produção de açúcar mais defendeu uma série de opções para o melhor emprego dessas variedades (Matsuoka, 2014). Embora as tecnologias citadas a seguir não sejam exclusivas da cana energia, já existindo na cana tradicional, o aumento do teor de fibra na cana tradicional surge como uma forma de otimizar esses processos.

3.3.1 Etanol de segunda geração

O mundo se depara atualmente com a perspectiva de um significativo aumento na demanda por etanol. Para evitar que haja o limite da oferta ou a competição pelo uso da terra para a geração de energia e produção de alimentos, especialmente em locais que não dispõem de clima favorável ou extensão territorial para cultivo, torna-se necessário investir no desenvolvimento de tecnologias de segunda geração de produção de etanol. (Embrapa, 2011). Embora a tecnologia dominante em funcionamento no Brasil para produção de etanol é a de primeira geração, o etanol de segunda geração vem sendo estudado. O que diferencia a produção de etanol de primeira geração e segunda geração é que, no caso da segunda geração, ocorrem as etapas de pré-tratamento, além da hidrólise da celulose antes da fermentação. (Matins, 2018).

A tecnologia do etanol de segunda geração permite o processamento do bagaço e palha da cana-de-açúcar, que são biomassas classificadas como lignocelulósicas. Destaca-se o fato de que dois terços da cana-de-açúcar são constituídos de material lignocelulósico (Tabela 1), indicando grande potencial energético. Caso essa fonte energética seja aproveitada estimasse que a produção de álcool possa ser aumentada em até 40% para uma mesma área plantada.

Tabela 1: COMPOSIÇÃO BÁSICA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR.

Componentes	%
Celulose	46
Hemicelulose	27
Lignina	10
Outros	17

Fonte: Oliveira (2011), adaptado pelo autor

O material lignocelulósico é constituído de três tipos de polímeros: celulose, hemicelulose e lignina, com características e composição distintas entre si, conforme apresentado a seguir. (Tabela 2)

Tabela 2: DIFERENÇA DOS COMPONENTES DO MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

Componente	Composição química	Estrutura	Função
Celulose	Polímero de Glicose	Cadeia linear e altamente ordenada	Proporciona resistência mecânica e estrutura à parede celular
Hemicelulose	Complexo de polímeros	Cadeia ramificada, de menor peso molecular que a celulose	Confere flexibilidade, agindo como "cola" entre a celulose e a lignina
Lignina	Polímero aromático de fenilpropanóides	Estrutura complexa, tridimensional e amorfa	Proporciona rigidez, impermeabilidade e resistência

Fonte: adaptado pelo autor com base em Ogata (2013); Souza (2020)

Para o aproveitamento da celulose é necessário realizar o pré-tratamento do bagaço, para separação da celulose da hemicelulose. A primeira então é hidrolisada e em seguida fermentada. Esta hidrólise é feita pela ação de enzimas, produzindo glicose. (Embrapa, 2011).

Atualmente uma das principais detentoras da tecnologia do etanol 2G é a Raízen. Sendo a única empresa a conseguir produzir de forma escalonável esse etanol, ela conta com uma planta em Piracicaba (operante desde a safra 2014/2015). Sendo que atualmente outras duas plantas foram entregues recentemente. Uma Guariba e outra em Tarumã. Sendo que segundo informações da própria empresa

ainda há a previsão da expansão e desenvolvimento de outras 20 plantas nos próximos 10 anos (Raízen, 2023).

- 3.3.2 Queima do bagaço

Representando de 25% a 30% do peso da cana-de-açúcar, o bagaço tem sido tradicionalmente aproveitado para gerar o calor utilizado na produção de açúcar e etanol. O bagaço da cana-de-açúcar é gerado a partir do processo de moagem da cana, sendo as fibras que sobram desse processo. (Maia, 2022).

Do ponto de vista energético, as usinas sempre produziram um grande volume de bagaço, tornando-se um grande transtorno quanto à disposição deste bagaço na natureza. Diante deste fato, as usinas instalaram ao longo dos anos, modelos que consomem todo esse subproduto sem deixar nada sobrar. Em uma unidade de cogeração, o vapor produzido nas caldeiras é utilizado para produzir calor de processo, realizando trabalho mecânico nas turbinas de processo e produzindo energia elétrica (Galbiati, 2010). O uso da cana energia pode representar um acúmulo importante de bagaço para o início da safra, uma vez que mais bagaço é produzido à medida que a usina avança na safra, o emprego dessa tecnologia pode representar um folego a mais para as usinas.

Para o aproveitamento da energia proveniente do bagaço as usinas utilizam a queima deste para a geração de energia, a adaptação destas usinas são chamadas de estruturas de cogeração de energia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa aborda uma revisão bibliográfica dos conceitos básicos em contraste com o posicionamento atual da cana energia, buscando implementar o conceito no qual a ideia foi concebida com o que possuímos de referência atualmente. Para tal fim, foram abortados e analisados materiais publicadas tanto em âmbito

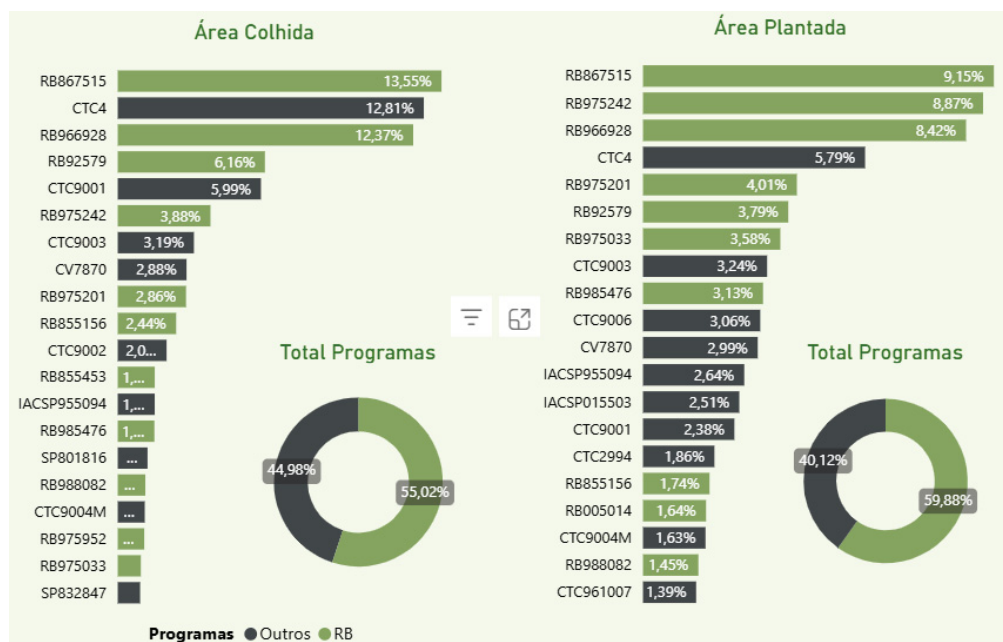
nacional quanto internacional. Os materiais consultados para elaboração desse trabalho foram obtidos e estão disponíveis para livre acesso na plataforma do Google Acadêmico e Scielo nos últimos 10 anos.

Durante o estudo foram comparados diferentes pontos de vista sobre a aplicabilidade e futuro da cana energia, a fim de poder chegar a uma visão menos parcial e mais assertiva sobre o espaço e potencial dessa tecnologia. Sendo consultados autores como Pacheco (2021); Martins (2018); Garcez (2024); Maia (2022); Embrapa (2025); Silva (2019); Valadão (2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como podemos ver na Figura 2 que a cana energia apesar de ter sido apresentada a mais de 40 anos não configura entre as principais variedades plantadas hoje. O que parece demonstrar que tal tecnologia caminha a passos lentos. Muito disso se justifica pois embora essa tecnologia possa ser usada para a geração de energia através da geração de biomassa, sua concepção inicial, é de que está fosse utilizada para a geração de etanol de G2, o que justificaria a perda de sacarose. Esperava-se também que a competição entre as áreas plantadas destinadas às *commodities* x alimentação humana obrigassem as empresas a verticalizar sua cadeia para expandir sua produção. Todavia, as áreas agricultáveis no mundo de forma geral, ainda está em constante expansão (Freitas, 2022).

Figura 2: CENSO VARIETAL DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL NO ANO DE 2024



Fonte: Ridesa (2025)

Visto que a pressão necessária para a quebra da celulose é necessária que haja uma pressão superior as aguentadas pelas caldeiras convencionais das usinas (EMBRAPA, 2025). Como atualmente adaptar uma usina para a produção do etanol G2 tem se mostrado tão caro quanto a construção de uma planta do zero, essa ideia tem sido desacelerada. Essa limitação técnica compromete a capacidade de gerar excedentes energéticos significativos, dificultando a viabilidade econômica da atividade

Embora essa ideia pareça ser a frente do seu tempo, seu potencial intrínseco não pode ser deixado de lado. Uma vez que cedo ou tarde as fronteiras agrícolas realmente cessarão sua expansão sendo necessária otimizar a produção com a mesma área, e nesse quesito a cana energia apresenta realmente ser imbatível na produção de energia por hectare. Pois como afirmado anteriormente a maior concentração de fibras da cana energia favorece o seu uso em processos termoquímicos, como a combustão, a gaseificação e a pirólise. Estudos mostraram que o seu poder calorífico foi superior a 4.075,7 cal/g, tornando-a altamente eficiente para geração de bioeletricidade (SILVA, 2016).

Atualmente, buscando uma maior viabilidade dessa tecnologia, os programas têm buscado uma nova abordagem sobre a cana energia. Compreendendo a real empregabilidade dessa tecnologia o cenário pode sim se tornar mais favorável a essa. Um exemplo disso são as variedades Vertex 3 e 12, cujas características a tornaram uma alternativa viável para os ambientes mais restritivos.

A continuidade desse aporte financeiro tanto em âmbito nacional com internacional poderia ser um agente que acelerasse esse desenvolvimento. Todavia as empresas tradicionais, referencias na área de melhoramento de cana, tem dado pouco enfoque para essa linha, muito em função da dificuldade portabilidade da proposta teórica com a realidade do setor (BBC, 2025).

Tendo uma visão dos fatos, não podemos cair na irrealidade de certas propostas que parecem ser uma solucionadora de todas os problemas. A “supercane” anunciada pelo empresário Eike Batista em 2025 promete revolucionar o setor com um aumento de três vezes mais etanol e 7 a 12 vezes mais bagaço por hectare (BBC, 2025). Segundo o mesmo o projeto já conta com um aporte de US\$ 500 milhões do fundo do Golfo Pérsico. Todavia, devemos ser relutantes com essas propostas muito extravagantes e que muito provavelmente fogem a realidade.

Diferentes meios de noticia já começaram a relatar os problemas enfrentados pela “supercane”. O Investnews (2025) comparou a produção que Eike afirma que a tecnologia alcançará, com a produtividade atual da Raizen, a qual resultaria numa produção de seis vezes mais por hectare, uma quantidade no mínimo muito otimista. Esse valor apresenta-se até acima do valor teórico máximo para a cana-de-açúcar, que desconta as interferências ambientais, baseando-se apenas na fisiologia da cultura, sendo que este valor fica próximo a 400 toneladas por hectare (Waclawovsky, 2010). Além disso, apesar da propaganda sobre a “supercane” ter se intensificado agora, a ideia não é totalmente nova, pois segundo notícia da invertnews (2025), o projeto baseia-se em utilizar pelo menos um quarto das variedades da antiga Vignis, empresa que faliu em 2018.

Como qualquer inovação é necessário tempo para aperfeiçoá-la. Pegamos com o exemplo o carro elétrico, um conceito concebido na década de 1880 (Hoyer, 2008), mas que apenas recentemente se demonstrou escalável. Portanto embora,

ainda não tenhamos atingido um ponto crítico quanto as fronteiras agrícolas ou a produção de energia, é necessário estar sempre um passo à frente para não ser pego desprevenido. Sendo que em meio a cenários cada vez mais imprevisíveis torna-se irreal fazer previsões sobre cenários vindouros, todavia, desenvolver uma biomassa capaz de otimizar a produção de energia por área plantada parece ser algo a não se deixar de lado. Fato é que essa tecnologia se mostra com um potencial que ainda não parece ter sido alcançado pela atual luz dos fatos.

6. CONCLUSÃO

Embora a geração de energia através da biomassa tenha um papel fundamental nas usinas, alimentando as caldeiras para a produção do etanol, sendo responsável ainda pela venda de energia e um acréscimo significativo na renda das usinas, isso ainda é proveniente da queima do bagaço. O avanço lento do etanol G2 se mostrou um entrave no avanço comercial das primeiras variedades de cana energia, visto que essa era muito pouco eficiente no acúmulo de açúcar. Portanto a geração de energia de biomassa nas usinas era uma forma de aproveitar o residual da produção de etanol. Tendo isso em vista novas variedades, como a Vertix, buscaram um equilíbrio maior entre a produção de açúcar e biomassa. Fato é que esse tipo de tecnologia ainda é muito nova no mercado e seu sucesso está fortemente atrelado a outros fatores. Todavia, a ideia para a qual foi concebida é de fundamental importância, pois com o aumento do consumo de energia e pressão pelo uso de energias renováveis, a verticalização da produção de energia, sem necessidade de ampliar a área de produção é um debate que tem crescido, mas que no momento ainda não parece interferir de forma significativa no modo de pensar das usinas e dos produtores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BBC BRASIL. **O que é a 'supercana' de Eike Batista, a nova aposta para reerguer seu império.** Abril, 2025. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c74zz4jy08wo> . Acesso em: 1º set. 2025.

CANAONLINE. **A recém-lançada Vertex 12, variedade rústica de alta produtividade em ambientes restritivos.** Cana Online, [s.l.], disponível em: <https://www.canaonline.com.br/conteudo/a-recem-lancada-vertex-12-variedade-rustica-de-alta-produtividade-em-ambientes-restritivos.html> . Acesso em: 1º set. 2025.

Da Silva Segundo, V. B., dos Santos Silva, S. I., de Melo, F., dos Santos, A., & ²Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira, C. T. D. R. **POTENCIAL DA CANA ENERGIA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL.**2014. Disponível em<<https://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2014/trabalhos/pdf/congestas2014-et-09-001.pdf>>. Acesso em 01 ago. 2025

EMBRAPA. **Geração de energia elétrica a partir da cana-de-açúcar.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/geracao-de-energia-eletrica>. Acesso em: 10 ago. 2025.

Embrapa. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?.** Circular técnica 04, Brasília, DF, abril, 2011. Disponível em:<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>>. Acesso em 20 ago. 2025

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional – 2025.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025> . Acesso em: 1º set. 2025.

FREITAS, Rogério Edivaldo. **Expansão de área agrícola no Brasil segundo as lavouras temporárias** — Texto para discussão, Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), nº 2796, set. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2796>

GALBIATI, J. K.; GALLO, C. A.; PRADO LAVANHOLI, M. G. D. **Produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar**. Nucleus, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2010. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4037727>>. Acesso em: 01 jul.2025

GARCEZ, L. C. **Etanol de segunda geração (E2G) como alternativa de produção de combustível derivado da cana-de-açúcar: uma revisão bibliográfica entre 2011 e 2023**. 2024. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/fa607afb-dc98-4075-bfdc-ee2cbe1eb45e/content>>. Acesso em 01 jul. 2025.

HØYER, K. G. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. **Utilities policy**, v. 16, n. 2, p. 63-71, 2008.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. LV. O biocombustível no Brasil. **Novos estudos CEBRAP**, p. 15-21, 2007.

MAIA, V. S. **Cogeração de energia a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ifal.edu.br/server/api/core/bitstreams/32b0e763-edbb-4445-85cf-77fc9a37caba/content>>. Acesso:02 jul.2025

MARTINS, C. Z. et al. **Avaliação da produção de etanol de segunda geração**. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24268/1/Avalia%20c3%a7%c3%a3oProdu%c3%a7%c3%a3oEtanol.pdf>>. Acesso em 02 jul. 2025

OGATA, B. H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, T. S. et al. Composição química do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com diferentes doses de uréia e soja grão. **Archivos de zootecnia**, v. 60, n. 231, p. 625-635, 2011.

PACHECO, T. F. **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?**. 2011. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/15435555.pdf>>. Acesso em: 03 jul.2025.

RAÍZEN. **Etanol de segunda geração**. Blog Raízen. 2023. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/etanol-de-segunda-geracao> . Acesso em: 16 set. 2025.

RAÍZEN. **Raízen anuncia a construção de planta de etanol de segunda geração (E2G) em Tarumã**. Sala de Imprensa. 2023. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-anuncia-a-construcao-de-planta-de-etanol-de-segunda-geracao-e2g-em-taruma> . Acesso em: 18 set. 2025.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION (RFA). **Annual Ethanol Production. U.S. and World Ethanol Production**. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production> . Acesso em: 1º set. 2025.

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. **Censo Varietal**. RIDESA, [s.l.], disponível em: <https://www.ridesa.com.br/censo-varietal> . Acesso em: 1º set. 2025.

SANTOS, G. H. F.; DO NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M.. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Uningá Review**, v. 29, n. 2, 2017.

SILVA, F. S. G. et al. **Avaliação experimental e panorama da cana energia na cadeia produtiva sucroenergética: caracterização e identificação de potencialidades**. In: VIII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2019.

SILVA, V. B. da. **Avaliação do potencial energético da cana energia e do ciclo de vida da produção de eletricidade via combustão da biomassa**. 2016. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SILVEIRA, L. (2014). **Melhoramento genético da cana-de-açúcar para obtenção de cana energia**. 84 f (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba).

SOUZA, L. S. S. **Obtenção de açúcares fermentescíveis a partir da casca de andiroba (carapa guianensis aubl.): estudo do pré-tratamento alcalino e avaliação cinética**. Orientador: João Nazareno Nonato Quaresma. 2020. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) - Universidade

Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/15345>. Acesso em 30 ago. 2025.

TAKAHASHI, N. G.; SOUZA, S. A. C. D. **Caracterização de plantas de cana-de-açúcar e de cana energia superexpressando o fator de transcrição ShSHN1, visando aumento de produtividade e melhoria da matéria-prima para produção de etanol 2G**. 2021.

TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: **Genetic improvement of bioenergy crops**. New York, NY: Springer New York, 2008. p. 273-294. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-70805-8_9>. Acesso em: 20 ago. 2025

VALADÃO, I. B.. **Caracterização morfofisiológica de genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

WACLAWOVSKY, A. J. et al. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant biotechnology journal**, v. 8, n. 3, p. 263-276, 2010.

WILFRED, V. **Genetic improvement of bioenergy crops**. Springer,, 2008. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-70805-8>>. Acesso em: 01 set. 2025