



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE AGRONOMIA

THAYS DE AQUINO NUNES

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS
DA CANA DE AÇÚCAR

Fortaleza

2022

THAYS DE AQUINO NUNES

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS
DA CANA DE AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC
apresentado ao curso de Agronomia como
requisito para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof. Dra. Rosilene Oliveira
Mesquita.

Coorientador: M.e. João Pedro Machado de
Lima

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N929a Nunes, Thays de Aquino.
Análise do potencial energético dos resíduos da cana de açúcar / Thays de Aquino Nunes. – 2022.
41 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientação: Prof. Me. João Pedro Machado de Lima.
1. Geração de energia. 2. Biomassa. 3. Bagaço da cana. I. Título.

CDD 630

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA CANA DE AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC
apresentado ao curso de Agronomia como
requisito para a obtenção do título de Bacharel
Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof. Dra. Rosilene Oliveira
Mesquita.

Coorientador: M.e. João Pedro Machado de
Lima

Aprovada em: 10/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M.e. João Pedro Machado de Lima (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M.e. Bruna Aires da Silva (Avaliadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M.e. Amanda Nascimento de Barros (Avaliadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.
Aos meus pais, Sandra e Sergio.

AGRADECIMENTOS

A meus pais pelo apoio e incentivo incondicional aos estudos e por me mostrarem a importância do conhecimento para o desenvolvimento pessoal e profissional.

À professora Rosilene Mesquita e ao João Pedro Machado pelo suporte e orientação neste trabalho.

Aos colegas de trabalho da Raízen pelo apoio, pelas discussões e contribuições que me ajudam a crescer diariamente.

Aos que ofereceram seu tempo e conhecimento - Amanda Souza e Lucas Nishioka - e que, compartilhando informações e experiências, ajudaram-me na construção deste trabalho.

“Esperar pela perfeição nunca é tão inteligente quanto progredir” (Seth Godin).

RESUMO

Devido às recentes crises energéticas no Brasil, a necessidade de diversificar sua matriz energética virou um assunto de relevância nacional. Pensando nisso, este trabalho visa avaliar o potencial dos resíduos provenientes da cana de açúcar para a produção do biogás e sua importância para transição energética brasileira foram analisados os principais relatórios e estudos do setor energético sucroalcooleiro. Estima-se, a partir disso, uma forma de assegurar as premissas de que, a partir da cana, o setor possa gerar biogás, a ser usado para a produção de energia elétrica, viabilizando a economia circular da produção. Nesse sentido, pensa-se que os resíduos gerados durante todo o processo de plantio da cultura e produção de produtor primários - por exemplo o açúcar e o álcool - tenham um fim sustentável, evitando, assim, altas emissões de CO₂ para a atmosfera, ao mesmo tempo que permite a distribuição de energia a um preço mais acessível. Porém, para que essa fonte se consolide como uma opção real no futuro e seja mais e melhor explorada é necessário o desenvolvimento de tecnologia para que o processo de produção do biogás possa ter um preço mais competitivo em relação as outras fontes e a ampliação, por parte do Estado, de legislações atrativas para esse tipo de atividade.

Palavras-chave: Geração de Energia; Biomassa; Bagaço da Cana

ABSTRACT

Due to the recent energy crises in Brazil, the need to diversify its energy matrix has become a matter of national relevance. With this in mind, this work aims to evaluate the potential of residues from sugar cane for the production of biogas and its importance for the Brazilian energy transition. The main reports and studies of the sugar and ethanol energy sector were analyzed. Based on this, it is estimated a way to ensure the assumptions that, from sugarcane, the sector can generate biogas, to be used for the production of electric energy, enabling the circular economy of production. In this sense, it is thought that the residues generated during the entire process of planting the crop and producing primary products - for example sugar and alcohol - have a sustainable purpose, thus avoiding high CO₂ emissions into the atmosphere, while allowing energy distribution at a more affordable price. However, for this source to be consolidated as a real option in the future and to be more and better explored, it is necessary to develop technology so that the biogas production process can have a more competitive price compared to other sources and the expansion, for part of the State, of attractive legislation for this type of activity.

Keywords: Power Generation; biomass; sugarcane bagasse

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta de Biogás Geo Elétrica – Unidade Tamboara.	25
Figura 2 - Planta de Biogás Raízen GEO – Unidade Bonfim.	26
Figura 3 - Planta de Biogás Cocal Geo – Unidade Narandiba.	27
Figura 4 - Fluxograma simplificado de uma usina de açúcar e álcool na geração de energia..	28
Figura 5 - Depósito de bagaço de cana-de-açúcar na usina.....	29
Figura 6 - Torta de Filtro.	29
Figura 7 - Vinhaça ou vinhoto.	30
Figura 8 - Sistema Contínuos de Alimentação	31
Figura 9 - Esquema funcionamento biodigestor modelo Indiano.....	31
Figura 10 - Esquema funcionamento biodigestor modelo Chinês.....	32
Figura 11 - Esquema funcionamento biodigestor do Canadense.....	33
Figura 12 - Biodigestor Industrial de Biogás.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo.	18
Gráfico 2 - Matriz Elétrica Brasileira para o ano de 2020.....	19
Gráfico 3 - Estimativa de produção de energia diária (MWh) de uma usina padrão com moagem de 3,5 MM tnc/safr.....	34
Gráfico 4 - Potencial de energia gerada de acordo a disponibilidade de substratos.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do Biogás.....	23
--------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
COP26	26ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do Efeito Estufa
IEA	International Energy Agency
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
MME	Ministério de Minas e Energia
NASA	Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
SIN	Sistema Interligado Nacional
UNICA	União da Agroindústria Canavieira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	METODOLOGIA	16
4	SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	17
4.1	Contexto Atual	17
4.2	Principais Desafios do Mercado de Energia Elétrica.....	20
5	MERCADO DE ENERGIA	21
5.1	Comercialização de Energia	21
5.2	Transmissão e Distribuição de Energia.....	22
5.2.1	Geração Centralizada.....	22
5.2.2	Geração Distribuída.....	22
6	BIOGÁS	23
6.1	Projetos de Biogás do setor sucroenergético	24
6.1.1	Usina Coopcana.....	24
6.1.2	Usina Raízen.....	25
6.1.3	Usina Cocal	26
7	APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA CANA	27
7.1	Geração de Resíduos no Setor Sucroenergético	27
7.2	Características gerais	28
7.2.1	Bagaço da cana-de-açúcar	28
7.2.2	Torta de Filtro.....	29
7.2.3	Vinhaça.....	29
7.3	Processo de Geração de energia e Tipos de Biodigestores	30
7.3.1	Modelo Indiano	31
7.3.2	Modelo Chinês.....	32
7.3.3	Biodigestor Modelo Fluxo Tubular – Fluxo pistão (Plug Flow) – modelo Canadense	32
7.3.4	Biodigestor Industrial	33
7.4	Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica.....	34
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Devido às recentes crises no fornecimento de energia ocorridas no Brasil nos últimos anos, a segurança energética virou um assunto de relevância nacional. A partir de então, o Governo Federal tem se preocupado em diversificar as fontes que compõe a matriz energética brasileira, buscando aumentar a participação das fontes alternativas e, por consequência, elevar a segurança no abastecimento de eletricidade (SOUZA, 2021).

Esse objetivo pode ser identificado nas metas estabelecidas na COP26, a 26ª Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas, ocorrida no final de outubro, em que houve a definição da mitigação em 50% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Brasil até 2030 (ONU, 2021).

Para isso, políticas de estado estão sendo elaboradas e instituídas. Em meio a elas, há os planos e programas definidos, entre as quais destacam-se os programas RenovaBio, instituído pela Lei nº 13.576/2017, que segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP 2020) é responsável por estabelecer metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país e o Combustível do Futuro, programa que visa ampliar, ainda mais, o uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono como exemplos de medidas para a transição energética do Brasil. Sendo a principal matéria-prima desses, a cana de açúcar corresponde a 19% da matriz energética brasileira, por meio da participação do etanol, do bagaço, da bioeletricidade, e do biogás (MME, 2021).

Nesse contexto, então, a agroenergia, termo criado para retratar a nova modalidade de encontro com o que hoje é entendido como economia circular, promete criar uma gestão mais eficiente dos recursos naturais existentes, ou seja, manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor durante todo o processo (CORRÊA, 2015). Quando combinado com a geração distribuída realizada no local onde se encontram os recursos, o produtor tem a possibilidade de inserir projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis, como a eólica, a solar e a biomassa residual convertida em biogás, obtendo novas fontes de receita (BLEY JR *et al*, 2009).

O emprego do biogás gerado a partir da cana para a produção de energia elétrica tem a vantagem de criar um ciclo de produção perfeito, em que os resíduos gerados durante todo o processo de plantio da cultura tenham um fim sustentável, com o percentual de

carbono neutro, evitando, assim, as emissões de CO₂ para a atmosfera, ao mesmo tempo que permite a distribuição de energia a um preço mais acessível (LNBR, 2020). De acordo com dados da ÚNICA,2022 (União da Indústria de Cana-de-Açúcar), a capacidade instalada, atualmente outorgada no país pela ANEEL, é de 169.664 MW, representando 9% da matriz elétrica do Brasil.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade dos resíduos da provenientes da cana de açúcar para a produção do biogás, como forma de energia alternativa acessível, segura e viável para cumprir com os compromissos estabelecidos pelo Brasil na COP26, diminuindo as emissões de CO₂ para a atmosfera.

2.2 Objetivos Específicos

De modo a atingir o objetivo geral, são requeridos os seguintes objetivos específicos:

- Entender o funcionamento do sistema elétrico Brasileiro e seus gargalos;
- Analisar a importância do setor sucroenergético para a transição energética;
- Identificar o potencial de geração de biogás a partir da vinhaça e da torta de filtro, a fim de entender sua dimensão de produção e sua importância no cenário elétrico nacional.

3 METODOLOGIA

Esse trabalho foi realizado sob a perspectiva reflexivo-descritiva, onde foram pesquisados nas ferramentas de busca Google Acadêmico, estudos contendo as palavras-chave: Geração de energia, biogás, biomassa. A partir disso, os estudos foram filtrados em função de conter ou não informações sobre resíduos da cana e biodigestor. Iniciou-se com 50 estudos de modo geral, chegando, ao final dos filtros de avaliação, a um total de 25 estudos contendo material valioso para a elaboração deste trabalho.

Este trabalho está estruturado em quatro etapas: a primeira é a revisão bibliográfica, em que são introduzidas informações sobre o contexto em que o Brasil se encontra em relação às questões energéticas. A segunda parte é uma breve explicação de como funciona o mercado de energia. Já na terceira ocorre a caracterização do biogás e os principais projetos nacionais do setor sucroenergético desenvolvidos. Por fim, na última etapa, é feita a caracterização dos insumos, seus processos de aproveitamento e geração de energia por meio deles através da utilização dos dados cedidos pela empresa Geo Biogás & Tech e relatórios da UNICA.

4 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

4.1 Contexto Atual

A Terra está superaquecendo e, de acordo com os dados da NASA (2019) a temperatura média em 2019 superou em 0,98 graus Celsius os níveis pré-industriais.

A comunidade científica atribui o aquecimento global às emissões antropogênicas de gases de efeito estufa na atmosfera. O principal entre esses, o dióxido de carbono (CO₂), em 90% provém do setor energético, especialmente das usinas elétricas a carvão (FURTADO 2020). Sanquetta (2017) afirma que uma das principais causas do aumento das taxas de emissão desses gases está associado ao crescimento da indústria, bem como ao desenvolvimento do setor elétrico. Além disso deve-se ressaltar é que a maior do Brasil busca por energias renováveis que apresentam menores impactos negativos sobre o meio ambiente (NADALETI *et al.*, 2020).

Segundo a ENEL (2020), a transição energética não se limita ao fechamento gradual das usinas a carvão e ao desenvolvimento de energias limpas: é uma mudança de paradigma de todo o sistema. Uma grande contribuição para a descarbonização é determinada pela eletrificação, que torna mais limpos outros setores, como o de transportes, e a digitalização das redes, o que melhora a eficiência energética.

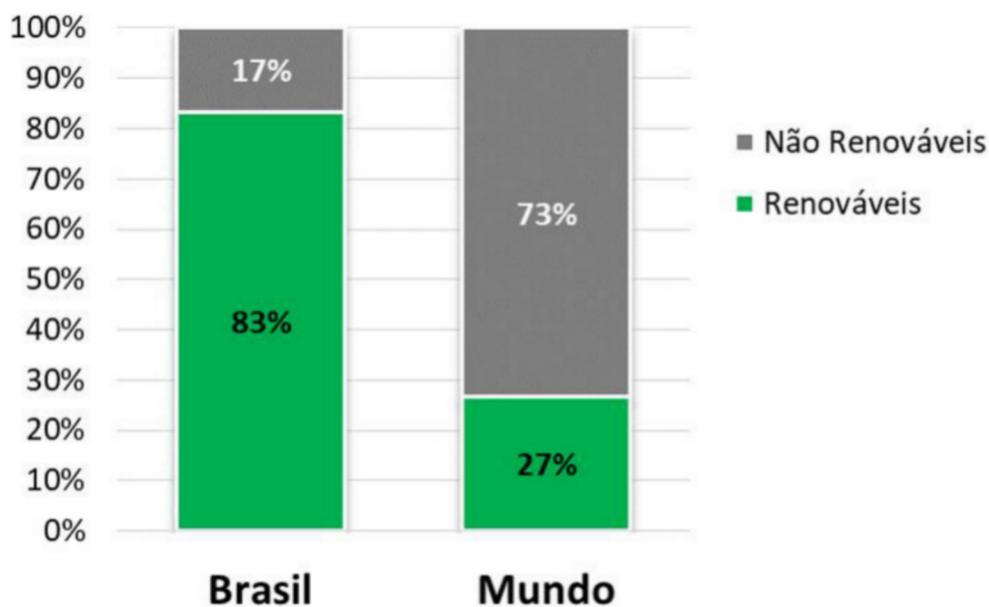
Pode-se dizer que o setor elétrico brasileiro é atípico em comparação ao resto do mundo. Conforme pode ser visto no Gráfico 1, enquanto cerca de 73% da energia elétrica mundial, no ano de 2021, provinha de recursos fósseis, o brasileiro se mostrou mais renovável, obtendo 83% de energia advinda de recursos naturais (IEA, 2021). Estudos apontam que o Brasil tem grande potencial de se tornar o primeiro país do mundo a atingir a marca de 100% de matriz energética renovável (SANTIAGO, 2019; JÚNIOR *et al.*, 2014;). Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2017) se tudo isso fosse aproveitado, o País teria condições de gerar 15 trilhões de megawatts de energia.

Quando se analisa o potencial eólico, constatamos que o país teria condições de gerar 3 vezes mais energia que o atual parque nacional gerador de energia elétrica, com todas as fontes disponíveis.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica -ABEEólica, o potencial brasileiro é de cerca de 500 gigawatts (FAPESP,2019).

Outra fonte com grande potencial é a biomassa. Um estudo da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) mostrou que, se todas as fontes de biomassa do Nordeste fossem usadas, conseguiríamos produzir cerca de 55.000 GWh por ano (JÚNIOR et al., 2014).

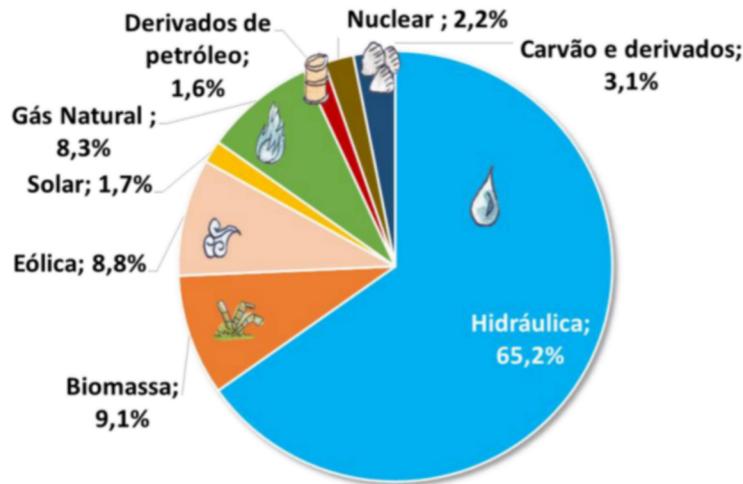
Gráfico 1 - Percentual de consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo.



Fonte: EPE, 2021.

Dentre as fontes renováveis, pode-se perceber, a partir do Gráfico 2, que as usinas hidrelétricas são responsáveis por 65,2% da geração de energia elétrica no País. Ou seja, a energia que as Usinas Hidrelétricas geram equivale a mais da metade da matriz elétrica brasileira.

Gráfico 2 - Matriz Elétrica Brasileira para o ano de 2020.



Fonte: BEN, 2020.

Entretanto, é preciso atentar para o fato de que fontes renováveis não são obrigatoriamente sustentáveis. As usinas hidrelétricas representam um bom parâmetro para esse fato, pois, apesar de serem a principal fonte renovável de energia, elas causam um grande impacto ambiental e social em seu entorno (FARIA *et al.*, 2015). Além disso, com o advento da atual crise hídrica, em que o país apresentou as piores vazões de rios em comparação aos últimos 91 anos (ONS, 2021), as hidrelétricas têm relevado suas limitações, pondo-se em dúvida sua segurança energética.

A consequência desse cenário foi o acionamento das termelétricas, o que ocasiona a criação de barreiras tarifárias, encarecendo as contas do consumidor final, e obrigando as pessoas a mudarem seus hábitos de consumo, promovendo, por fim, o racionamento voluntário de energia (MALAR, 2021).

Em paralelo a isso, as empresas geradoras de energia por fontes alternativas passaram a receber estímulos através de um regime de concessão de desconto tarifário, isenções e subsídios, entre outros benefícios significativos encontrados na Lei Nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Como exemplo tem-se a isenção do pagamento de encargos setoriais, que dispensou as empresas que geram energia a partir de instalações eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas; de aplicarem, anualmente, o percentual mínimo de 1% da receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico. Outro exemplo é a possibilidade de utilização de encargos setoriais para subsidiar fontes alternativas, desconto tarifário e possibilidade de venda direta a consumidores finais e o repasse tarifário, que assegurou às distribuidoras, nos leilões públicos de compra de energia elétrica, o repasse

integral dos custos de aquisição de energia proveniente dessas fontes às tarifas dos consumidores. Isso ajudou a torná-las fontes viáveis para diversificar a matriz energética brasileira.

4.2 Principais Desafios do Mercado de Energia Elétrica

Segundo Bona (2020), os maiores desafios do Brasil se encontram na falta de eficiência energética, na transmissão e produção centralizada de energia. Isso ocorre porque, quanto maior a distância entre o local de geração e o de consumo, maiores são as perdas na transmissão. Dado que o Brasil possui uma grande extensão continental e a geração, muitas vezes, encontra-se isolada do consumo, as perdas no nosso sistema são significativas.

Para o planejamento da implantação de energias alternativas, o Estado precisa criar programas coordenados e focalizados em cada fonte, a fim de estimular adequadamente suas expansões. O PDE 2050, que corresponde ao Plano Nacional de Energia previsto até 2050, é um instrumento de suporte ao desenho da estratégia longo prazo do planejador em relação à expansão do setor de energia, identificando a necessidade de aumento da oferta de médio prazo, inclusive das fontes alternativas. (CORRÊA, 2015).

Por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, instituído pela Lei nº 10.438/2002, fontes de energias renováveis foram incentivadas, permitindo a diversificação da matriz elétrica e garantindo a oferta de longo prazo de energia elétrica. Medidas como a criação de uma linha de financiamento para as energias renováveis por parte do BNDES e a melhoria no arcabouço legal para a expansão das fontes alternativas permitiram que essas opções se tornassem mais competitivas e houvesse um aumento na sua participação (PRADO, OLIVEIRA E CAMARGO, 2008; PEREIRA, 2009; DUTRA E SZKLO, 2008).

Considerando o quadro para o ano de 2021, o planejamento de médio e longo prazo, percebe-se uma oportunidade para o crescimento das fontes alternativas. Segundo Ramos (2021), ex-diretor de Refino e Gás Natural da Petrobras, o cenário abre oportunidade para uma maior contribuição do gás natural na matriz elétrica brasileira, hoje limitada a 9,3%, enquanto as fontes hidráulicas têm 64,9% de participação, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2020). Nos últimos anos, o Governo Federal alargou a participação das usinas térmicas para aumentar a segurança energética, aumentando a demanda pelo gás natural. Entretanto, o Brasil não é autossuficiente na produção desse

combustível, sendo necessária a importação do mesmo, por exemplo, da Bolívia através dos gasodutos da TBG (EPE,2017).

Portanto, abre-se espaço para a evolução do biogás permitindo minimizar a dependência externa ao gás natural fóssil e diversificar as fontes de energia, reduzindo assim o risco energético. No entanto, é necessário que a regulação e legislação estejam bem definidas para permitir a ampliação do uso do biogás e biometano e se faz, também, necessário o desenvolvimento em tecnologias para que os projetos em grande escala possam ser viáveis (CORRÊA, 2015).

5 MERCADO DE ENERGIA

O mercado de energia pode ser dividido em duas partes: uma relativa à comercialização e a outra parte é relativa ao fornecimento físico, que se dá por meio dos processos de geração, transmissão e distribuição desta energia.

5.1 Comercialização de Energia

O mercado de energia brasileiro está dividido pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, em Ambiente de Contratação Regulada (ACR), também denominado Mercado Cativo, e Ambiente de Contratação Livre (ACL), também denominado Mercado Livre.

- **Mercado Cativo**

O Mercado Cativo é a opção mais tradicional de contratação de energia, na qual o consumidor adquire energia das concessionárias de distribuição. Nessa condição, as tarifas são reguladas pela ANEEL e não podem ser negociados (TOGAWA, 2018).

Uma das formas que o governo encontrou de garantir a segurança energética para esse setor sem que houvesse um aumento significativo nas tarifas de energia, foi a criação de leilões de energia A4 e A5 estabelecidos pela portaria normativa N° 1, de 7 de janeiro de 2021 e contou a aprovação da Raízen Geo tornando-se o primeiro projeto de usina de biogás a comercializar energia em leilão. O contrato de 96 mil MWh/ano com o mercado regulado iniciou-se em janeiro de 2021, antes disso o projeto era voltado para o atendimento de clientes do mercado livre (FREIRE, 2020).

- **Mercado Livre**

O Mercado Livre é a opção que consumidores negociam diretamente com os geradores de energia os termos de contrato e tarifas praticadas (TOGAWA, 2018). Este conta ainda com a opção de compra de energia no Mercado Incentivado, que é composto pelos consumidores especiais e agentes de geração de energia renovável com potência instalada inferior a 30MW (geradores eólicos, termelétricas a biomassa, usinas de fonte solar etc.) (FRADE DA FONSECA, 2015).

5.2 Transmissão e Distribuição de Energia

O segmento de transmissão é aquele que se encarrega de transportar grandes quantidades de energia provenientes das usinas geradoras. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), sob a fiscalização e regulação da ANEEL, é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica (FRADE DA FONSECA, 2015).

5.2.1 Geração Centralizada

Segundo Caldas e Moisés, (2016) a Geração Centralizada (GC) É formada por grandes usinas de energia que geralmente ficam afastadas dos centros de consumo, necessitando assim de extensas linhas de transmissão. Todo esse processo encarece o custo da energia elétrica que chega até o consumidor final.

5.2.2 Geração Distribuída

A geração distribuída (GD) é definida como um arranjo tecnológico que possibilita a geração de eletricidade em pequena escala em local próximo ao consumidor final. É um método de geração capaz de atender à demanda dos dois modos de comercialização de energia de forma confiável e, sobretudo, de maneira econômica e ambientalmente sustentável (HANSEN E BOWER, 2003).

Até o ano de 2007, a única maneira de se consumir energia era através da geração convencional. Entretanto, em junho desse mesmo ano, a Agência Nacional de Energia Elétrica

regulamentou na Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, uma nova comercialização e distribuição de energia no Brasil, a qual conhecemos por Geração Distribuída (GD).

A GD tem vantagem sobre a geração central, tendo em vista que economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nos sistemas, melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica (INEE, 2021).

As fontes renováveis que o consumidor pode utilizar para gerar a sua energia, definidas pela resolução 482 da ANEEL, são a solar, eólica, biomassa e hídrica.

Existem várias rotas tecnológicas para o aproveitamento da biomassa para geração de energia elétrica. Todas utilizam a conversão da matéria-prima em um produto intermediário que, no caso do processo denominado de digestão anaeróbica, resulta no biogás (ANEEL, 2008).

6 BIOGÁS

O pleno desenvolvimento da geração distribuída permite que fontes renováveis alternativas de energia aumentem sua participação na matriz elétrica brasileira (SALOMON, 2007). A evolução do biogás no Brasil está diretamente ligada a expansão da Geração Distribuída, tendo em vista que as usinas de Cana estão espalhadas pelo Brasil. Ela permite que a geração seja feita de forma descentralizada, na localidade dos pontos de carga ou muito próximo dela.

O biogás é uma mistura gasosa combustível e pode ser obtido a partir de diversos resíduos orgânicos, como esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas (PECORA, 2006). De acordo com Castañón (2002), essa mistura gasosa é constituída por metano (CH₄) e por dióxido de carbono (CO₂), estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa.

Tabela 1 - Composição do Biogás.

	GASES %	
	De	Até
Metano (CH ₄)	50,00%	75,00%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25,00%	40,00%
Nitrogênio (azoto)	0,50%	2,50%
Oxigênio (O)	0,10%	1,00%
Sulfureto de Hidrogênio (H ₂ S)	0,10%	0,50%
Amoníaco (NH ₃)	0,10%	0,50%
Monóxido de Carbono (CO)	0,00%	0,10%
Hidrogênio (H)	1,00%	3,00%

Fonte : ZACHOW, 2020

No processo de transformação da biomassa realizado em digestores anaeróbicos, além da geração do biogás, obtém-se biofertilizantes do Iodo proveniente dessa produção. Ele é semelhante ao gás natural, podendo ser convertido em energia elétrica, térmica ou mecânica.

No cenário brasileiro, alguns resíduos orgânicos se destacam por sua potencialidade de geração, como por exemplo, é a vinhaça da cana-de-açúcar e da torta de filtro, em razão de sua enorme potencialidade de geração de energia elétrica, visto que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e esses são os principais resíduos da indústria sucroenergética (IEA, 2021).

Outro ponto importante está nos estudos recentes, os quais têm evidenciado o grande potencial desses resíduos como poluidores ambientais. Entretanto, os mesmos estudos demonstram seu potencial como matéria prima para produtos de diversos setores (PRIMO, 2015; MOREIRA DE SOUSA, 2018; FIALHO, CARNEIRO, REIS, CAMPOS, FRANCO, 2019)

6.1 Projetos de Biogás do setor sucroenergético

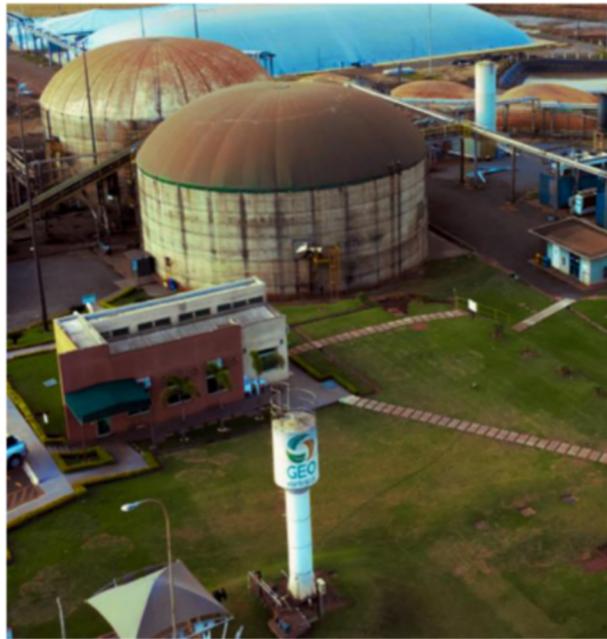
A produção de biogás neste setor permite monetizar fluxos de resíduos que por muito tempo foram considerados um fardo (HOPPE; SANDERS, 2014; RAVEN; GEELS, 2010).

Atualmente, a GEO Energética é a líder nacional na produção de biogás obtido a partir dos resíduos da indústria sucroalcooleira, sendo a principal responsável pelos projetos desse setor. Pode-se destacar suas parcerias com as seguintes empresas:

6.1.1 Usina Coopcana

A primeira unidade da empresa começou a operar em 2012 e fica junto da usina da Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana - Coopcana em São Carlos do Ivaí no Paraná. Ela acaba de ter sua capacidade avaliada em 10 megawatts de potência. (GEOBIOGAS&TECH,2020), conforme Figura 1.

Figura 1 - Planta de Biogás Geo Elétrica –
Unidade Tamboara.



Fonte: GEOBIOGAS, 2020.

6.1.2 Usina Raízen

A Geo Energética também possui uma joint venture com a Raízen, a Raízen Geo Biogás, anexa à usina Bonfim, em Guariba, município de São Paulo, onde utiliza aproximadamente 5 milhões de toneladas de cana por ano, sua unidade pode ser observada (Figura 2). A unidade tem 21 megawatts de capacidade instalada e funciona tanto com torta de filtro quanto com vinhaça (GEOBIOGÁS&TECH,2020). De acordo com o divulgado pelo site institucional, foram investidos R\$ 153 milhões na planta.

Raphaella Gomes, diretora de Biomassa e Renováveis da Raízen, explicou que, teoricamente, com a mesma tonelada de cana será possível aumentar a produção de energia em até 50%. Ou seja, 1 ton. de cana produz 50 MWh por meio do processo de queima da palha da cana. Agora, serão adicionados mais 25 MWh por meio da biodigestão de torta de filtro e vinhaça. “É aumentar em 50% o potencial de geração de energia elétrica com a mesma área plantada, com o mesmo ativo industrial”.

Figura 2 - Planta de Biogás Raízen GEO – Unidade Bonfim.



Fonte: RAÍZEN, 2020.

6.1.3 Usina Cocal

Além dessas, a Geo também tem um projeto com a Cocal, junto da unidade do grupo localizada em Narandiba, presente na Figura 4. Neste caso, será capaz de produzir Nm^3 de biogás anualmente lhe proporcionando uma potência de 10 MW equivalentes, sendo 5 MW destinados a geração de energia elétrica

Para a sua produção, serão utilizados anualmente 1,5 milhões de metros cúbicos de vinhaça, 135 mil toneladas de torta de filtro e 10 mil toneladas de palha. A unidade já opera, beneficiando as cidades paulistas Narandiba, Presidente Prudente e Pirapozinho (GEOBIOGAS&TECH,2020).

Figura 3 - Planta de Biogás Cocal Geo –
Unidade Narandiba.



Fonte: GEOBIOGAS&TECH (2020).

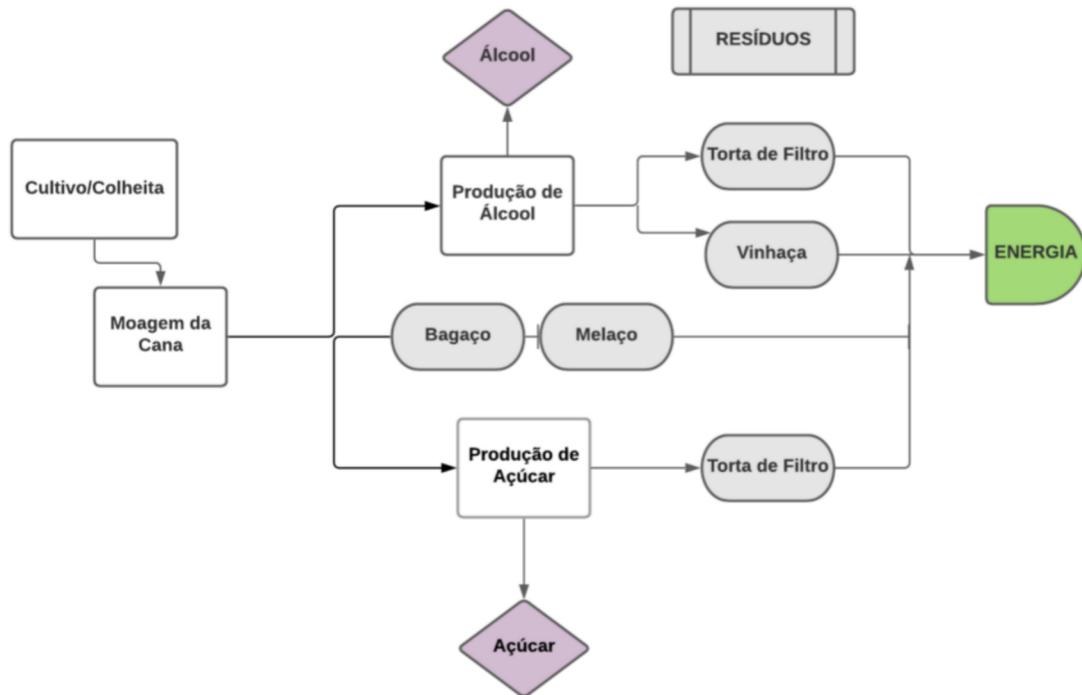
Segundo a COCAL, no ciclo 2022/23, 53% da produção total de biogás será purificada para biometano e os outros 47% usados na geração de energia elétrica (ABIOGÁS, 2021).

7 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA CANA

7.1 Geração de Resíduos no Setor Sucroenergético

O Brasil possui o conhecimento completo no ciclo de produção do açúcar e de etanol e possui um modelo de produção com um diferencial entre seus concorrentes, por ter criado um processo produtivo integrado, entre as usinas de etanol e açúcar (FLAUSINIO, 2015). Dessa forma, a cadeia produtiva da usina de etanol e açúcar é composta por duas etapas, uma agrícola e outra industrial. Tendo como principais resíduos, o bagaço e a vinhaça, conforme mostrado no fluxograma da Figura 4 (SOUZA, 2010 apud FLAUSINIO, 2015).

Figura 4 - Fluxograma simplificado de uma usina de açúcar e álcool na geração de energia.



Fonte: Autoria própria (2022).

7.2 Características gerais

7.2.1 Bagaço da cana-de-açúcar

O bagaço da cana-de-açúcar é o maior resíduo da agroindústria brasileira. Ele é um resíduo fibroso resultado da extração do caldo de cana pelas moendas. A quantidade produzida depende do teor de fibra da cana processada, que apresenta, em média, 46% de fibra e 50% de umidade, resultando, aproximadamente, em 280 quilos de bagaço por tonelada de cana processada. Pela proporção em que é produzido e devido à sua composição, o bagaço (Figura 5) constitui-se em um dos mais importantes subprodutos para a indústria sucroalcooleira. (ALCARDE, 2009).

Figura 5 - Depósito de bagaço de cana-de-açúcar na usina.



Fonte: BENINI,2015

As próprias usinas utilizam de 60% a 90% desse bagaço como fonte energética para a substituição do óleo diesel e para a geração de energia elétrica (JÚNIOR, 2012).

7.2.2 Torta de Filtro

Ao caldo proveniente do esmagamento da cana-de-açúcar são aplicados cal e enxofre para a retirada de impurezas. O precipitado que se forma, chamado lodo, produto esse que após um tratamento de clarificação origina a Torta de filtro (Figura 6) sendo produzindo, em média, 20 a 40 kg por tonelada de cana. Apresenta o teor médio de 75% (ALCARDE, 2009).

Figura 6 - Torta de Filtro.



Fonte: Alcarde (2009).

7.2.3 Vinhaça

É o resíduo final da destilação do vinho de fermentação para se obter etanol. A matéria orgânica é o principal constituinte da vinhaça, basicamente sob a forma de ácidos

orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o K, Ca e Mg. A vinhaça apresenta alta demanda química de oxigênio, baixo pH e elevado conteúdo de sais minerais, por isso representa um perigo potencial ao meio ambiente se não for corretamente tratada (FURTADO et al., 2009, Da SILVA et al., 2007). Para cada litro de álcool produzido, em média 10-14 litros de vinhaça são deixados como resíduo. (ALCARDE, 2009).

Figura 7 - Vinhaça ou vinhoto.



Fonte: Alcarde, 2009.

A vinhaça recebe três denominações, de acordo com Almança (1994), com base no mosto (líquido passível de fermentação) que lhe deu origem: vinhaça de mosto de caldo, vinhaça de mosto de melaço e vinhaça de mosto misto. A primeira é decorrente da cana-de-açúcar moída, a segunda, da separação do açúcar cristalizado e do mel final; e a terceira da mistura das duas anteriores.

7.3 Processo de Geração de energia e Tipos de Biodigestores

Os dutos e esteiras levam os resíduos até os biodigestores para que a matéria orgânica existente seja transformada em biogás pela ação de bactérias anaeróbicas. O gás produzido vai para a superfície dos biodigestores, sendo levado em dutos até os motores, onde o biogás será queimado, gerando energia elétrica (RAÍZEN, 2021). Existe, atualmente, e uma gama muito grande de modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a realidade do produtor, sendo alguns destacados na sequência.

Figura 8 - Sistema Contínuos de Alimentação

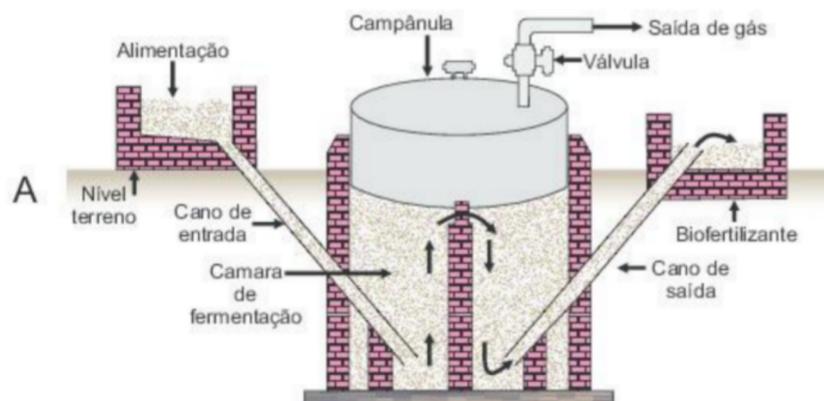


Fonte: GEOBIOGAS, 2020.

7.3.1 Modelo Indiano

É um modelo de fácil construção, porém, por possuir um gasômetro de metal, o equipamento tende a ser mais caro, levando, em alguns casos, a inviabilidade de sua utilização. Além disso, a matéria orgânica utilizada na alimentação desse sistema deve ter concentração de sólidos totais (ST) de no máximo 8%, para que não ocorra entupimentos nas tubulações (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Figura 9 - Esquema funcionamento biodigestor modelo Indiano.



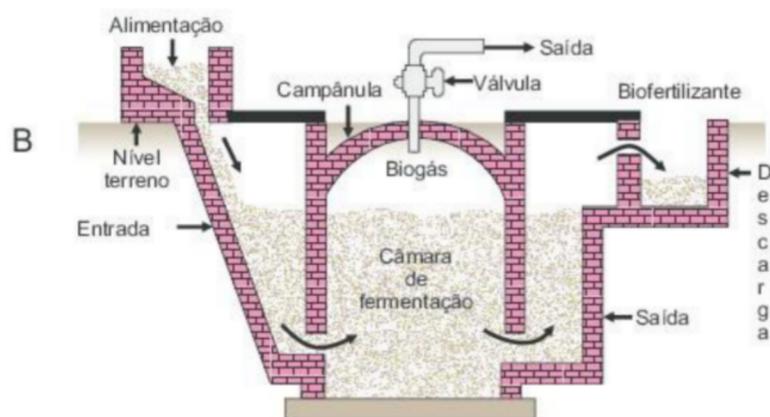
Fonte: Fonseca *et al.* (2009).

7.3.2 Modelo Chinês

É um modelo mais barato em comparação ao indiano, no entanto pode apresentar vazamento de gás caso a vedação da estrutura não seja boa. Além disso, como uma parte do gás gerado na caixa de saída é liberado, esse biodigestor não é recomendado em casos de instalações de grande porte (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Neste tipo de biodigestor (Figura 10), uma parcela do gás formado na caixa de saída é liberada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, por esse motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte (JUNQUEIRA, 2014).

Figura 10 - Esquema funcionamento biodigestor modelo Chinês.



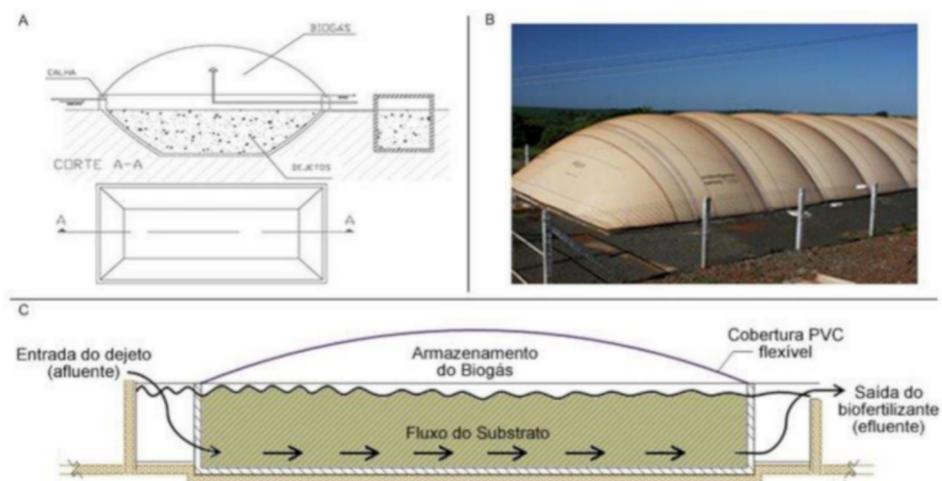
Fonte: Fonseca *et al.* (2009).

7.3.3 Biodigestor Modelo Fluxo Tubular – Fluxo pistão (Plug Flow) – modelo Canadense

Este modelo possui a tecnologia mais moderna, simples e barata no mercado, pois é praticamente todo construído utilizando material plástico.

É um sistema horizontal, feito por uma caixa de entrada em alvenaria. Essa caixa é pouco profunda, mas muito larga. Consequentemente, o material tem maior exposição ao calor do sol, o que auxilia no aumento da produção de biogás e redução do entupimento e é um dos motivos de não ser recomendado para ambientes frios (QUEVEDO DE LIMA, 2021).

Figura 11 - Esquema funcionamento biodigestor do Canadense.



Fonte: DE LIMA, H.Q (2011).

O biodigestor é alimentado de forma contínua havendo a formação de duas fases: uma líquida e uma sólida (também chamada de "lodo"), devido à decantação dos constituintes sólidos mais pesados do resíduo.

Na fase líquida, os nutrientes necessários aos microrganismos vão sendo consumidos à medida que o efluente vai saindo pela tubulação de descarga. Há, ao mesmo tempo, a geração de biogás, o qual vai inflando a geomembrana e sendo captado pela tubulação.

7.3.4 Biodigestor Industrial

O biodigestor industrial desenvolvido pela GEO pode receber como biomassa todo tipo de matéria orgânica e é excepcional para trabalhar o desenvolvimento do agronegócio. São biodigestores de alta tecnologia otimizou um conceito já implantado em outros país, como Alemanha e pode ser utilizado em grande escala devido à alta disponibilidade de insumo das indústrias.

Figura 12 - Biodigestor Industrial de Biogás.



Fonte: GEOBIOGAS, 2020.

7.4 Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica

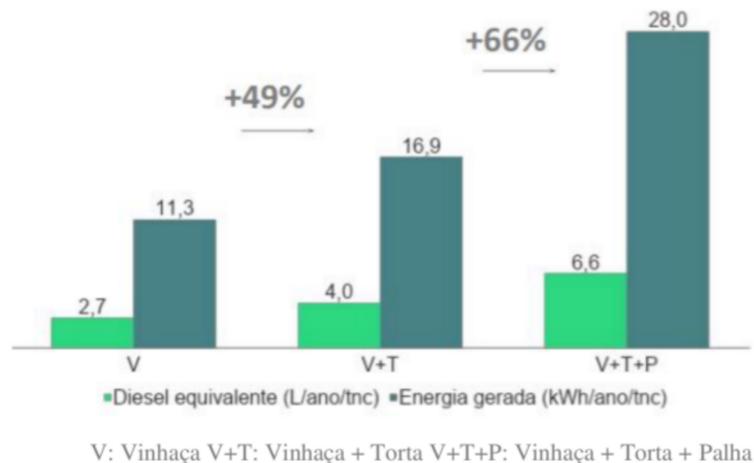
A cana, por ser bastante cultivada no país, oferece oportunidade para o Brasil aumentar ainda mais o poderio de competição em matéria de energia renovável de biomassa, não só com benefícios à sociedade brasileira, mas também pelo seu alto valor energético (SANTOS *et al.*, 2012). Até mesmo a questão da sazonalidade, considerada limitação técnica dificultando o desenvolvimento do processo, já foi solucionada. Embora a produção de vinhaça, que é biodigerida para geração do biogás, ocorra apenas em nove meses do ano, a torta de filtro pode ser armazenada e utilizada para suprir a falta da vinhaça, mantendo a geração de energia de forma constante (NOVACANA, 2021).

Gráfico 3 - Estimativa de produção de energia diária (MWh) de uma usina padrão com moagem de 3,5 MM tnc/safr.



Fonte: GEOBIOGAS&TECH, 2021.

Gráfico 4 - Potencial de energia gerada de acordo a disponibilidade de substratos.



Fonte: GEOBIOGAS&TECH, 2021.

Segundo levantamento da União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA (2022), a partir de dados da potência outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em janeiro de 2022, a biomassa da cana-de-açúcar atingiu 12.021 MW potência instalada, por meio de 413 usinas termelétricas (UTES) em operação utilizando bagaço e palha como combustível principal. Além disso, há duas UTES a biogás no setor sucroenergético, representando mais 32 MW em operação, resultando em um total de 12.053 MW instalados.

De acordo com Zilmar Souza, representante da UNICA (2022), representando 6,6% da potência outorgada no Brasil, esses 12.053 MW da biomassa da cana-de-açúcar colocam a fonte como a 4ª mais importante na matriz elétrica brasileira, atrás apenas das fontes hídrica, fóssil e eólica. Isso representa um marco para o setor sucroenergético, que supera a capacidade instalada da usina hidrelétrica Belo Monte (11.233 MW), a maior usina hidrelétrica 100% brasileira.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, os planos estratégicos definem os gargalos e traçam as metas, entretanto o meio pelo qual se alcançam esses objetivos é através de programas específicos para o direcionamento de metas a longo prazo.

Observa-se, no atual cenário, um espaço importante para o desenvolvimento de fontes de energia alternativas, inclusive do biogás. Porém, para que essa fonte se consolide como uma opção real no futuro e seja mais e melhor explorada é necessário o desenvolvimento de tecnologia para que o processo de produção do biogás possa ter um preço mais competitivo em relação as outras fontes e a ampliação, por parte do Estado, de legislações atrativas para esse tipo de atividade.

Além do que com pressões de outros países para que ocorra a transição energética, o consumo de biocombustíveis tende a crescer gerando ainda mais resíduos desse setor proporcionando não somente o biogás dos resíduos da cana como viável por aumentar o faturamento das empresas, mas também de extrema necessidade para a proteção do meio ambiente, possuindo um benefício econômico e social para a sociedade.

REFERÊNCIAS

ABIOGÁS. **Resumo: Urca Energia adquire a Gás Verde. ENC Energy é a primeira empresa de biogás de aterro a vender I-RECs. Cocal faz primeira entrega de biometano via carretas a cliente industrial. Oi fecha compra de energia elétrica a biogás da EVA Energia.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://abiogas.org.br/resumo-urca-energia-adquire-a-gas-verde-enc-energy-e-a-primeira-empresa-de-biogas-de-aterro-a-vender-i-recs-cocal-faz-primeira-entrega-de-biometano-via-carretas-a-cliente-industrial-oi-fecha-compr/#:~:text=Segundo%20informa%C3%A7%C3%B5es%20da%20empresa%20de,de%20pot%C3%Aancia%2C%20instalada%20em%20Narandiba>. Acesso em: 3 fev. 2022.

ALCARDE, A. R. Processamento da cana-de-açúcar: outros produtos. **Agência de informação EMBRAPA.** Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html. Acesso em: 31 jan. 2022.

ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil.** 21 jul. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzd kNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em 21 jul. 2021.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, (2006). **Nota Técnica nº. 012/2006-SCM**, Considerações da SCM/ANP acerca do Decreto Supremo nº 28.701 editado pela Bolívia em 01 de maio de 2006. Brasília: Agência Nacional do Petróleo, Superintendência de Comercialização e Movimentação de Petróleo, seus Derivados e Gás Natural, maio de 2006.

ANP. **RenovaBio.** [S. l.], 13 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/#:~:text=uso%20de%20biocombust%C3%ADveis-,Funcionamento,energ%C3%A9tica%20de%20transportes%20do%20pa%C3%ADs>. Acesso em: 2 fev. 2022.

BIODIGESTOR - **Modelos e configurações.** [S. l.], 12 fev. 2021. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/biodigestor-modelos-e-configuracoes>. Acesso em: 2 fev. 2022.

BONA, Jessica Ceolin. Segurança energética: quais os desafios para garantir o fornecimento de energia no Brasil. In: BONA, Jessica Ceolin. **Segurança energética: quais os desafios para garantir o fornecimento de energia no Brasil**. [S. l.], 24 nov. 2020. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/seguranca-energetica/#:~:text=Desafios%20da%20seguran%C3%A7a%20energ%C3%A9tica%20no%20Brasil&text=De%20fato%2C%20talvez%20os%20maiores,s%C3%A3o%20as%20perdas%20na%20transmiss%C3%A3o>. Acesso em: 1 fev. 2022.

BRUYN, S.; DRUNDEN, M. **Sustainability and indicators in Amazon: conceptual framework for use in Amazon**. Amsterdam: VRIJE, 1999.

BURNQUIST, H. L.; DENNY, D. M. T. **Risco de apagão e racionamento de energia elétrica: de volta para o futuro?** Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniaocpea/risco-de-apagao-e-acionamento-de-energia-eletrica-de-volta-para-o-futuro.aspx> Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

CARLOS AUGUSTO GÓES PACHECO CLÁUDIA MARIA CHAGAS BONELLI LUCAS JOSÉ FALARZ LUIZ PAULO BARBOSA DA SILVA MARIA CECÍLIA PEREIRA DE ARAÚJO GABRIEL DA SILVA AZEVEDO JORGE. 22 de junho de 2017. **Panorama da Indústria de Gás Natural na Bolívia**; El Gobierno destinará más de 250 millones de dólares para exploración. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-307/EPE%202017%20-%20Panorama%20da%20Ind%C3%BAstria%20de%20G%C3%A1s%20Natural%20na%20Bol%C3%ADvia%2022jun17.pdf> Acesso em: 02 jan. 2022.

CALDAS, Helder Henri Silva e.; MOISÉS, Antonio Luis Silva. **Geração Fotovoltaica Distribuída: Estudo de Caso para Consumidores Residenciais de Salvador** – Ba.; Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, p. 164-180, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/45270/pdf>. Acesso em janeiro de 2022.

CORNESCU, V.; ADAM, R. Considerations regarding the role of indicators used in the analysis and assessment of sustainable development in the E.U. **Procedia Economics and Finance**, v. 8, 2014, p. 10-16.

CRISE energética deve aliviar em 2022, mas espaço para queda em contas é pequeno. [S. l.], 31 dez. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/crise-energetica-deve-aliviar-em-2022-mas-espaco-para-queda-em-contas-e-pequeno/>. Acesso em: 23 jan. 2022.

DEGANUTTI, Roberto et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

CRISE hídrica é resultado de má gestão dos reservatórios das usinas, dizem debatedores
Fonte: Agência Câmara de Notícias. [S. l.], 16 ago. 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/795057-crise-hidrica-e-resultado-de-ma-gestao-dos-reservatorios-das-usinas-dizem-debatedores>. Acesso em: 4 fev. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Acesso à informação**. 2020. Disponível em: www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

FAPESP. Matriz elétrica. **Ventos promissores a caminho**, [S. l.], p. 79, 8 jan. 2019.

FIALHO, Marcelito Lopes; CARNEIRO,, Ana Paula Custódio; REIS, Karina Pregnotato; CAMPOS, Orlando Narvaes de; FRANCO, Márcia Villar. O impacto da vinhaça produzida pela cana-de-açúcar na produção de etanol – poluição ambiental. **O impacto da vinhaça produzida pela cana-de-açúcar na produção de etanol – poluição ambiental**, [S. l.], p. 3, 17 mar. 2021.

FORBES. **Biomassa das usinas de cana pode gerar mais energia e amenizar efeitos da crise hídrica**. 10 jun. 2021. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2021/06/biomassa-das-usinas-de-cana-pode-gerar-mais-energia-e-amenizar-efeitos-da-crise-hidrica/>. Acesso em 24 jan. 2022

FRADE DA FONSECA, Rômulo. **Estudo da viabilidade financeira de migração de consumidores cativos para o mercado livre incentivado**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais – CEFET/MG, [S. l.], 2015.

FREIRE, WAGNER. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53142684/primeira-usina-de-biogas-para-leilao-inicia-operacao-comercial>. [S. l.], 12 ago. 2020. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53142684/primeira-usina-de-biogas-para-leilao-inicia-operacao-comercial>. Acesso em: 2 fev. 2022.

GASPAR, R.M.B.L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GEOBIOGÁS&TECH (SÃO PAULO). FÓRUM BIOGÁS. **Apresentação Institucional**. [S. l.], 1 jan. 2021. Disponível em: <https://forumdobioogas.com.br/wp-content/uploads/2021/10/geo-institucional.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2022.

HANSEN, C. J.; BOWER J. **An Economic Evaluation of Small-Scale Distributed Electricity Generation Technology**. Oxford Institute for Energy Studies, EL nº 5. Oxford, outubro de 2003. Disponível em: <https://www.oxfordenergy.org/publications/an-economic-evaluation-of-small-scale-distributed-electricity-generation-technologies/> Acesso em: 3 fev. 2022.

JÚNIOR, Claudemiro de Lima *et al.* Potencial de Aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], n. v7, p. 02, 29 abr. 2014.

JUNQUEIRA, SLCD. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado**. Universidade do Rio Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica DEM/POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

MERCADO Livre de Energia. In: TOGAWA, Victor. **Mercado Livre de Energia**. [S. l.], 2 out. 2018. Disponível em: <https://togawaengenharia.com.br/blog/mercado-livre-energia/>. Acesso em: 25 jan. 2022.

MOREIRA DE SOUSA, CRISTINA. **Avaliação dos impactos gerados pela vinhaça bruta e após ajuste de pH, em representantes da fauna edáfica**. 2018. Tese (Doutor em Ciências

Biológicas (Biologia Celular e Molecular) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Instituto De Biociências – Rio Claro, [S. l.], 2018.

NADALETI, W.C. et al. Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H₂ and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.45, n.46. p. 24190-242020, 2020.

NASA (org.). **Temperatura global**. [S. l.], 28 dez. 2019. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>. Acesso em: 2 fev. 2022..

NOVACANA detalha projeto de biogás em parceria com Geo Biogás & Tech e planos para o futuro. In: **Cocal detalha projeto de biogás em parceria com Geo Biogás & Tech e planos para o futuro**. [S. l.], 25 jan. 2022. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/usinas/cocal-detalha-projeto-biogas-parceria-geo-energetica-planos-futuro-250122>. Acesso em: 1 fev. 2022.

NUNES Ferraz Junior, Antônio Djalma, Claudia Etchebehere, Danilo Perecin, Suani Teixeira, and Jeremy Woods. "Advancing Anaerobic Digestion of Sugarcane Vinasse: Current Development, Struggles and Future Trends on Production and End-uses of Biogas in Brazil." **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, Vol.157. Web. DOI: 10.1016/j.rser.2021.112045

OLIVEIRA, P. A. V.; Higarashi, M. M. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, 2006,42p.

ONU (Glasgow). Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas 2021. COP26 O GLASGOW PACTO CLIMÁTICO. **COP26 O GLASGOW PACTO CLIMÁTICO**, [S. l.], p. 15-24, 12 nov. 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Resultados de operação**. Rio de Janeiro, ONS, 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/atuacao#> Acesso em: 2 de janeiro de 2022.

PAJOLLA, M. **O que está por trás da crise energética que pode provocar um novo "apagão" no Brasil.** Brasil de Fato. Lábrea-Am: julho, 2021.

RAMOS, Jorge Celestino. Sob ameaça de racionamento, Brasil precisa de gás para não ficar no escuro. **País enfrenta sua pior crise hídrica desde 1931 e precisa aumentar a oferta gás natural para geração térmica,** [S. l.], p. <https://exame.com/bussola/sob-ameaca-de-racionamento-brasil-precisa-de-gas-para-nao-ficar-no-escuro/#:~:text=Na%20avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20consultor%20Jorge,acordo%20com%20dados%20do%20Balan%C3%A7o,21%20maio%202021>

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E.; Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. **Coleção Ambiental.** Barueri, SP: Manole, 2012.

SANQUETTA, C.R. et al. Emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia elétrica no Paraná no período 2010-2014. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 1, p. 1-6, 2017

SEYE, O. **Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schaum).** 2003. 167 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

UNICA. **Biomassa da cana atinge 12 mil MW de potência instalada.** [S. l.], 27 jan. 2022. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/biomassa-da-cana-atinge-12-mil-mw-de-potencia-instalada/#:~:text=Em%20janeiro%20de%202022%2C%20a,e%20palha%20como%20combust%C3%ADvel%20principal.&text=%E2%80%9CEsse%20marco%20mostra%20o%20potencial,%C3%89%20motivo%20de%20orgulho>. Acesso em: 2 fev. 2022.

ZACHOW, Charlan Ricardo. **Biogás.** 2000. 12p. Dissertação de graduação. UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - DeTEC – Departamento de Tecnologia. Panambi, RS.