



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MICHELLE DE ARAÚJO SANTOS

**Cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar:
estudo de caso na Usina Monte Alegre/PB**

Recife
2023

MICHELLE DE ARAUJO SANTOS

**Cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar:
estudo de caso na Usina Monte Alegre/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Prof. Dr. Maria Antonieta Cavalcanti de Oliveira

Recife
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos, Michelle de Araújo.

Cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar: estudo de caso na Usina Monte Alegre/PB / Michelle de Araújo Santos. - Recife, 2023.

98 : il., tab.

Orientador(a): Maria Antonieta Cavalcanti de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Elétrica - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, anexos.

1. Biomassa. 2. Cana-de-açúcar. 3. Cogeração. 4. Energia. 5. Renovável. I. Oliveira, Maria Antonieta Cavalcanti de. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

MICHELLE DE ARAÚJO SANTOS

**COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR:
Estudo de Caso na Usina Monte Alegre/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 29/09/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Maria Antonieta Cavalcanti de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc. Artur Muniz Szpak Furtado (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc. Alex Ferreira Falcão Moreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado à minha mãe, o maior amor da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e à Nossa Senhora da Conceição por me permitir chegar até aqui. Agradeço, também, à minha Mãe, Simone, meu pai, Iranildo por ter me educado e dado apoio durante toda minha formação. Agradeço à minha orientadora por toda a sua paciência e pela oportunidade de realizar a pesquisa em questão. Agradeço aos meus amigos, Nathália e Victor, por terem me ajudado nos momentos em que eu queria desistir. Ao meu amor, Juan, por me dar força nas horas mais difíceis. E agradeço a mim mesma por não ter desistido.

RESUMO

A cogeração de energia elétrica obtida pelo bagaço da cana-de-açúcar é importante para o setor industrial e sucroalcooleiro, tendo impacto financeiro e social no mercado livre, fazendo-se, assim, relevante o estudo mais aprofundado dessa vertente da matriz energética nacional. Dessa forma, este estudo analisa essa cogeração usando duas etapas: análise preditiva nacional da geração e demanda, considerando diferentes cenários hidrológicos, de baixa hidrologia, como no ano de 2020, e índices hidrológicos mais positivos, como os atuais (2023) e estudo de caso da Usina Monte Alegre, incluindo projeções (2021-2022; 2023). A pesquisa explora o potencial, dificuldades e oportunidades dessa fonte energética, visando maior compreensão deste tema tão relevante para a sustentabilidade ambiental no nosso país.

Palavras-chave: Biomassa, Cana-de-açúcar, Cogeração, Energia, Renovável.

ABSTRACT

The cogeneration of electrical energy obtained from sugarcane bagasse is important for the industrial and sucroalcoholic, having financial and social impact in the open market, thus making a more in-depth study of this aspect of the national energy matrix relevant. Therefore, this study analyzes this cogeneration using two stages: national predictive analysis of generation and demand, considering different hydrological scenarios, low hydrology, such as in the year 2020, and more positive hydrological indices, such as the current ones (2023) and a case study of the Monte Alegre Plant, including projections (2021-2022; 2023). The research explores the potential, difficulties and opportunities of the energy source, involving greater understanding of this topic that is so relevant to environmental sustainability in our country.

Keywords: Biomass, Sugarcane, Cogeneration, Energy, Renewable.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz elétrica Brasileira	19
Gráfico 2a - Oferta Interna Total de Eletricidade por Fonte 2020	33
Gráfico 2b - Capacidade Instalada por fonte 2020	34
Gráfico 2c - Geração de Energia Elétrica: Fontes não renováveis 2020	35
Gráfico 3a - Oferta Interna Total de Eletricidade por Fonte - 2021	36
Gráfico 3b - Capacidade Instalada por fonte 2021	37
Gráfico 3c - Geração de Energia Elétrica: Fontes não renováveis 2021	37
Gráfico 4a - Oferta Interna Total de Eletricidade por Fonte - 2022	39
Gráfico 4b - Capacidade Instalada por fonte 2022	40
Gráfico 4c - Geração de Energia Elétrica: Fontes não renováveis 2021	40
Gráfico 5 – Safras x Cana moída Total	53
Gráfico 6 – Safras x Energia exportada (MWh)	53
Gráfico 7 – Safras X Energia exportada (MWh/ ton)	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo do carbono	21
Figura 2 - Fluxo de energia elétrica: Geração e Demanda 2020	35
Figura 3 - Fluxo de energia elétrica: Geração e Demanda 2021	38
Figura 4 - Fluxo de energia elétrica: Geração e Demanda 2022	41
Figura 6 - Cálculos para entalpia.....	51
Figura 5 - Balanço Energético 2021-2022	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise pluviométrica qualitativa 2014 a 2022	32
Tabela 2 - Dados da Usina para cálculo do rendimento	51
Tabela 3 – Resultados Semanais – Safra de 2021	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
NOS	Operador Nacional de Sistemas
PDE	Plano Decenal de Energia
UNICA	União da Indústria de Cana de Açúcar

LISTA DE SÍMBOLOS

MW	Megawatt
GW	GigaWatt
GWh	GigaWatt hora
MW/TonCan	Megawatts por Tonelada de Cana
MWh	MegaWatt hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	<i>Geral</i>	<i>15</i>
1.1.2	<i>Específicos.....</i>	<i>15</i>
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	OFERTA INTERNA, CAPACIDADE TOTAL INSTALADA E GERAÇÃO ..	17
2.2	FONTES DE ENERGIA E O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL	18
2.2.1	<i>Centrais de Serviço Público e Autoprodutores</i>	<i>18</i>
2.2.2	<i>Fontes energéticas da Matriz Nacional.....</i>	<i>18</i>
2.2.2.1	Matriz Energética Nacional.....	18
2.2.2.2	Fontes Energéticas	19
2.2.3	<i>Setor elétrico Brasileiro</i>	<i>24</i>
2.2.3.1	O SIN	26
2.3	COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E O SELO VERDE	27
2.3.1	<i>O Selo Verde.....</i>	<i>27</i>
2.3.2	<i>Autoprodução.....</i>	<i>28</i>
2.4	ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA	30
2.5	ANÁLISE ENERGÉTICA NACIONAL	32
2.5.1	<i>BEN 2021 - Ano base 2020.....</i>	<i>33</i>
2.5.2	<i>BEN 2022 - Ano base 2021</i>	<i>36</i>
2.5.3	<i>BEN 2023 - Ano base 2022</i>	<i>38</i>
2.6	PLANO DECENAL 2023-2033	41
2.6.1	<i>Plano Decenal de Energia de 2021 e Previsões para os Próximos 10 Anos.....</i>	<i>43</i>
2.7	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA COGERAÇÃO DE BIOMASSA... 45	
2.7.1	<i>Vantagens</i>	<i>45</i>
2.7.2	<i>Desvantagens</i>	<i>46</i>
3	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	49
3.1	ESTUDO DE CASO - USINA MONTE ALEGRE	49
3.1.1	<i>Metodologia.....</i>	<i>49</i>
3.1.2	<i>Resultados</i>	<i>52</i>
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE.....	56
	REFERÊNCIAS.....	58
	ANEXOS	61

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório anual de açúcar, por Sérgio Barros, o Brasil se destaca como o principal exportador global de açúcar, contribuindo com aproximadamente metade das exportações mundiais [1]. Sendo assim, é fundamental o estudo acerca da bioeletricidade gerada a partir do bagaço da cana de açúcar com objetivo de verificar seu potencial frente às diversas situações sociais e ambientais do país.

Situações desde baixos índices hidrológicos a condições em que as hidrelétricas têm capacidade para verter água, serão consideradas, visto que as variações ambientais ocorrem de forma cíclica e, estudando padrões passados, é possível evitar situações como apagões e racionamento de energia, tornando o uso consciente e confortável para os consumidores.

O horizonte de eventos a ser estudado para tal análise será do ano de 2020 ao ano de 2022, através de dados da Empresa de Pesquisa Energética, obtendo informações como potência gerada, capacidade de geração e potência consumida para cada período e fonte energética disponível. Assim, o ano de 2020, marcado pelo início da pandemia de COVID-19 e por uma forte época de seca hidrológica, trouxe a tona a necessidade de um maior número de fontes alternativas e renováveis, devido ao aumento do valor da energia causada pela dependência de usinas hidrelétricas e do acionamento de termelétricas a base de combustíveis fósseis.

Surgindo como uma alternativa a esses combustíveis fósseis, e que, além de ser mais barata, é considerada como fonte neutra de emissão de carbono, as vantagens da cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar vão muito além do grande potencial de geração de energia elétrica que o Brasil, como maior produtor do mundo, possui.

Apesar disso, a cogeração de energia, assim como outras fontes energéticas que são a base do Sistema Interligado Nacional, possui aspectos que comprometem sua expansão, o que mostra, fundamentalmente, a importância da diversificação da matriz energética Brasileira.

No entanto, segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (Unica) “A Bioeletricidade gerada a partir da cana-de-açúcar é a 4ª fonte mais importante da matriz elétrica brasileira” [7], tendo a capacidade de geração capaz de

suprir até 30% da energia consumida do país e a possibilidade de crescimento, com relação à demanda contratada de 2023, de 55% até o ano de 2030 [9].

Ainda, segundo o gerente em bioeletricidade da Unica, Zilmar Souza, afirmou em maio de 2023 para o site da Unica (8):

“Um ponto importante é que a geração para a rede, pela fonte biomassa, de forma não intermitente, acompanha principalmente o período de colheita da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do país. Dessa forma, acaba coincidindo também com o período seco e crítico no setor elétrico brasileiro, que vai de maio a novembro a cada ano”, comenta Souza. Em 2022, 82% da geração de bioeletricidade para a rede foi ofertada justamente entre maio e novembro.”

Tendo em vista essa informação e utilizando do estudo de caso da Usina Monte Alegre, na Paraíba, poderemos ver a capacidade de geração e a expansão de cogeração em questão, além da sazonalidade, considerando a região de cultivo, o que faz com que varie o período de produção de bioeletricidade.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Analisar o potencial de cogeração de energia pelo bagaço da cana-de-açúcar através de estudo de caso da Usina Monte Alegre-PB.

1.1.2 Específicos

- ✓ Analisar dados de pesquisa feita por órgãos nacionais;
- ✓ Apresentar estudo de caso na Usina Monte Alegre-PB;

1.2 Organização do Trabalho

Na fundamentação teórica são explicados conceitos e pesquisas bibliográficas fundamentais para o entendimento da análise em questão acerca da Usina Monte Alegre, como análise pluviométrica, uma introdução a respeito da capacidade de

geração, consumo e demanda energéticas do Brasil para os anos de 2020 (estudo feito no ano de 2021), 2021 (feito em 2022) e 2022 (feito em 2023), previsão de demanda para os anos de 2023 até 2033.

No desenvolvimento é feita a análise do estudo de caso.

Na conclusão é feita a síntese e adicionadas disposições pessoais acerca das análises realizadas no trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo a seguir contém uma síntese dos conceitos necessários ao entendimento do estudo de caso, foco principal deste trabalho. Além disso, é feita uma análise bibliográfica acerca de estudos da empresa de pesquisa energética com dados que serão utilizados como parâmetros para as conclusões e propostas de continuidade desta pesquisa.

2.1 Oferta Interna, Capacidade Total Instalada e Geração

- **Oferta Interna:** A oferta interna representa o total de energia elétrica disponível para utilização em um determinado período e local. Envolve tanto a energia gerada quanto as perdas do sistema, que ocorrem na transmissão e distribuição, além da energia utilizada pela própria unidade geradora. A unidade de medida que representa a oferta interna é o watt-hora (Wh) e seus multiplicadores, ou seja, pode ser kilowatt-hora (kWh), megawatt-hora (MWh), terawatt-hora (TWh), unidades de energia elétrica.[11]
- **Capacidade Total Instalada:** A capacidade total instalada de geração de corresponde à capacidade máxima teórica de produção de energia elétrica que as usinas e instalações de geração conseguem atingir em um dado momento, ou seja, o quanto é possível produzir de energia em determinada usina. Representa a soma da capacidade nominal máxima de todas as usinas, mesmo que, na verdade, as mesmas não estejam operando com capacidade máxima. A unidade de medida utilizada é a de potência elétrica, ou seja, o watt e seus múltiplos, kilowatt (kW), megawatt (MW). Potência disponível para produção, refletindo a capacidade máxima teórica de potência do sistema. [11]
- **Geração de Energia Elétrica:** A geração refere-se à quantidade efetiva de eletricidade produzida e distribuída aos consumidores em um determinado intervalo de tempo. Esta é a energia elétrica concretamente gerada pelas usinas e transmitida para abastecer a demanda. Ou seja, é a oferta interna menos as perdas do sistema e de geração. A unidade de medida utilizada,

consequentemente, é a unidade de energia e seus múltiplos, ou seja, watt-hora (Wh), kilowatt-hora (kWh), megawatthora (MWh).[11]

Resumidamente, a oferta interna de energia elétrica é o total de energia disponível, a capacidade total é o quanto é possível produzir em termos de potência elétrica e a geração elétrica é o disponível para consumo, excluindo perdas, o que é fornecido aos consumidores. [11]

2.2 Fontes de energia e o Sistema Interligado Nacional

Tendo em vista a segurança e a estabilidade do sistema elétrico, o SIN (Sistema Interligado Nacional) é responsável por conectar as gerações aos consumidores por meio de subsistemas de transmissão. Dessa forma, evita-se racionamentos e apagões, aumentando a confiabilidade e os ganhos.

2.2.1 Centrais de Serviço Público e Autoprodutores

A Subseção a seguir trata do funcionamento do setor de energia elétrica brasileiro, alguns conceitos acerca dele e definição de fontes energéticas que serão abordadas posteriormente.

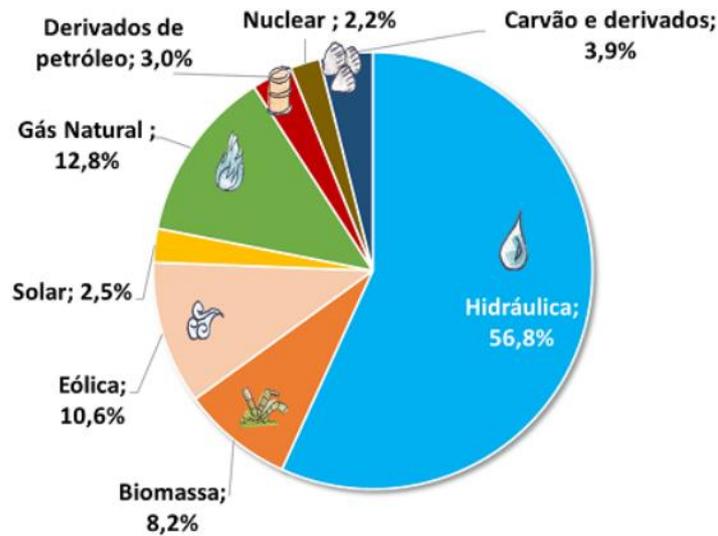
2.2.2 Fontes energéticas da Matriz Nacional

2.2.2.1 Matriz Energética Nacional

A matriz energética nacional corresponde às mais variadas formas de geração de energia. Sendo o foco deste a energia elétrica, apenas esta forma de conversão energética será abordada.

Assim, a divisão das fontes que compõem a geração elétrica do país, para o ano de 2021, são ilustradas no gráfico 1a.

Gráfico 1 - Matriz elétrica Brasileira



Fonte: EPE,2022.

Pode-se observar que, as principais são: Hidroelétrica, Biomassa, eólica, solar, nuclear, gás natural, carvão e derivados, sendo o sistema elétrico do Brasil composto, majoritariamente, por fontes de energia renováveis.

2.2.2.2 Fontes Energéticas

As fontes energéticas nada mais são do que as formas que usamos para converter determinada matéria prima energia, seja ela transformada em combustível ou eletricidade.

Apesar de o sistema de geração de energia elétrica ser, em grande parte, composto por fontes renováveis, a presença de fontes não renováveis é uma das garantias da confiabilidade do sistema.

As fontes de energia mais utilizadas para a geração elétrica no Brasil terão seus processos explicados a seguir.

➤ Biomassa

A biomassa do bagaço da cana-de-açúcar é uma fonte renovável de energia que pode ser utilizada para gerar eletricidade através da cogeração. A cogeração é um processo que permite a produção simultânea de eletricidade e calor a partir de uma única fonte de combustível. Isso significa que, em vez de gerar eletricidade em uma usina termelétrica e depois transportá-la para um local onde será utilizada, a

cogeração permite que a eletricidade seja gerada no local onde será utilizada, aproveitando o calor gerado pelo processo para aquecer água ou ar. Isso resulta em uma maior eficiência energética e redução das perdas no transporte de energia.

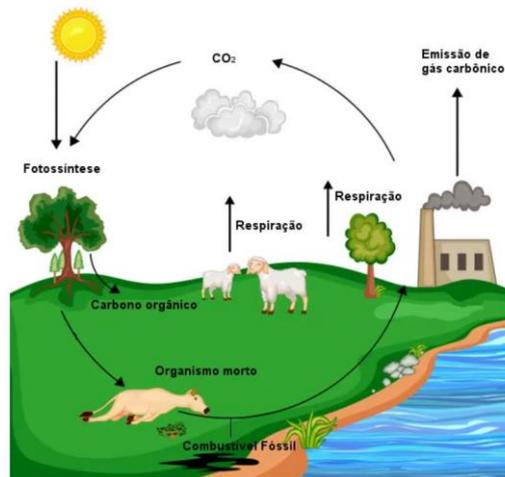
O bagaço da cana-de-açúcar é um resíduo gerado durante o processo de produção do açúcar e do etanol. Ele pode ser utilizado como fonte de combustível para gerar eletricidade e calor através da cogeração. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e possui uma grande quantidade desse resíduo disponível para utilização na cogeração.

O ciclo de carbono é um processo que garante a reciclagem desse elemento químico na natureza, permitindo que ele interaja com o meio ambiente e também com os seres vivos. O carbono está presente em todas as formas de vida e em muitas substâncias orgânicas, como o açúcar, por exemplo. A cana-de-açúcar é uma planta que realiza a fotossíntese, ou seja, ela capta o gás carbônico (CO_2) da atmosfera e o transforma em moléculas orgânicas, liberando oxigênio (O_2). Essas moléculas orgânicas são armazenadas na forma de biomassa, que é a matéria orgânica utilizada na produção de energia.

A biomassa da cana-de-açúcar pode ser usada para gerar energia elétrica de duas formas principais: pela queima direta do bagaço da cana ou pela produção de etanol, que é um biocombustível. A queima direta do bagaço da cana libera calor, que é usado para produzir vapor. O vapor aciona uma turbina, que gera eletricidade. A produção de etanol envolve a fermentação do caldo da cana por micro-organismos, que produzem álcool e gás carbônico. O etanol pode ser usado como combustível em motores de combustão interna, que também geram eletricidade.

Em ambos os casos, o ciclo de carbono se completa, pois o gás carbônico liberado na queima da biomassa ou na fermentação do etanol é reabsorvido pelas plantas na fotossíntese. Assim, a geração de energia elétrica da biomassa da cana-de-açúcar é considerada uma fonte renovável e menos poluente do que os combustíveis fósseis, que liberam mais CO_2 do que a natureza pode absorver. A figura 1 ilustra o ciclo do carbono descrito acima.

Figura 1 - Ciclo do carbono



Fonte: BARROS,2019.I

➤ Solar

A energia solar é uma forma de aproveitar a radiação eletromagnética emitida pelo Sol para gerar eletricidade ou calor. Existem diferentes tecnologias para captar e converter essa energia, sendo as mais comuns a fotovoltaica e a heliotérmica.

A energia solar fotovoltaica consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, que são dispositivos semicondutores, geralmente feitos de silício, que geram uma diferença de potencial quando expostos à radiação solar. As células fotovoltaicas são agrupadas em módulos ou painéis, que podem ser instalados em telhados, fachadas, estacionamentos ou áreas livres, formando sistemas de geração distribuída ou centralizada, conforme o tamanho e a finalidade da instalação.

O princípio de funcionamento de um sistema fotovoltaico é o seguinte:

1. O painel solar capta a luz solar e a transforma em corrente contínua.
2. O inversor solar converte a corrente contínua em corrente alternada, compatível com a rede elétrica.
3. A energia elétrica é distribuída pelo quadro de luz para os aparelhos e equipamentos do imóvel.

4. O excesso de energia é injetado na rede elétrica, gerando créditos que podem ser utilizados para abater o consumo em outros períodos ou locais.

A energia solar heliotérmica, também chamada de termossolar, consiste no aproveitamento do calor do Sol para produzir vapor e acionar turbinas que geram eletricidade. Nesse caso, são utilizados espelhos ou concentradores que refletem e focalizam os raios solares em um receptor, onde circula um fluido que se aquece e transmite o calor para um trocador de calor ou caldeira. O vapor produzido nesse processo é usado para movimentar um gerador elétrico.

O princípio de funcionamento de uma usina heliotérmica é o seguinte:

1. Os espelhos ou concentradores seguem o movimento do Sol e direcionam os raios solares para o receptor.
2. O fluido que circula pelo receptor se aquece e transfere o calor para um reservatório ou tanque térmico.
3. O calor armazenado no reservatório ou tanque térmico é usado para aquecer a água e gerar vapor.
4. O vapor aciona uma turbina que gira um gerador elétrico.
5. A eletricidade é transmitida pela rede elétrica para os consumidores.

A energia solar apresenta diversas vantagens e desvantagens em relação a outras fontes de energia. Entre as vantagens, destacam-se:

- É uma fonte renovável, inesgotável e abundante.
- É uma fonte limpa, que não emite poluentes nem contribui para o aquecimento global.
- É uma fonte descentralizada, que pode ser gerada em locais isolados ou remotos, reduzindo as perdas na transmissão e distribuição.
- É uma fonte modular, que pode ser dimensionada conforme a demanda e o espaço disponível.

- É uma fonte econômica, que reduz os custos com a conta de luz e tem baixa manutenção.

Entre as desvantagens, podem-se citar:

- É uma fonte intermitente, que depende da disponibilidade de luz solar, variando conforme o horário, a estação do ano e as condições climáticas.
- É uma fonte que requer alto investimento inicial para aquisição e instalação dos equipamentos.
- É uma fonte que ocupa grande área física, especialmente no caso das usinas heliotérmicas.
- É uma fonte que pode causar impactos ambientais, como alteração da paisagem, uso de materiais tóxicos na fabricação dos painéis e geração de resíduos.

A energia solar tem crescido significativamente no Brasil nos últimos anos, impulsionada pela redução dos custos dos equipamentos, pelos incentivos governamentais e pela maior conscientização ambiental da população. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), até agosto de 2021, havia mais de 600 mil unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos instalados no país, somando uma potência instalada de mais de 6 gigawatts (GW). A maior parte dessa capacidade está concentrada na região Sudeste, seguida pelas regiões Sul, Nordeste, Centro-Oeste e Norte [2].

A energia solar representa atualmente cerca de 1,8% da matriz elétrica brasileira, mas tem um grande potencial de expansão, considerando as condições favoráveis de radiação solar no território nacional. De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE), elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a previsão é que a energia solar fotovoltaica alcance uma participação de 8,3% na matriz elétrica até 2030, com uma capacidade instalada de 25 GW. Já a energia solar heliotérmica ainda não possui nenhuma usina em operação no Brasil, mas existem alguns projetos em estudo ou licenciamento.

A energia solar é, portanto, uma alternativa viável e sustentável para a geração de eletricidade no Brasil, contribuindo para a diversificação da matriz energética, a redução das emissões de gases de efeito estufa e a promoção do desenvolvimento socioeconômico do país.

2.2.3 Setor elétrico Brasileiro

O setor elétrico brasileiro é um exemplo notável de complexidade e diversidade devido à sua matriz energética abrangente, que incorpora tanto fontes renováveis quanto não renováveis. Esse intrincado sistema é projetado para atender às necessidades de energia das diversas regiões do país. O funcionamento básico do setor elétrico é pautado na conversão de diferentes formas de energia em eletricidade, que é então transmitida e distribuída para os consumidores finais. Essa eletricidade é gerada a partir de uma variedade de fontes, cada uma com suas características específicas.

Usinas hidrelétricas têm sido historicamente a espinha dorsal da matriz elétrica brasileira, aproveitando os recursos hídricos abundantes do país para gerar eletricidade. A energia cinética da água é convertida em energia mecânica e, subsequentemente, em energia elétrica por meio de geradores.

As termelétricas, por outro lado, utilizam a queima de combustíveis fósseis (como carvão, óleo ou gás natural) ou biomassa para aquecer um fluido, que então movimentam turbinas e geradores para produzir eletricidade. A diversificação das fontes é essencial para garantir a segurança energética, principalmente quando ocorrem variações sazonais nas condições climáticas, como secas prolongadas que podem afetar a produção hidrelétrica.

Além disso, a energia nuclear desempenha um papel relativamente menor na matriz energética brasileira, com usinas que utilizam reações nucleares para gerar calor e movimentar turbinas. A energia eólica, crescente em importância, transforma a energia cinética do vento em eletricidade por meio de aerogeradores, enquanto a energia solar utiliza células fotovoltaicas para converter a luz solar diretamente em eletricidade.

A biomassa também desempenha um papel significativo, com a cogeração a partir do bagaço da cana de açúcar sendo um exemplo notável. A queima controlada desse resíduo gera vapor que movimenta turbinas e produz eletricidade, enquanto o calor residual pode ser aproveitado para outros fins.

A compreensão do funcionamento diversificado do setor elétrico brasileiro é fundamental para apreciar a interconexão complexa entre essas diferentes fontes de energia, suas vantagens, desvantagens e contribuições para a matriz energética nacional. Essa diversidade é crucial para garantir um fornecimento confiável de energia, reduzir a dependência de fontes não renováveis e promover uma transição gradual para um sistema mais sustentável e resiliente.

O funcionamento do setor elétrico brasileiro é regido e supervisionado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME). A ANEEL exerce um papel crucial ao garantir a operação eficiente e justa do setor, mantendo um equilíbrio entre os interesses dos consumidores, das empresas e das políticas públicas de energia.

A atuação da ANEEL abrange diversos aspectos do setor elétrico, incluindo geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. A agência é responsável por regulamentar, fiscalizar e autorizar as atividades relacionadas a esses segmentos, visando assegurar a qualidade do fornecimento, a segurança e a equidade para todos os envolvidos.

Um dos papéis fundamentais da ANEEL é estabelecer as tarifas de energia elétrica, que são os preços cobrados dos consumidores. Essas tarifas são calculadas de forma transparente e levam em consideração diversos fatores, como os custos de geração, transmissão, distribuição e encargos setoriais. A ANEEL busca equilibrar os interesses dos consumidores, garantindo preços acessíveis, enquanto também viabiliza o retorno adequado para as empresas do setor.

Além disso, a ANEEL estabelece normas técnicas e regulamentações que guiam as operações do setor elétrico. Essas normas abrangem desde os padrões de qualidade da energia fornecida até os procedimentos de interconexão de novos empreendimentos à rede elétrica. Isso contribui para a segurança operacional do sistema, a eficiência das operações e a integração harmoniosa de novas fontes de geração.

Um dos instrumentos mais importantes que a ANEEL utiliza para fomentar o crescimento e a diversificação da matriz energética é a realização de leilões. Através desses leilões, a agência contrata novos empreendimentos de geração e transmissão de energia elétrica. Esses leilões incentivam a entrada de novos players no mercado e promovem a competição, resultando em preços mais baixos para a energia. Além disso, os leilões permitem a expansão controlada e planejada da capacidade de geração, garantindo o atendimento à crescente demanda energética do país.

Em resumo, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desempenha um papel fundamental na regulamentação, fiscalização e promoção do desenvolvimento sustentável do setor elétrico brasileiro. Sua atuação abrange desde a definição de tarifas até a promoção de leilões para a contratação de novos empreendimentos, garantindo a operação segura, justa e eficiente do sistema elétrico do país.

2.2.3.1 O SIN

O SIN representa a infraestrutura fundamental que viabiliza o transporte eficiente de energia elétrica por todo o território brasileiro, conectando as diferentes regiões do país e integrando as diversas fontes de geração com os centros de consumo. O SIN é organizado em quatro subsistemas principais: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Cada um desses subsistemas abrange uma série de instalações de geração, transmissão e distribuição, trabalhando de forma coordenada para atender à demanda energética do país.

A integração desses subsistemas é realizada por meio de uma extensa rede de linhas de transmissão de alta tensão, que permitem a transferência de eletricidade entre as diferentes regiões. Esse intercâmbio de energia é vital para garantir a resiliência do sistema elétrico e otimizar a utilização dos recursos disponíveis, uma vez que algumas regiões podem possuir excedentes de geração enquanto outras demandam mais eletricidade.

Para assegurar o funcionamento harmônico e seguro do SIN, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) exerce um papel crucial. O ONS é responsável pelo planejamento, operação e controle do sistema elétrico brasileiro em tempo real. Ele monitora constantemente as condições do sistema, equilibrando a geração e o consumo de energia, coordenando o acionamento de usinas, e controlando a

transmissão de eletricidade através da rede. A principal missão do ONS é garantir a confiabilidade, a segurança e a qualidade do fornecimento de energia para todo o país.

A existência do SIN e a coordenação do ONS são elementos essenciais para a estabilidade do setor elétrico brasileiro. Ao permitir a troca de energia entre diferentes subsistemas e fontes de geração, o SIN minimiza o impacto de variações sazonais, emergências ou indisponibilidade de recursos em uma única região. Essa interconexão contribui para a diversificação da matriz energética nacional, promovendo a segurança energética e facilitando a expansão de fontes renováveis.

Em resumo, o Sistema Interligado Nacional é a infraestrutura de transmissão e distribuição que possibilita a integração das fontes de geração e centros de carga em todo o Brasil. Sob a coordenação do Operador Nacional do Sistema Elétrico, o SIN é responsável por assegurar a operação eficiente, segura e confiável do sistema elétrico brasileiro, contribuindo para a sustentabilidade e resiliência do setor elétrico do país.

2.3 Cogeração de energia elétrica e o selo verde

O Subtópico a seguir relaciona a Cogeração de energia e o selo verde.

2.3.1 O Selo Verde

O selo verde é um distintivo que certifica a origem renovável e sustentável da energia elétrica produzida por uma fonte específica. Esse selo é concedido quando a fonte em questão atende a critérios rigorosos que garantem sua contribuição positiva para o meio ambiente e a sociedade. No contexto da busca por soluções energéticas mais limpas e amigáveis ao clima, o selo verde desempenha um papel crucial ao permitir que os consumidores, empresas e governos identifiquem e apoiem fontes de energia que reduzem as emissões de gases de efeito estufa e minimizam o impacto nos recursos naturais.

A cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana de açúcar é um excelente exemplo de uma fonte que recebe o selo verde. Esse certificado atesta que a energia produzida por essa abordagem é verdadeiramente sustentável. Ao

aproveitar o bagaço, um subproduto da produção de açúcar e etanol, para gerar eletricidade, a cogeração elimina o desperdício e otimiza a utilização dos recursos disponíveis. Essa prática não apenas reduz a emissão de gases de efeito estufa, mas também evita que o bagaço seja descartado de maneira inadequada, prevenindo a poluição do solo e da água.

A obtenção do selo verde para a cogeração de energia a partir do bagaço da cana de açúcar valida seu status como uma fonte de energia verdadeiramente limpa e renovável. Essa certificação é um testemunho do compromisso da indústria sucroenergética em contribuir para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção da sustentabilidade. O selo verde não apenas confere credibilidade à fonte de energia, mas também informa os consumidores e investidores sobre o compromisso da usina com práticas ambientais responsáveis, incentivando a adoção de tecnologias e abordagens semelhantes.

Portanto, o selo verde desempenha um papel importante na identificação e promoção de fontes de energia renovável e sustentável, como a cogeração a partir do bagaço da cana de açúcar. Essa certificação ajuda a construir um futuro energético mais limpo, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e apoiando a transição para uma matriz energética mais verde e responsável.

2.3.2 Autoprodução

A autoprodução de energia elétrica é a opção para o consumidor que investe na geração própria de eletricidade, adquirindo ou construindo usinas com o objetivo de suprir sua demanda elétrica total ou abater parte dela. Essa modalidade é diferente da micro e minigeração distribuída, onde os consumidores cativos, como comércios e residências, instalam sistemas de geração própria para abater o seu consumo.

O princípio de funcionamento da autoprodução de energia elétrica depende da fonte de energia escolhida pelo consumidor. Não existe restrição de fonte de energia para autoprodução, podendo ser fontes renováveis (como solar, eólica ou hídrica) ou não renováveis (como termelétrica ou nuclear). A energia gerada pode suprir parcialmente ou totalmente o consumo do autoprodutor.

A usina pode ou não estar no mesmo local de consumo. Quando a geração e o consumo acontecem no mesmo local, a modalidade denomina-se autoprodução contígua (in situ ou dentro da cerca), sem a utilização do Sistema Interligado Nacional (SIN) para transportar a eletricidade. Esse arranjo é bastante utilizado por indústrias que geram resíduos em seu processo produtivo que podem ser transformados em fonte de energia. Por exemplo, uma indústria que utiliza biomassa como matéria-prima pode aproveitar os resíduos orgânicos para produzir biogás e gerar eletricidade.

Quando a geração e o consumo acontecem em locais diferentes, a modalidade denomina-se autoprodução remota, sendo necessária a conexão nas linhas de distribuição e transmissão para que a eletricidade chegue ao ponto de consumo. As principais fontes utilizadas nesse modelo são as hídricas, termelétricas e eólicas. Por exemplo, uma empresa que possui várias unidades consumidoras espalhadas pelo país pode construir uma usina hidrelétrica em um rio distante e utilizar a rede elétrica para distribuir a energia gerada.

As vantagens da autoprodução de energia elétrica são inúmeras. Entre elas, pode-se citar:

- Redução de custos: com a sua própria geração em funcionamento, o consumidor tem uma redução significativa no custo de demanda contratada. O retorno do capital investido é de poucos anos, sendo que a garantia de produção de energia dos parques solares, por exemplo, é de pelo menos vinte e cinco anos.
- Previsibilidade de gastos: a empresa que autoproduz sua eletricidade fica livre da volatilidade dos preços do mercado, o que acarreta maior segurança financeira e estimativa de custos futuros.
- Comprometimento com a sustentabilidade: ao optar por fontes renováveis de energia, o consumidor contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para o desenvolvimento sustentável do país.
- Possibilidade de comercialização do excedente: caso a geração de energia exceda o consumo do autoprodutor em determinado mês, ele pode comercializar a energia elétrica excedente no mercado

livre de energia, desde que esteja registrado na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Para se tornar um autoprodutor de energia elétrica, o consumidor deve possuir uma demanda contratada superior a 500kW e estar no Ambiente de Contratação Livre (ACL), ou seja, estar conectado em média ou alta tensão (Grupo A). Além disso, ele deve receber concessão, autorização ou registro da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para produzir energia elétrica destinada a seu uso exclusivo [2]

2.4 Análise Pluviométrica

O Brasil, com sua vasta extensão geográfica e diversidade climática, possui uma matriz energética complexa que abrange várias fontes, incluindo hidrelétrica, eólica, solar e biomassa. A produção de energia hidrelétrica é especialmente dependente das condições pluviométricas, uma vez que as usinas hidrelétricas dependem do fluxo de água nos rios para gerar eletricidade. Além disso, a biomassa, particularmente o bagaço de cana-de-açúcar, tem sido uma fonte significativa de energia renovável no país.

A análise dos índices pluviométricos no período de 2014 a 2021 revela uma considerável variabilidade interanual e sazonal. Os dados utilizados para esta análise podem ser vistos no anexo 2. Observa-se que certas regiões do Brasil experimentaram anos de seca mais intensa, enquanto outras tiveram períodos de chuvas excepcionais. Essas flutuações podem ser explicadas pelo fenômeno climático El Niño-La Niña, bem como por outras oscilações climáticas de maior escala.

A seca de 2016, por exemplo, foi particularmente notável, com índices pluviométricos abaixo da média em várias partes do país, como evidenciado pelos dados do Sistema de Monitoramento de Secas da ANA (Agência Nacional das Águas). Essa seca afetou negativamente os reservatórios de água e teve um impacto significativo na produção de energia hidrelétrica, resultando em uma maior necessidade de recorrer a fontes alternativas de energia.

A variabilidade dos índices pluviométricos influencia diretamente a adoção de diferentes fontes energéticas na matriz elétrica brasileira. Em anos de chuvas abaixo da média, a produção de energia hidrelétrica é afetada, levando a um aumento da

participação de outras fontes, como térmica e eólica, para atender à demanda energética do país. Isso demonstra a necessidade de diversificação da matriz energética para garantir a resiliência do sistema elétrico diante das oscilações climáticas.

A sazonalidade dos índices pluviométricos também desempenha um papel crucial na agricultura e na produção de energia de biomassa. A cana-de-açúcar, uma das principais culturas agrícolas no Brasil, é sensível às variações de chuvas. Anos de seca podem comprometer a produtividade da safra, afetando a oferta de matéria-prima para a produção de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Além disso, a geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar depende da disponibilidade de resíduos da colheita. A seca pode afetar o crescimento da planta e, conseqüentemente, a quantidade de bagaço disponível para a produção de biomassa. Portanto, as flutuações nos índices pluviométricos têm um impacto direto na capacidade de geração de energia renovável a partir desse recurso.

O comportamento dos índices pluviométricos no Brasil de 2014 a 2021 demonstra a influência direta desses padrões climáticos na produção de energia elétrica e na adoção de fontes energéticas. A variabilidade e sazonalidade dos índices pluviométricos afetam tanto a produção de energia hidrelétrica quanto a geração de biomassa a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Essa interdependência destaca a importância de estratégias de planejamento energético que considerem a variabilidade climática e busquem diversificar a matriz elétrica para garantir a segurança energética do país diante das mudanças climáticas.

A Tabela 1 mostra uma análise qualitativa dos anos de 2015 a 2022, considerando o mês mais chuvoso da região nordeste (sendo o período chuvoso de março a agosto, leva-se em consideração o mês de junho) e o mês menos chuvoso (sendo o período de setembro a dezembro, adota-se o mês de outubro como referência) para cada ano. Na cor vermelha, representa-se o período de seca e na cor verde de cheia hidrológica. Como pode-se notar, há uma variabilidade cíclica, ou seja, períodos de chuva maiores e menores no decorrer dos anos, o que influencia diretamente a decisão da contratação de fontes energéticas, como foi dito anteriormente.

Tabela 1 - Análise pluviométrica qualitativa 2014 a 2022

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Junho								
Outubro								

Fonte: ANA, 2023.

2.5 Análise Energética Nacional

Como forma de comparação e base para as conclusões acerca do estudo de caso fez-se necessário o estudo referente à pesquisa bibliográfica realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) acerca das fontes energéticas do Brasil, com foco na energia obtida a partir da biomassa.

Assim, tendo como base os estudos e análises realizados nos anos de 2021 (referente ao ano de 2020), 2022 (referente ao ano de 2021) e de 2023 (referente ao ano de 2022), será feita a explanação do Balanço Energético Nacional (BEN).

O BEN é um estudo publicado anualmente com o propósito de mostrar um acompanhamento do setor energético nacional de forma a proporcionar melhor entendimento sobre ele e um melhor planejamento de oferta e demanda contabilizada para ser consumida e gerada no Brasil nos anos decorrentes.

O BEN é dividido em:

- Capítulo 1: resumo da oferta interna de energia
- Capítulo 2: Demanda energética por fonte
- Capítulo 3: Consumo por setor
- Capítulo 4: Importações e exportações
- Capítulo 5: perdas
- Capítulo 6: Reservas de energia e meteorologia
- Capítulo 7: Socioanálise Energética
- Capítulo 8: Dados estaduais
- Capítulo 9: Anexos

O foco será dado, evidentemente, à energia elétrica, no entanto, o BEN é o estudo de todas as fontes energéticas utilizadas no Brasil.

2.5.1 BEN 2021 - Ano base 2020

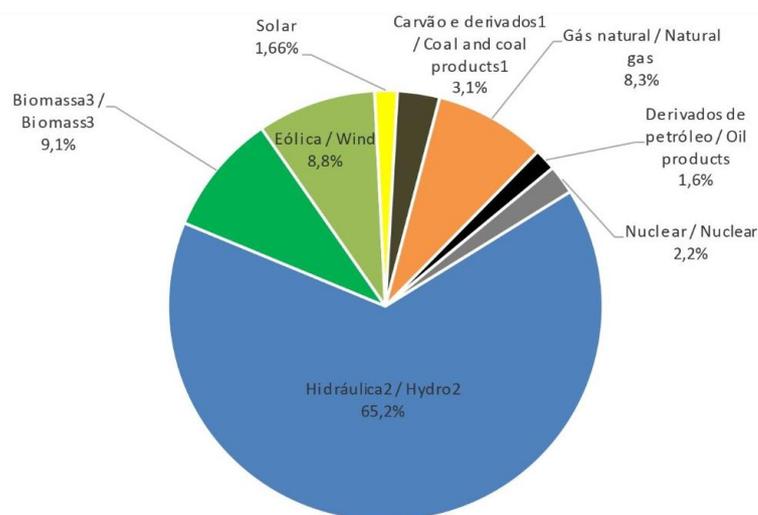
➤ Geração

Conforme dados fornecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a safra de cana-de-açúcar durante o ano de 2020 atingiu um volume de 662,1 milhões de toneladas, representando um aumento de 3,6% em relação ao ano anterior, quando a produção foi de 639,0 milhões de toneladas [5].

No mesmo período, a produção de açúcar no Brasil alcançou a marca de 41,2 milhões de toneladas, registrando um notável crescimento de 41,3% em comparação ao ano precedente.

A geração total de energia elétrica no Brasil foi de 621,2 TWh, diminuindo 0,8% em relação a 2019. Usinas de serviço público foram responsáveis por 82,9% da geração, enquanto a hidrelétrica, principal fonte, teve queda de 0,4%, principalmente devido ao baixo índice hidrológico. A autoprodução representou 17,1% do total, sendo 60,7 TWh consumidos internamente. A Geração não renovável foi 15,8%, abaixo dos 17,7% de 2019, com destaque para a ascensão do gás natural. Importações líquidas somaram 24,7 TWh, totalizando oferta interna de 645,9 TWh, 0,8% menor que em 2019. O consumo final foi 540,2 TWh, 1,0% menos que no ano anterior. No gráfico 2a, pode-se ver a oferta de eletricidade interna por fonte energética.

Gráfico 2a - Oferta Interna Total de Eletricidade por Fonte 2020

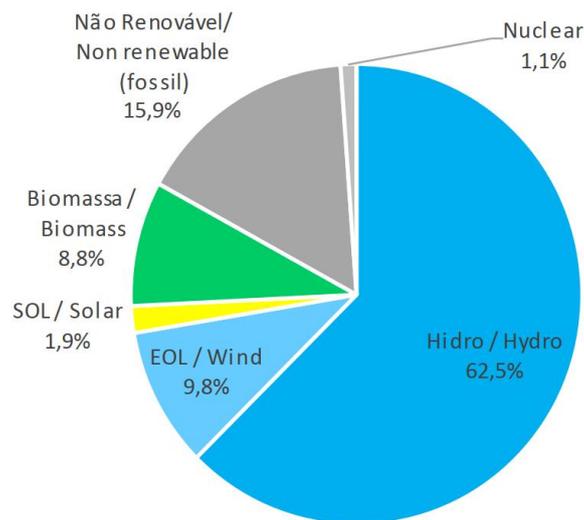


Fonte: EPE, 2021

➤ Capacidade Instalada

Já a capacidade total instalada para a geração elétrica foi de 174.737MW, sem contar a mini e a microgerações, tendo acréscimo de 4.618MW [5], um aumento de, aproximadamente, 2,6%. O gráfico 2b mostra as porcentagens de cada fonte na capacidade instalada.

Gráfico 2b - Capacidade Instalada por fonte 2020

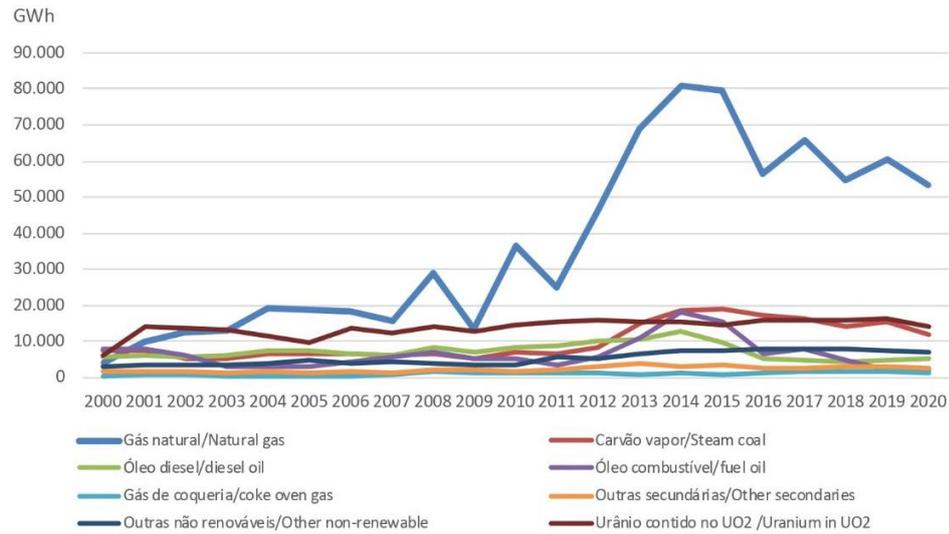


Fonte: EPE,2021.

Em 2020, a pandemia teve impacto global e nacional, refletindo nos setores econômicos e no consumo de energia. Setores como comércio, público e energia sofreram quedas no uso de eletricidade, enquanto a indústria teve leve aumento (0,46%), destacando-se alimentos e bebidas (crescimento de 41,3% na produção de açúcar). No âmbito residencial, o distanciamento social impulsionou um aumento de 4,05% no consumo de energia, e o setor agropecuário também cresceu [5].

No gráfico 2c, que mostra a geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis no ano de 2020, nota-se um crescimento acentuado do uso de energia a partir do gás natural entre os anos de 2011 a 2014, anos os quais registraram menores índices pluviométricos, como pode ser visto no anexo 2.

Gráfico 2c - Geração de Energia Elétrica: Fontes não renováveis 2020

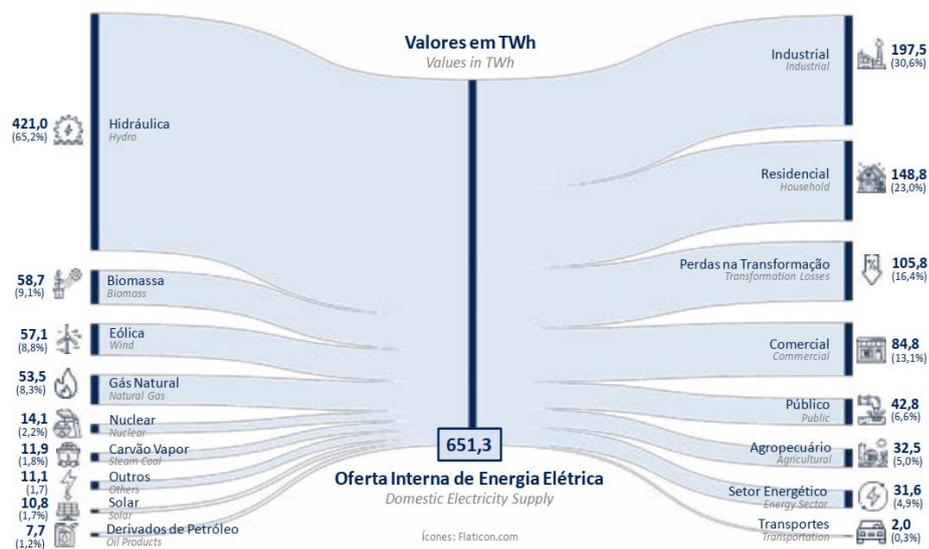


Fonte: EPE,2021.

➤ Fluxo de Energia Elétrica

O fluxo de energia elétrica do ano de 2020, corresponde a toda a energia produzida e consumida, incluindo a oferta interna e as perdas de geração, está ilustrada na figura 2. Nota-se que a segunda fonte de energia elétrica mais utilizada em 2020 foi a de biomassa, com 9,1% do total, equivalente a 58,7 TWh.

Figura 2 - Fluxo de energia elétrica: Geração e Demanda 2020

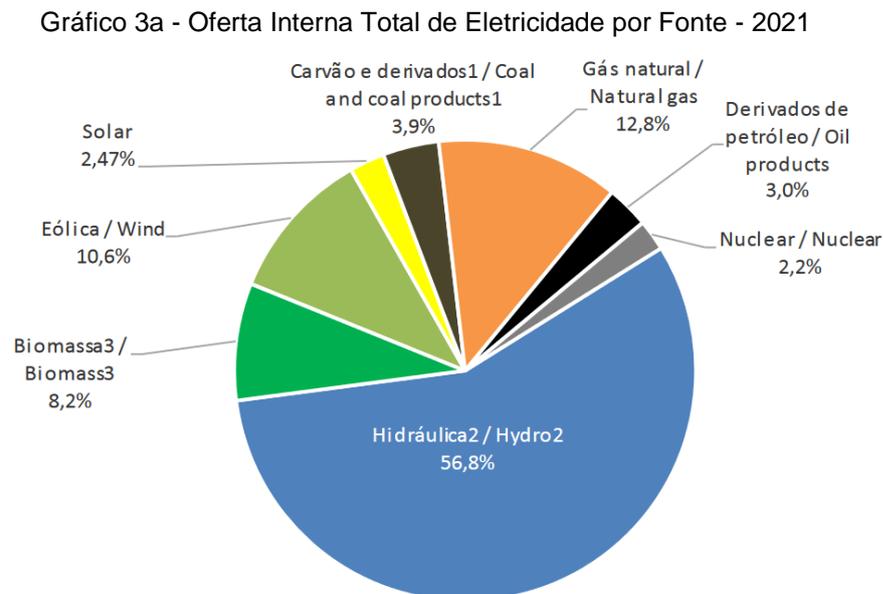


Fonte: EPE,2021

2.5.2 BEN 2022 - Ano base 2021

Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a colheita de cana-de-açúcar em 2021 atingiu 582,3 milhões de toneladas, redução de -12% em comparação ao ano anterior, quando a produção foi de 662,1 milhões de toneladas [6].

A produção nacional de açúcar em 2021 foi de 35,1 milhões de toneladas, redução em comparação com o ano anterior de -14,8%. O Brasil gerou um total de 656,1 TWh, um aumento de 4% em relação a 2020. As usinas de serviço público responderam por 82,6% da geração de eletricidade, enquanto a principal fonte, a hidrelétrica, diminuiu -8,6%. A autoprodução representou 17,4% do total e o consumo interno foi de 114 TWh. Desse montante, 65,9TWh foram consumidos pela geradora. A produção de eletricidade não renovável atingiu 22,6%, acima dos 15,8% em 2020, com destaque para o crescimento do gás natural. As importações líquidas foram de 23,1 TWh e a oferta interna total foi de 679,2 TWh, mais 0,3% que em 2020. O consumo final foi de 570,8 TWh, um acréscimo de 5,7% face ao ano anterior. O gráfico 3a ilustra o fornecimento de eletricidade por fonte de energia.

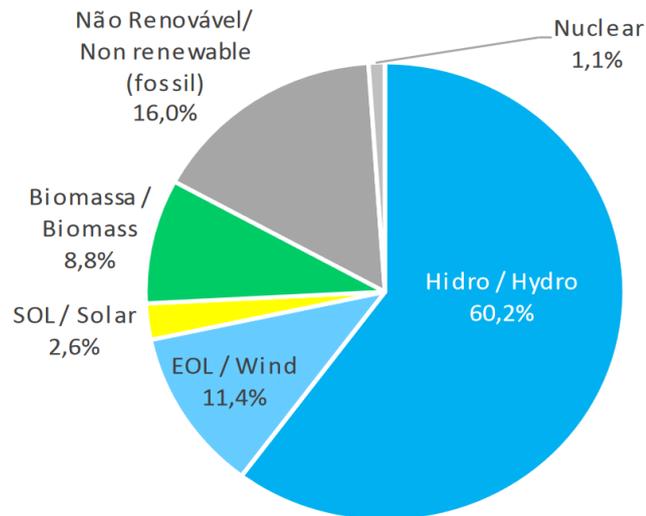


Fonte: EPE,2022

A capacidade total instalada de geração de energia foi de 181.610 MW, excluindo a micro e microgeração de energia, um aumento de 6.873 MW [5], um

aumento de cerca de 3,8%. A Figura 3b mostra o percentual de capacidade instalada contribuída por cada fonte.

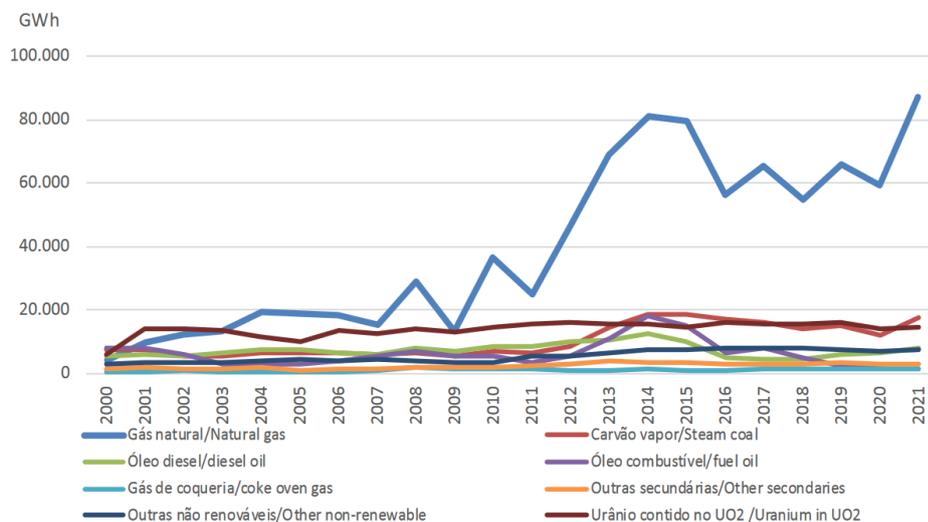
Gráfico 3b - Capacidade Instalada por fonte 2021



Fonte: EPE,2022

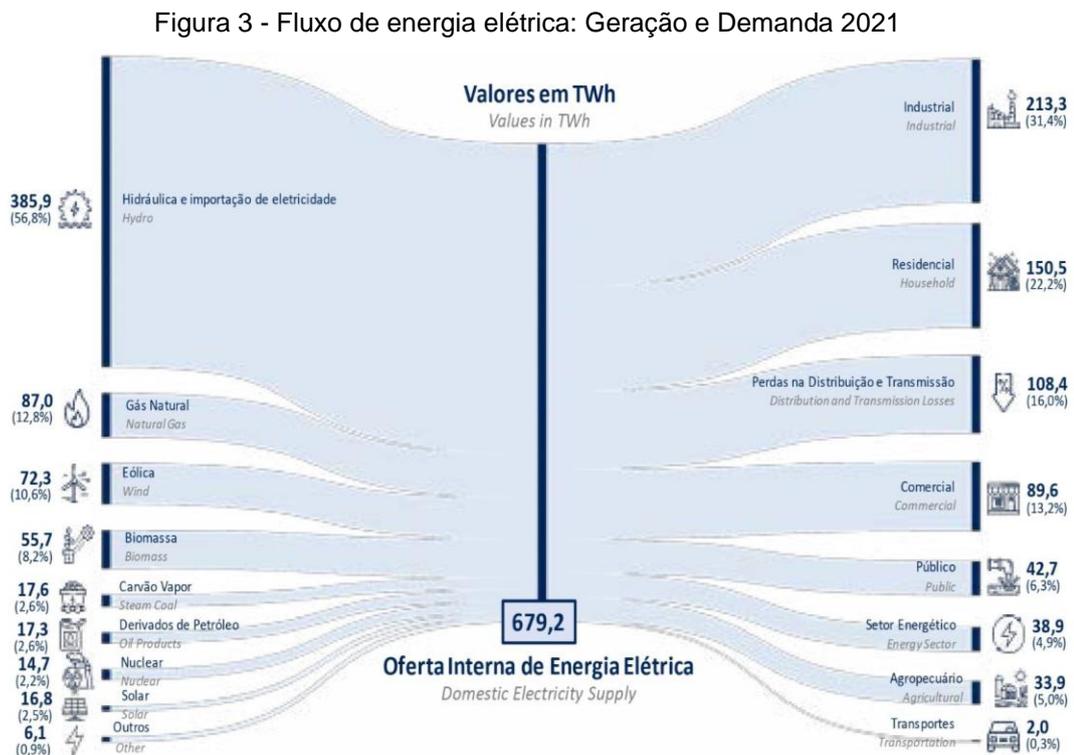
No gráfico 3c, é ilustrada a geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis no ano de 2021, nota-se um crescimento acentuado do uso de energia a partir do gás natural com relação ao ano de 2020 e entre os anos de 2011 e 2014, anos os quais registraram menores índices pluviométricos, como pode ser visto no anexo 2.

Gráfico 3c - Geração de Energia Elétrica: Fontes não renováveis 2021



Fonte: EPE,2022

O fluxo de eletricidade em 2021 corresponde a toda a energia produzida e consumida, incluindo fornecimento interno e perdas de geração, conforme mostra a Figura 3. Observa-se que a quarta fonte de eletricidade mais utilizada em 2021 foi a biomassa, representando 8,2% do total, equivalente a 55,7 TWh uma queda de 5,11% em relação a 2020. Observa-se o considerável aumento da energia eólica, que foi de 28,37% em relação ao ano anterior.



Fonte: EPE, 2022

2.5.3 BEN 2023 - Ano base 2022

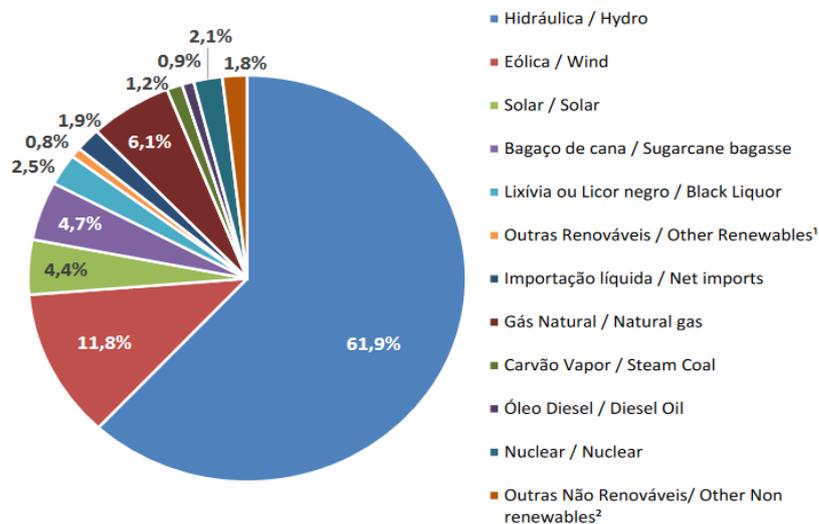
Com base em informações fornecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a colheita de cana-de-açúcar em 2022 atingiu 595,3 milhões de toneladas, apresentando um crescimento de 2,2% em relação ao ano anterior, quando a produção registrou 582,3 milhões de toneladas [7].

A produção nacional de açúcar em 2022 foi de 36,3 milhões de toneladas, indicando um aumento de 3,4% em comparação com o ano precedente. No âmbito da geração de energia elétrica, o Brasil alcançou um total de 677,1TWh, evidenciando um aumento de 3% em relação a 2021. As usinas de serviço público foram

responsáveis por 81,4% da geração de eletricidade, enquanto a fonte dominante, a hidrelétrica, cresceu 17,7%, proveniente do aumento dos reservatórios. A autoprodução contribuiu com 18,6% do total, e o consumo interno atingiu 126 TWh. Destes, 73,7 TWh foram consumidos pela geradora.

A produção de eletricidade não renovável representou 12,36%, contra os 22,6% em 2021. As importações líquidas totalizaram 2,9 TWh, e a oferta interna total alcançou 690,1 TWh, um aumento de 1,6% em relação a 2021. O consumo final de energia elétrica totalizou 586,1 TWh, refletindo um aumento de 2,3% em relação ao ano anterior. O gráfico 4a ilustra a composição da geração de eletricidade por fonte de energia.

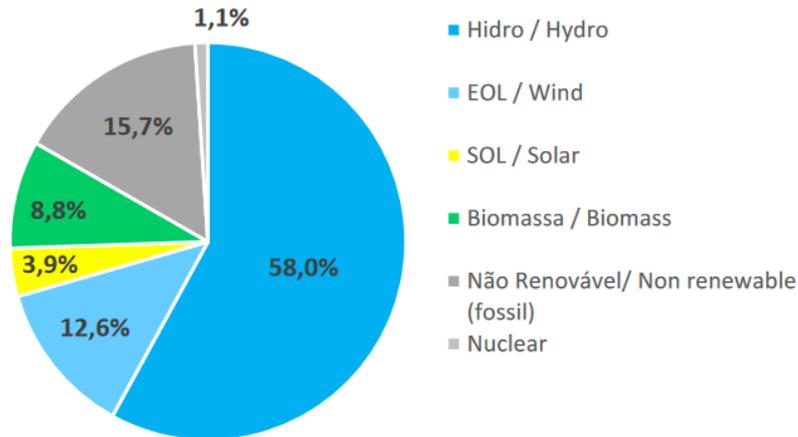
Gráfico 4a - Oferta Interna Total de Eletricidade por Fonte - 2022



Fonte: EPE,2022

A capacidade total instalada para geração de energia atingiu 189.127 MW, excluindo micro e microgeração de energia, evidenciando um acréscimo de 7.517 MW [7], representando um aumento de aproximadamente 4,1%. A Figura 4b apresenta a distribuição percentual da capacidade instalada contribuída por cada fonte.

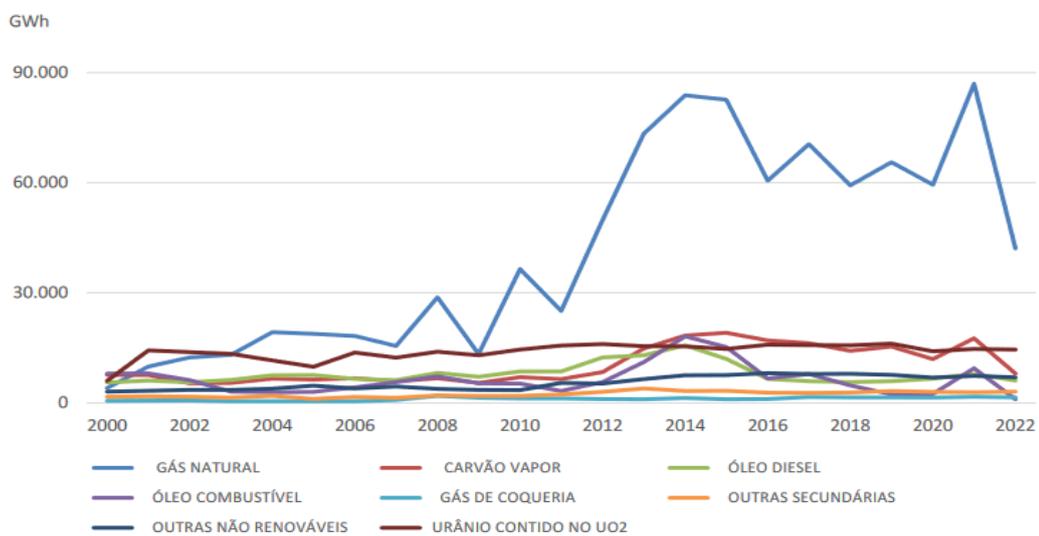
Gráfico 4b - Capacidade Instalada por fonte 2022



Fonte: EPE,2023

No gráfico 4c, pode-se observar a geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis no ano de 2021. Nota-se uma redução significativa no uso de energia proveniente do gás natural em relação ao ano de 2021. Isso ocorre devido aos altos índices hidrológicos, como pode ser visto no anexo 2 e no capítulo 1.

Gráfico 4c - Geração de Energia Elétrica: Fontes não renováveis 2021

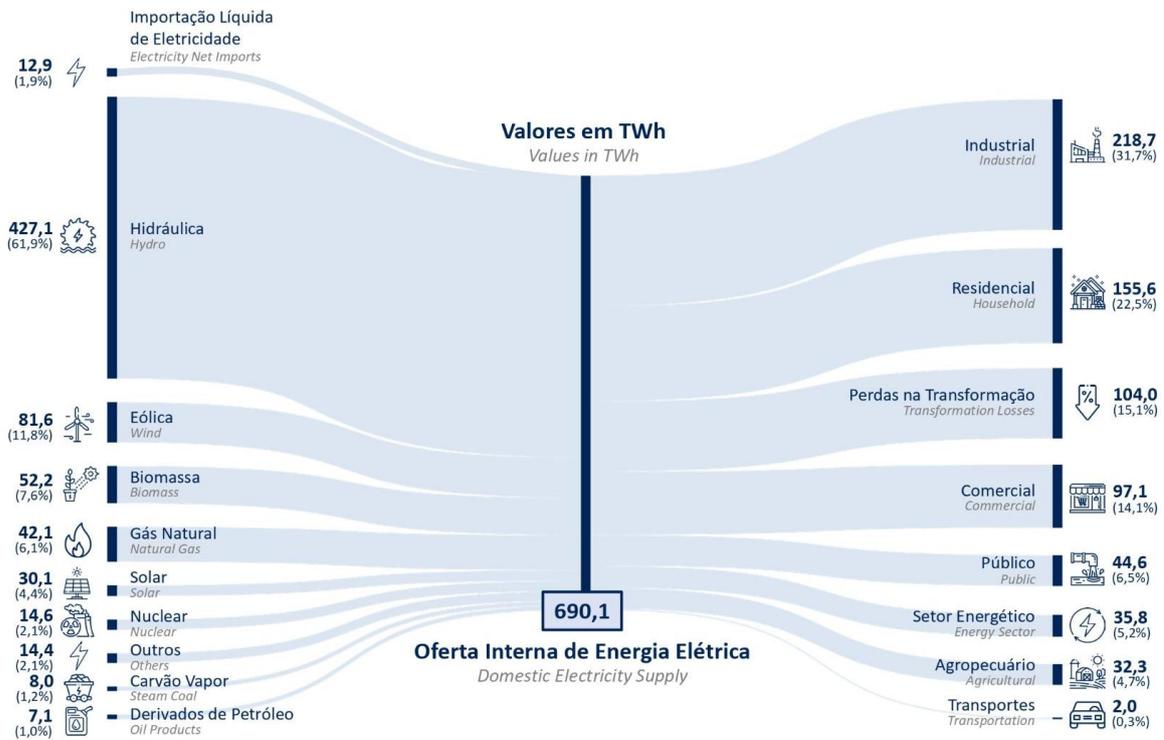


Fonte: EPE,2023

O fluxo de eletricidade em 2022 engloba toda a energia produzida e consumida, incluindo o fornecimento interno e as perdas de geração, conforme

apresentado na Figura 4. Vale destacar que a biomassa se posicionou como a terceira fonte mais utilizada para a geração de eletricidade em 2022, representando 7,6% do total, equivalente a 52,2 TWh, evidenciando uma redução de 6,28% em relação a 2021. Ademais, destaca-se o considerável aumento na utilização de energia eólica, que registrou um crescimento de 12,4% em relação ao ano anterior.

Figura 4 - Fluxo de energia elétrica: Geração e Demanda 2022



Fonte: EPE, 2023

2.6 Plano Decenal 2023-2033

O Plano Decenal de Expansão de energia (PDE) elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma análise abrangente que visa avaliar a evolução, perspectivas e desafios do setor energético brasileiro para um horizonte de dez anos. A EPE, entidade vinculada ao Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME), tem como missão desenvolver estudos e pesquisas que orientem as decisões estratégicas do governo na área de energia, e o plano decenal é uma das ferramentas fundamentais para esse propósito.

Tem como função primordial fornecer uma visão sistêmica e detalhada do panorama energético do Brasil, projetando tendências e cenários futuros com base em premissas técnicas, econômicas e ambientais. Sua elaboração envolve um processo rigoroso de análise que abrange diversos aspectos, desde a geração até o consumo final de energia, passando por aspectos tecnológicos, ambientais e regulatórios.

Apresenta uma ampla gama de informações que desempenham um papel fundamental na formulação de políticas e estratégias no setor energético. Alguns dos principais elementos contemplados no balanço incluem:

1. **Projeções de Demanda e Geração:** O balanço projeta a demanda futura de energia elétrica e os diversos cenários de geração, considerando diferentes fontes, capacidades e tecnologias de produção.
2. **Matriz Energética:** Oferece uma análise detalhada das fontes de energia utilizadas no Brasil, incluindo as participações relativas de fontes renováveis (hidrelétrica, eólica, solar, biomassa), não-renováveis (termelétricas a gás, carvão, nuclear) e importações.
3. **Capacidade Instalada:** Apresenta as estimativas da capacidade de geração de cada fonte de energia, indicando o potencial de produção elétrica de cada tecnologia.
4. **Investimentos e Desenvolvimento Tecnológico:** O balanço fornece informações sobre investimentos previstos e desenvolvimento tecnológico em áreas como eficiência energética, armazenamento de energia, redes inteligentes e outras inovações.
5. **Emissões de Gases de Efeito Estufa:** Considerando a importância das metas de redução de emissões, o balanço avalia o impacto das escolhas energéticas nas emissões de gases de efeito estufa.
6. **Projeções de Preços:** Fornece estimativas de preços de energia para diferentes cenários, auxiliando na compreensão dos custos associados às diferentes opções de geração.

7. **Integração Regional:** Explora as possibilidades de integração energética com países vizinhos, analisando oportunidades de troca de energia, investimentos conjuntos e harmonização regulatória.

Assim, o Plano Decenal de Energia desempenha um papel crucial no planejamento e na tomada de decisões estratégicas no setor energético brasileiro. Ele fornece uma base sólida de informações para orientar políticas que promovam o crescimento sustentável, a segurança energética e a redução de impactos ambientais, contribuindo para a construção de um futuro energético mais resiliente e eficiente.

Abaixo, segue um resumo do PDE de 2021 com as previsões para os próximos 10 anos a respeito de demanda e geração energética.

2.6.1 Plano Decenal de Energia de 2021 e Previsões para os Próximos 10 Anos

No ano de 2021, o Brasil apresentou uma demanda total de energia elétrica de 661.8 terawatts-hora (TWh), com uma capacidade instalada de geração de aproximadamente 190 gigawatts (GW). Desse total, 68% da demanda foi atendida por fontes renováveis, reforçando o compromisso do país com a sustentabilidade e a redução das emissões de carbono. [10]

As previsões indicam um aumento gradual na demanda de energia elétrica nos próximos 10 anos, com uma taxa média de crescimento anual de 3%. Espera-se que a demanda alcance cerca de 820 TWh até 2031. Esse crescimento é impulsionado pelo desenvolvimento econômico, urbanização e expansão de setores industriais.[10]

Em relação às fontes energéticas, a matriz elétrica brasileira continuará a ser fortemente baseada em fontes renováveis. A participação das fontes hidrelétrica e eólica deve se manter significativa, com 54% e 14% da capacidade instalada, respectivamente. A energia solar também terá um papel crescente, representando aproximadamente 10% da capacidade instalada. [10]

A cogeração com biomassa da cana-de-açúcar desempenhará um papel crucial no futuro da geração de energia no Brasil. Aproximadamente 8% da capacidade

instalada será proveniente dessa fonte, contribuindo para a diversificação da matriz energética e reduzindo a dependência de fontes não-renováveis.

Dados em Números (em TWh e GW): [10]

- Demanda de Energia Elétrica (2021): 661.8 TWh
- Capacidade Instalada de Geração (2021): 190 GW
- Demanda Prevista para 2031: Cerca de 820 TWh
- Participação da Geração Hidrelétrica: 54% (Capacidade Instalada)
- Participação da Geração Eólica: 14% (Capacidade Instalada)
- Participação da Geração Solar: Aproximadamente 10% (Capacidade Instalada)
- Participação da Cogeração com Biomassa: 8% (Capacidade Instalada)

A análise prospectiva da demanda de energia elétrica nos próximos 10 anos revela um cenário marcado por um aumento progressivo na necessidade energética do Brasil. Projeções indicam uma taxa média de crescimento anual de aproximadamente 3%, culminando em uma demanda estimada de cerca de 820 terawatts-hora (TWh) até o ano de 2031. Esse crescimento considerável reflete diversos fatores interconectados que exercerão influência significativa sobre o sistema energético do país.

Embora o crescimento da demanda de energia elétrica ofereça oportunidades para o desenvolvimento econômico e a modernização da infraestrutura do país, também traz consigo desafios complexos. Garantir um suprimento de energia confiável, sustentável e acessível é essencial para evitar desequilíbrios na oferta e demanda, bem como para minimizar impactos ambientais negativos.

As previsões para o aumento gradual da demanda de energia elétrica nos próximos 10 anos refletem uma interação complexa entre fatores econômicos, demográficos e industriais. O Brasil está diante de uma oportunidade para impulsionar o crescimento sustentável por meio da modernização de sua infraestrutura energética. Essa trajetória demandará cooperação entre setores público e privado, bem como

inovação contínua na busca por soluções que garantam um suprimento energético resiliente, eficiente e em consonância com as metas ambientais.

2.7 Vantagens e Desvantagens da Cogeração de Biomassa

A seção a seguir cita as vantagens e desvantagens da cogeração de energia elétrica a partir da biomassa do bagaço de cana de açúcar.

2.7.1 Vantagens

As vantagens da cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana são:

- É uma fonte renovável e inesgotável de energia, que utiliza um resíduo da produção de açúcar e etanol;
- O Brasil é o maior produtor de açúcar do mundo;
- É uma fonte limpa e sustentável de energia, que reduz a emissão de gases de efeito estufa e o consumo de combustíveis fósseis;
- É uma fonte competitiva e econômica de energia, que gera receita para os produtores de cana-de-açúcar e reduz os custos de energia elétrica;
- É uma fonte descentralizada e flexível de energia, que pode ser instalada nas regiões produtoras de cana-de-açúcar, aproveitando o potencial local;
- É uma fonte complementar e integrada à matriz elétrica nacional, que contribui para a diversificação e a segurança energética do país.

Do ponto de vista econômico, a cogeração é uma fonte competitiva e econômica de energia. Produtores de cana-de-açúcar podem gerar receita adicional por meio da venda de eletricidade excedente para a rede elétrica, contribuindo para a rentabilidade da indústria sucroenergética. Além disso, a adoção da cogeração pode resultar em redução dos custos de energia elétrica para as usinas, o que tem impactos positivos tanto no setor industrial quanto no bolso do consumidor final.

A natureza descentralizada e flexível da cogeração é outra vantagem marcante. As usinas de cogeração podem ser implantadas diretamente nas regiões produtoras de cana-de-açúcar, aproveitando o potencial local. Isso reduz as perdas na transmissão de energia e contribui para a promoção do desenvolvimento regional, criando empregos e oportunidades nas áreas rurais onde a cana é cultivada. Essa descentralização também oferece maior resiliência ao sistema elétrico, minimizando os riscos associados a falhas na transmissão de longa distância.

Por fim, a cogeração se destaca como uma fonte de energia complementar e integrada à matriz elétrica nacional. Ao ser integrada aos demais recursos energéticos, como hidrelétricas, eólicas e solares, a cogeração contribui para a diversificação da matriz e para a segurança energética do país. A interconexão entre diferentes fontes de geração suporta a estabilidade do sistema elétrico, reduzindo a vulnerabilidade a choques de oferta e demanda e promovendo uma infraestrutura mais resiliente.

Essas vantagens coletivamente consolidam a cogeração de energia a partir do bagaço da cana de açúcar como uma solução promissora e multifacetada para os desafios energéticos e ambientais enfrentados pelo Brasil. Ao abraçar essa abordagem, o país pode colher benefícios significativos, desde a redução de emissões até a criação de oportunidades econômicas regionais, contribuindo para uma matriz energética mais equilibrada, sustentável e robusta.

2.7.2 Desvantagens

As desvantagens da cogeração também devem ser consideradas, como:

- É uma fonte sazonal e dependente da safra da cana-de-açúcar, que ocorre entre abril e novembro no Brasil;
- É uma fonte que requer um alto investimento inicial para a instalação dos equipamentos de cogeração e a conexão à rede elétrica;
- É uma fonte que causa impactos ambientais e sociais, como a emissão de material particulado na queima do bagaço, a poluição do solo e da água pelo vinhoto (resíduo líquido da

produção de etanol), o desmatamento para o plantio da cana-de-açúcar, a exploração da mão-de-obra rural;

- É uma fonte que enfrenta desafios técnicos e regulatórios, como a necessidade de sistemas de controle de emissões, a integração com outras fontes renováveis (biogás, biomassa florestal), a adequação às normas ambientais e tributárias.
- Falta de subsídios - Como investimentos e a própria concorrência local na compra de cana, pois há outras usinas nos arredores da Monte Alegre;
- Limites estabelecidos pela Aneel – Seria de 3,5 MWh, porém com a crise foi permitida a exportação de 5 MWh, No entanto a capacidade produtiva ainda é superior. A solução encontrada é a armazenagem para períodos de baixa safra.

Ao considerar a adoção da cogeração de energia a partir do bagaço da cana de açúcar, é crucial também avaliar suas desvantagens, a fim de tomar decisões informadas e implementar medidas mitigadoras. Primeiramente, a cogeração é uma fonte sazonal e intrinsecamente vinculada à safra da cana-de-açúcar, que ocorre entre abril e novembro no Brasil. Isso pode resultar em variações significativas na disponibilidade de matéria-prima ao longo do ano, impactando a geração contínua de energia e requerendo estratégias de armazenamento ou complementação com outras fontes.

Além disso, a cogeração exige um investimento inicial substancial para a instalação dos equipamentos de geração e a conexão à rede elétrica. A complexidade técnica envolvida na conversão do bagaço em energia elétrica, bem como os custos associados à infraestrutura elétrica, podem ser barreiras significativas para a adoção em larga escala, especialmente para pequenos produtores ou empresas com recursos financeiros limitados.

Em termos ambientais e sociais, a cogeração não está isenta de impactos. A queima do bagaço da cana pode resultar na emissão de material particulado e outros poluentes atmosféricos, afetando a qualidade do ar. Além disso, a produção de etanol gera um subproduto líquido chamado vinhoto, que pode poluir o solo e a água se não

for tratado adequadamente. A expansão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar pode levar ao desmatamento, impactando ecossistemas sensíveis. A exploração da mão-de-obra rural também pode suscitar preocupações relacionadas aos direitos trabalhistas e à justiça social.

Do ponto de vista técnico e regulatório, a cogeração enfrenta obstáculos. A necessidade de sistemas eficazes de controle de emissões é vital para mitigar os impactos ambientais da queima do bagaço. Além disso, a integração da cogeração com outras fontes renováveis, como o biogás ou a biomassa florestal, requer soluções tecnológicas complexas para garantir a harmonia das operações. A conformidade com normas ambientais e tributárias também é uma preocupação, já que a implementação da cogeração deve estar em conformidade com regulamentações rigorosas para evitar consequências legais e financeiras.

Em conclusão, embora a cogeração de energia a partir do bagaço da cana de açúcar ofereça vantagens notáveis, é essencial encarar de frente suas desvantagens. Uma abordagem equilibrada que considera tanto os benefícios quanto os desafios é crucial para tomar decisões informadas e para desenvolver estratégias que abordem as limitações da cogeração. A superação dessas desvantagens exige inovação contínua, investimento em tecnologia e pesquisa, e a adoção de práticas sustentáveis que minimizem os impactos negativos associados à produção de energia a partir do bagaço da cana de açúcar.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O desenvolvimento do trabalho refere-se à análise do caso em questão, Usina Monte Alegre, na Paraíba. Com base nos dados fornecidos pela usina, foi realizada a metodologia para estudo de caso e obtenção de parâmetros.

3.1 Estudo de Caso - Usina Monte Alegre

3.1.1 Metodologia

- Coleta de Dados: Foi realizada visita técnica à usina, onde o processo de cogeração da Usina Monte Alegre pôde ser visto. Foram obtidos dados relevantes fornecidos pela Usina Monte Alegre, incluindo informações sobre a produção de cana-de-açúcar, quantidade de bagaço gerado, capacidade de geração de energia elétrica e consumo energético da usina.
- Análise Quantitativa: A análise quantitativa dos dados coletados será realizada com base na metodologia adotada pela empresa de pesquisa energética, que avalia a eficiência de usinas de cogeração de biomassa. Para calcular a eficiência, serão utilizados indicadores-chave, como o índice de eficiência de cogeração (IEC) e o rendimento energético global (REG). O IEC relaciona a energia elétrica gerada com a energia térmica utilizada, enquanto o REG abrange a energia elétrica gerada em relação à energia contida no bagaço. Esses indicadores permitirão uma avaliação objetiva da eficácia da cogeração.
- Comparação: Para contextualizar os resultados, será realizada uma comparação dos indicadores-chave da Usina Monte Alegre com a média nacional, realizada pela EPE.
- Ética da Pesquisa: A pesquisa se pautará em princípios éticos fundamentais. A coleta de dados será feita respeitando a privacidade da Usina Monte Alegre e todas as informações sensíveis serão tratadas com confidencialidade. Os dados coletados serão apresentados de forma agregada e anônima, preservando a identidade da usina.

A integridade dos dados será garantida através de verificações rigorosas, consistência e validação cruzada. Todas as fontes utilizadas para coleta e análise serão devidamente citadas e referenciadas. O uso de técnicas de análise quantitativa seguirá padrões reconhecidos, visando minimizar vieses e assegurando a robustez dos resultados.

- **Discussão e Conclusões:** Com base nos resultados obtidos, será realizada uma discussão sobre o papel da usina como incentivadora da bioeletricidade de cana e sua contribuição abrangente da cogeração a partir do bagaço da cana-de-açúcar, considerando as implicações socioeconômicas e ambientais. As conclusões irão destacar a viabilidade dessa abordagem como uma contribuição significativa para a sustentabilidade energética.

Em resumo, essa metodologia detalhada garantirá uma análise sistemática e organizada dos dados obtidos, permitindo uma avaliação precisa da eficiência da cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar na Usina Monte Alegre, com relevância para a atualidade e para o futuro da matriz energética sustentável.

A metodologia proposta estabelece um caminho sistemático para a avaliação da eficiência da cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar na Usina Monte Alegre. Ao adotar a metodologia da empresa de pesquisa energética e considerar aspectos éticos, busca-se garantir a validade e a integridade dos resultados, contribuindo para a expansão do conhecimento na área de energia sustentável.

Através da metodologia utilizada e, tendo como base uma análise feita pela empresa de pesquisa energética [11], é possível calcular o índice de eficiência de cogeração (IEC) e o rendimento energético global (REG) da Usina Monte Alegre, para o ano de 2023. Os dados fornecidos e que, com os quais foi possível montar os gráficos de 11 a 14, também ajudam a calcular esses parâmetros.

Utilizando os seguintes dados para a Usina Monte Alegre:

p1 - pressão do vapor (superaquecido) antes da turbina (kg/cm²)

t1 - temperatura do vapor antes da turbina (°C)

p2 - pressão do vapor (saturado) após a turbina (kg/cm²)

t2 - temperatura do vapor após a turbina (°C)

C - consumo de combustível na caldeira (kl/kg)

E1 - eletricidade produzida no gerador G2 (MW)

E2 - eletricidade produzida no gerador G3A (MW)

y1 - percentual de vapor que passa pelo turbogerador G2 (kg vpr/h)

y2 - percentual de vapor que passa pelo turbogerador G3A (kg vpr/h)

n - rendimento das caldeiras (%)

Tabela 2 - Dados da Usina para cálculo do rendimento

p1	t1	p2	t2	C	E1	y1	E2	y2	n
71,56	291,76	1,30	120,97	2373,11	6,6183	8686,64	6,61828	8686	71,16

Fonte: Monte Alegre, 2023.

Primeiramente, calcula-se as as entalpias “i1” e “i2” do vapor, em kcal/kg, utilizando os dados de pressão e temperatura da tabela 2, sendo “i1” para antes da turbina e “i2” para depois da turbina. A variação nas entalpias impulsiona a produção elétrica. Essa variação, dividida pela entalpia pré-turbina, fornece um percentual. Ao multiplicá-lo por "y" (a proporção de vapor através do turbogerador) e por "C" (o combustível total), determinamos a quantidade de combustível adicionada à caldeira para a geração elétrica. Através da figura 6, pode-se ver as grandezas envolvidas no cálculo dos índices (IEC) e (REG).

Figura 6 - Cálculos para entalpia

- (b) $i1 - i2$ → diferença de entalpias do vapor
- (c) $(i1 - i2)/i1$ → % de calorías de vapor para gerar eletricidade
- (d) $C * c * y$ → total de combustível acrescido na caldeira para gerar eletricidade

Fonte: PATUSCO, 2018.

Dividindo a eletricidade gerada ("E") pelo combustível adicionado na caldeira, calculamos o rendimento da cogeração. É relevante notar que, segundo esse critério, o rendimento incorpora proporcionalmente às perdas na caldeira. Para calcular exclusivamente o rendimento do turbogerador (sem considerar as perdas na caldeira), têm-se o seguinte procedimento:

1. Determinar a quantidade de vapor "t" produzida na caldeira multiplicando o combustível total "C" pelo rendimento da caldeira "n" e dividindo pelo valor da entalpia do vapor antes da caldeira "i1".
2. Ao multiplicar o total de vapor pelo percentual de vapor que passa pela turbina "y" e pela diferença de entalpias, obter o total de calorias utilizadas na geração de eletricidade.
3. Dividindo a eletricidade gerada "E" pelo valor obtido na etapa anterior para a geração, determinar o rendimento do turbogerador (sem considerar as perdas na caldeira). É evidente que esse rendimento será diretamente proporcional ao rendimento estimado para a caldeira.

Os valores de i_1 e i_2 , calculados, em kJ/kg (kilojoule por kilograma) são, respectivamente: 2801,53 kJ/kg e 2715,73 kJ/kg.

As equações da figura 4 resultam, respectivamente: 85,8 kJ/kg 3,063% e 631,33 kl/kg.

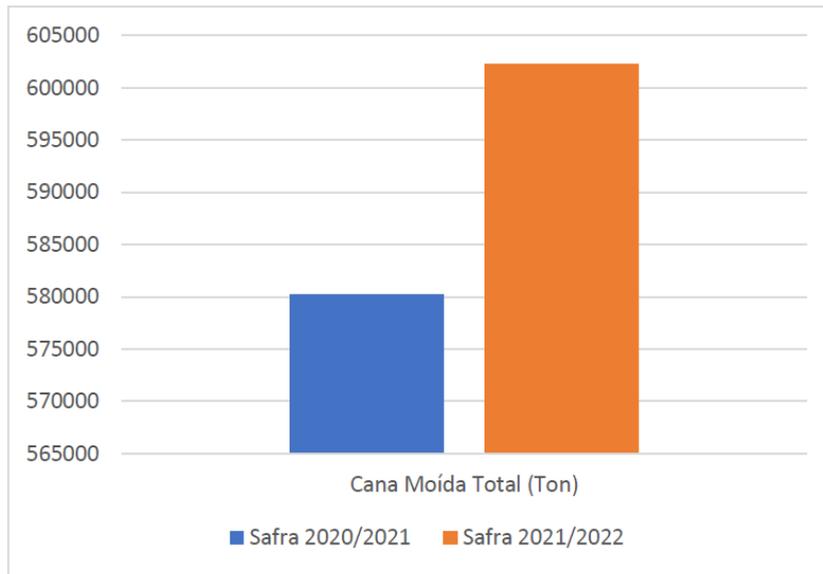
3.1.2 Resultados

Seguem os gráficos e tabelas obtidos com o estudo de caso em questão.

Através das equações do tópico anterior, têm-se, para a Usina Monte Alegre, os índices de eficiência de cogeração (IEC) de rendimento energético global (REG) que são, respectivamente: 43,2% e 60,28%. Os parâmetros nacionais, a critério de comparação, calculados a partir de dados de sete usinas de cogeração espalhadas pelo país, cujos cálculos foram base para os da Usina Monte Alegre. A média ponderada do IEC nacional é de 30%, enquanto a média ponderada do REG nacional é de 46,3%.

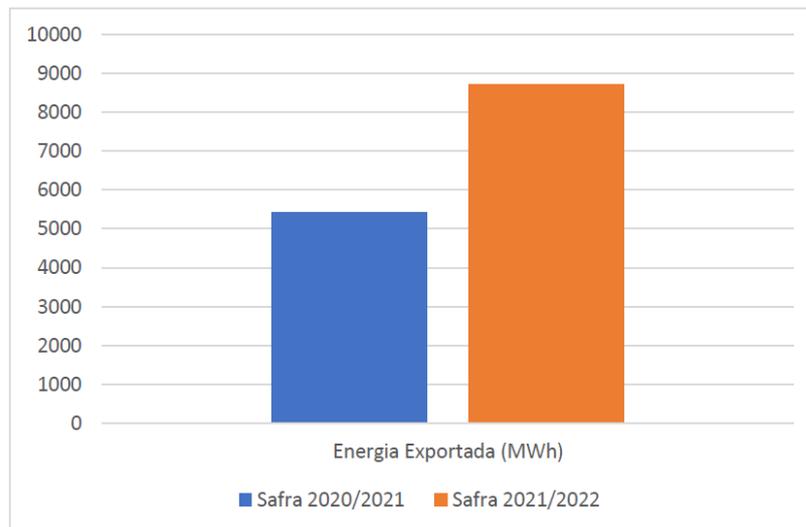
É possível observar, no gráfico 6, o aumento da potência exportada da safra 2020/2021 para a safra de 2021/2022. Nos gráficos de 5 e 7 é possível observar a proporção desse aumento referente, respectivamente à quantidade de cana e energia exportada por tonelada de cana.

Gráfico 5 – Safras x Cana moída Total



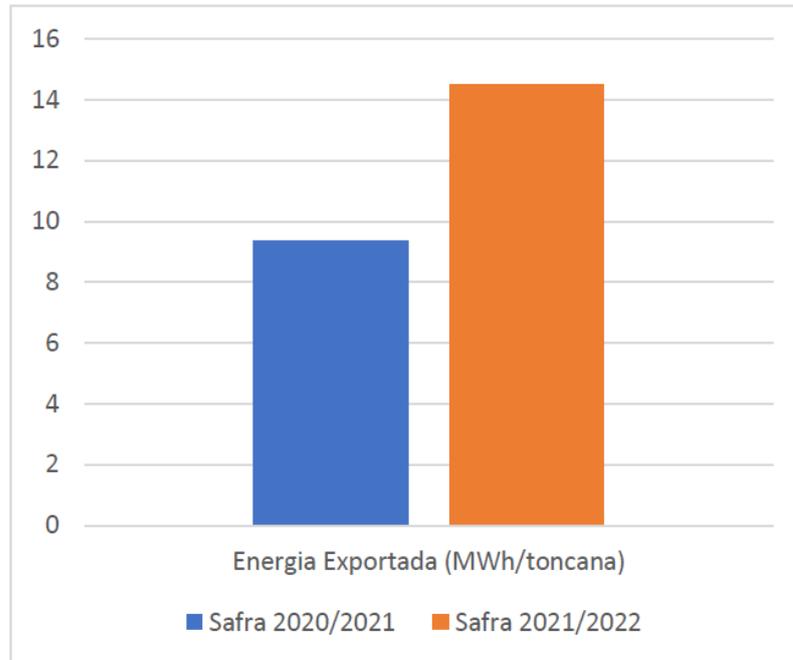
Fonte: Monte Alegre,2021.

Gráfico 6 – Safras x Energia exportada (MWh)



Fonte: Monte Alegre,2021.

Gráfico 7 – Safras X Energia exportada (MWh/ ton)



Fonte: Monte Alegre, 2021.

Já na tabela 3 é possível observar a influência fatores externos operacionais na geração da Usina, onde, no ano de 2021, só houve geração nos meses de agosto a novembro. As médias desses valores compõem os gráficos de 5 a 7.

Tabela 3 – Resultados Semanais – Safra de 2021

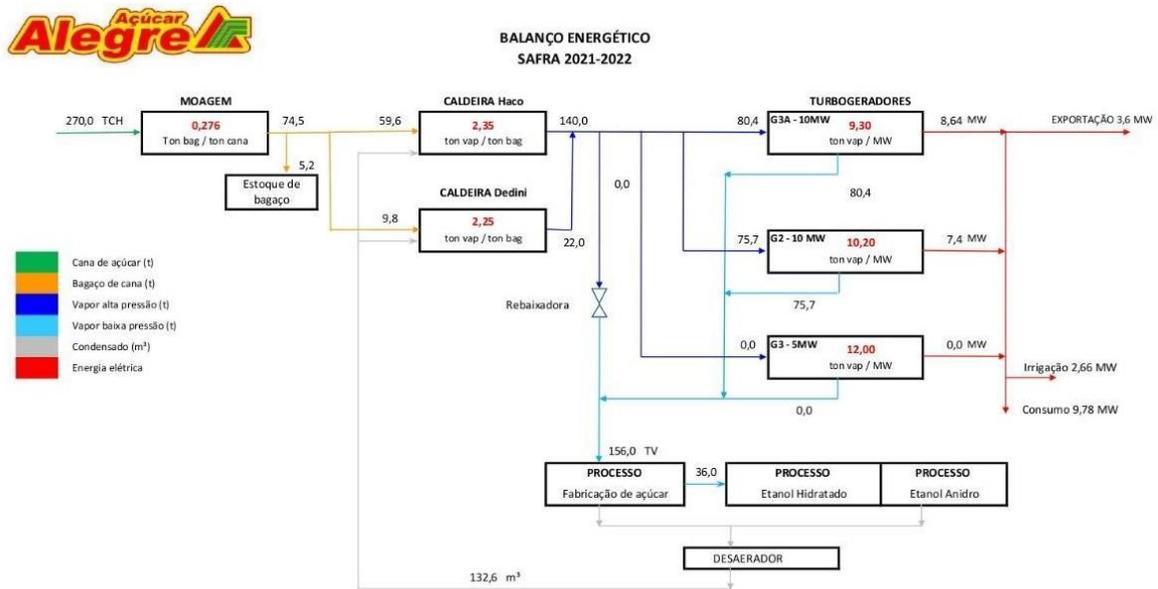
	15/ago	22/ago	29/ago	05/set	12/set	19/set	26/set	03/out	10/out	17/out	24/out	31/out	07/nov	17/nov	21/nov
Cana Moída Total (Ton)	21463	39394	38646	42150	40596	42469	39507	44202	41794	43838	42613	41687	43324	42710	37867
Energia Exportada (MWh)	270	496	435	511	507	555	552	631	629	681	699	695	676	742	651
Energia Exportada (MWh/TonCana)	12,58	12,59	11,26	12,12	12,49	13,07	13,97	14,28	15,05	15,53	16,4	16,67	15,6	17,37	17,19

Fonte: Monte Alegre, 2021.

Através da figura 5 é possível observar o funcionamento da Usina Monte Alegre. A usina possui 3 turbogeradores com potência máxima de 10MW, totalizando capacidade atual de geração de 30MW. No entanto, para a safra de 2021-2022 estão em operação apenas dois turbogeradores. O turbogerador G3A fornece 8,64MW de potência, enquanto que o turbogerador G2 fornece 7,4MW de potência, totalizando

uma geração de 16,04MW. Dessa geração, 2,66MW é utilizado para irrigação da caldeira e 9,78MW consumo, enquanto 3,6MW é utilizado para exportação. Os gráficos 11 a 14 mostram as eficiências desses turbogeradores.

Figura 5 - Balanço Energético 2021-2022



Fonte: Monte Alegre, 2022

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Os resultados obtidos revelam a forte influência da disponibilidade da matéria-prima na efetiva geração de energia. A oscilação na demanda de exportação aponta para ajustes em relação à oferta. A discrepância entre a capacidade instalada e o contrato de exportação evidencia possível subutilização, possivelmente devido a restrições operacionais. Ao confrontar esses achados com estudos preexistentes, reforça-se o papel sazonal da geração, consolidando essa característica.

As vantagens inerentes a essa abordagem de cogeração incluem ganhos em sustentabilidade e a diversificação da matriz energética. No entanto, as desvantagens surgem claramente, notadamente a dependência sazonal da safra de cana-de-açúcar para o fornecimento da matéria-prima. Essa relação de altos e baixos ilustra a importância de abordagens complementares para garantir a estabilidade e a confiabilidade da geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

Ainda, esse cenário impacta positivamente os consumidores, promovendo tarifas mais estáveis e possivelmente mais acessíveis. A abordagem de cogeração não apenas contribui para uma matriz energética mais limpa e diversificada, mas também alinha os interesses dos consumidores a uma oferta mais estável e economicamente vantajosa. Essa simbiose entre setor produtivo e consumidores cria um cenário promissor para a engenharia elétrica.

A análise sobre a Usina Monte Alegre é extremamente positiva. A usina demonstra uma capacidade notável de adaptação e resiliência diante das variações no setor energético brasileiro. Mesmo com a diminuição da demanda de contratação de energia de biomassa, a usina mantém perspectivas de crescimento, o que é um testemunho de sua eficiência operacional e estratégia de negócios.

Assim, a cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar não apenas permite à usina manter uma fonte de energia limpa para consumo próprio, mas também apresenta lucratividade ao utilizar resíduos que seriam descartados. Isso não apenas reduz o desperdício, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental.

Além disso, a Usina Monte Alegre serve como um modelo para outras empresas que desejam adotar tecnologias renováveis. Embora seu impacto no Sistema Interligado Nacional (SIN) possa ser pequeno, seu sucesso demonstra o potencial da bioeletricidade como uma fonte de energia viável e lucrativa. Infelizmente, a caráter de comparação, não foi possível calcular o payback da usina. Nas entressafras, a usina se mantém com reservas do bagaço proveniente de safras, mas este só é utilizado para consumo interno, não havendo exportações nas entressafras.

Em conclusão, a Usina Monte Alegre é um exemplo brilhante de inovação e sustentabilidade no setor energético. Sua abordagem para a cogeração de energia e o uso eficiente de resíduos demonstram um caminho promissor para o futuro da energia no Brasil.

REFERÊNCIAS

1. ABEEOLICA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Energia Eólica: Os Bons Ventos do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/> . Acesso em: 02. ago. 2023.
2. ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Monitor de Secas**. 2023. Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br/> . Acesso em: ago.2023.
3. ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Subsidiômetro**. 2023 Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiY2Q1YjdlZTEtMzQ2ZS00OTIyLThiODctZDY2NTRhMDFhMmFjliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 05. ago. 2023.
4. BARROS, **S. Sugar Annual São Paulo**, n. 0015, p. 12-13,15 jul. 2021.
5. COGEN. ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Conceito e Tecnologias**. 2023. Disponível em: <https://www.cogen.com.br/cogeracao/conceito-e-tecnologias> . Acesso em: 05. ago. 2023.
6. EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> . Acesso em 05. ago. 2023.
7. EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN 2022. Balanço Energético Nacional 2022**: Ano base 2021. Rio de Janeiro. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf> . Acesso em 05. ago. 2023.
8. EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN 2023. Balanço Energético Nacional 2023**: Ano base 2022. Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf . Acesso em 10. ago. 2023.

9. EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN 2021. Balanço Energético Nacional 2021:** Ano base 2020. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 10. ago. 2023.
10. EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **PDE 2022. Plano Decenal de Expansão de Energia.** 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-49/topico-86/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202022.pdf> . Acesso em: 10. ago. 2023.
11. ESFERA. Esfera Energia. **Energia de carvão mineral: entenda o que é e como ela é utilizada no Brasil.** 2021. Disponível em: blog.esferaenergia.com.br/fontes-de-energia/energia-carvao-mineral . Acesso em 11. ago. 2023.
12. MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Cana de Açúcar.** 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar> . Acesso em: 11. ago. 2023.
13. MORAIS, Luciano Cardoso De. **Estudo Sobre O Panorama Da Energia Elétrica No Brasil E Tendências Futuras.** BAURU/SP. 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/06e05a82-ffac-438b-9dbb-c8e67a494eb5/content>. Acesso em: 11. ago. 2023.
14. ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Reservatórios.** 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/reservatorios> . Acesso em: 12. ago. 2023.
15. PATUSCO, João Antônio Moreira. EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Tratamento da Cogeração nos Balanços Energéticos.** COBEN 08/93. 2018.

16. SANTOS, VANESSA DOS. **Ciclo do carbono:** etapas, importância, mapa mental. Brasil Escola. 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-carbono.htm> . acesso em: 12. ago. 2023.
17. UNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Bioeletricidade**.2023. Disponível em: <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/bioeletricidade>. Acesso em: 13. jul. 2023.
18. UNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Biomassa passa térmicas a gás na geração de energia**. 2023. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/biomassa-passa-termicas-a-gas-na-geracao-de-energia>. Acesso em: 13. jul. 2023.
19. UNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Geração de bioeletricidade à rede cresce 30% em 2023**. 2023. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/geracao-de-bioeletricidade-a-rede-cresce-30-em-2023>. Acesso em: 13. jul. 2023.

ANEXOS

ANEXO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO MONTE ALEGRE

1



MEMORIAL DESCRITIVO PROCESSO PRODUTIVO

Descrição Geral do Processo para Moagem da Cana, Geração de Calor e Energia Elétrica e Produção de Açúcar e Etanol

A cana de açúcar recebida pela Usina Monte Alegre contém em torno de 16% de fibra. Durante o processo de extração do caldo nas moendas, ocorre a separação do caldo (líquido que contém a sacarose, utilizado no processo de fabricação de açúcar e etanol) e do bagaço (parte que contém a fibra que segue para geração de vapor).

O bagaço com aproximadamente 50% de umidade segue através de esteiras transportadoras, é distribuído nas fornalhas das caldeiras, onde é queimado por insuflação do ar primário e secundário, gerando vapor.

A fibra da cana é suficiente para que a quantidade de bagaço produzida durante o processo de moagem seja utilizada na geração de vapor, que gera a energia elétrica necessária para movimentar uma unidade industrial deste porte e o vapor servido é utilizado no processo de fabricação de açúcar e de etanol, fazendo os aquecimentos, concentração, destilação.

O excedente de bagaço é utilizado na cogeração de energia elétrica para exportação ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e daí ser comercializada no Ambiente de Contratação Livre (ACL), ou ainda ser empregada na irrigação da cana da própria usina. Também pode ser



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





vendido hidrolisado ou *in natura*

O vapor é conduzido por tubulações de aço especial, isolados com lã de rocha e revestidos com chapas de alumínio até as turbinas a vapor. A usina possui quatro conjuntos turbo-geradores, sendo: dois conjuntos NG/WEG de 10,0 MW, um conjunto NG/WEG de 5,0 MW, que geram energia elétrica em 13.800 Volts, e um conjunto NG/Mausa de 1,2 MW em 380 Volts.

Os ternos da moenda são acionados individualmente por motores elétricos WEG de 800 CV e redutores planetários. Todos são controlados por inversores de frequência, cada terno dispõem de luvas ACIP para a transmissão do movimento dos equipamentos acionadores para os tambores.

O setor de preparação da cana, é acionado por motores elétricos WEG de 1.500 CV e 1.250 CV para o desfibrador e picador, respectivamente, ambos controlados por inversores de frequência. Temos também uma turbina NG para acionar o desfibrador em caso de pane no motor elétrico.

A usina dispõe também de uma turbina DEDINI que aciona uma bomba de água que alimenta as caldeiras em caso de emergência ou indisponibilidade dos motores elétricos.

O vapor gerado de escape destas máquinas com pressão de 1,5



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





kgf/cm², 160°C, é utilizado no processo para aquecimento do caldo, onde ocorre evaporação da água e gerando um vapor vegetal com pressão de 0,8 kgf/cm², temperatura 116°C que é utilizado para destilação do etanol e na fabricação de açúcar.

Descrição do Processo de Fabricação de açúcar e do Etanol

BALANÇA: Descrição do processo, atividades e equipamentos envolvidos.

A mesma balança que pesa a cana, também faz a pesagem do bagaço e dos suprimentos utilizados na fabricação de açúcar e na destilaria. Tais como Cal hidratado, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, soda caustica etc.

As operações de pesagens são efetuadas pelos funcionários balanceiros, que fazem turnos fixos de trabalho.

LABORATÓRIO DE SACAROSE: Descrição do processo, atividades e equipamentos envolvidos.

A cana, após a pesagem, passa pelo laboratório de análise para identificar seu teor de sacarose, onde são analisadas 100% da cana recebida, seja de fornecedores ou própria da usina. As amostras são extraídas por uma sonda amostradora horizontal da Codistil, onde são retiradas as amostras para determinação da qualidade da matéria prima



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





recebida.

O material coletado é encaminhado em baldes para ser processado na forrageira. A atividade de triturar é feita pelos operadores de forrageira e a amostra, em seguida é enviado para análise. No laboratório, é pesada uma quantidade de amostra que é levada para uma prensa onde é extraído o caldo. O caldo é filtrado e analisado para a obtenção de BRIX e do teor de sacarose, utilizando-se o refratômetro e o sacarímetro.

Do material sólido restante da amostra prensada, denominada de bolo úmido, é obtido o teor de fibra da cana, de acordo com cálculos estatísticos. Todas as análises do laboratório são realizadas pelos analistas de laboratório e as informações armazenadas no sistema integrado CS desde a balança, identificando o fornecedor da matéria prima, sua qualidade e quantidade recebida.

EXTRAÇÃO DO CALDO: Descrição do processo, atividades e equipamentos envolvidos.

I - Recepção:

Após a pesagem, a cana é descarregada diretamente na mesa alimentadora, e para o descarregamento é utilizado um tombador ou hilo como normalmente é chamado. As cargas dos guinchos são içadas com a utilização de argolas metálicas, nos quais são presas aos cabos de aço



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





fixados na carroceria do caminhão em pontos estratégicos. O funcionário opera o guincho acionando através de botoeiras, procedendo à retirada da carga do caminhão de uma só vez, que é elevada e tombada diretamente na mesa.

A cana descarregada na mesa alimentadora é lavada com água limpa que foi utilizado pelos condensadores barométricos da fabricação de açúcar, e é descarregada em uma esteira metálica, que na sua trajetória possui nivelador, picador e o desfibrador para preparar a cana, para o esmagamento pela moenda. A cana desfibrada agora é descarregada em uma esteira de borracha para alimentar os ternos da moenda. Também recebemos cana picada, e neste caso apenas não é lavada.

As operações deste setor são supervisionadas pelo funcionário Líder que chamamos de Encarregado da moagem.

As canas que eventualmente caíam dos veículos, são removidas por uma carregadeira, onde são amontoadas e em seguida retornando ao processo de descarrego na mesa alimentadora. As canas que caem eventualmente das mesas alimentadoras são direcionadas aos cuch-cuch pelos funcionários que realizam a limpeza das mesas alimentadoras. Um funcionário observa a esteira desfibrada para que ela seja mantida sempre limpa e centralizada para que a cana já desfibrada vá para a moenda sem eventuais problemas.



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





II - Moenda:

A cana desfibrada é conduzida ao conjunto dos ternos de moenda por esteiras transportadoras, na qual se encontra um separador eletromagnético. A extração do caldo é feita por um conjunto com cinco ternos, acionados por motores elétricos acoplados a redutores planetários. O sistema de embebição é composto com água quente e caldo de baixo brix. O caldo concentrado ou misto como é chamado, após passar por uma peneira rotativa, é bombeado para seu tratamento no setor de fabricação. O bagaço resultante desta extração, é levado por uma esteira transportadora até outra esteira chamada de distribuidora de bagaço, que alimenta as caldeiras uniformemente para serem queimados como combustível na geração de vapor.

A entrada de cana desfibrada na moenda é controlada pelo funcionário operador de painel de moenda através de um sistema automatizado controlado por computador. O operador de painel controla a moagem da cana nos ternos da moenda, pela potência dos motores e das esteiras de bagaço na cabine de controle, que denominamos de COI – CENTRAL DE OPERAÇÕES INTEGRADAS.

A manutenção mecânica do conjunto de moenda durante a moagem é feita pelos funcionários da manutenção mecânicos, subordinados ao setor de manutenção geral. A limpeza da moenda, das mesas, esteiras, do preparo e



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





da peneira rotativa é feita pelos auxiliares de produção.

O lubrificador de moenda auxilia nos serviços de lubrificação geral, manutenções corretivas e preventivas. Os reparos das camisas das moendas, necessárias devido ao desgaste sofrido conforme vão sendo utilizadas, são efetuados pelo robô acompanhado dos funcionários soldadores, ligados ao setor de oficina mecânica, que repõem com pontos de solda chamados de chapiscos dos rolos, operação esta executada com a moenda em movimento.

III - TRATAMENTO DO CALDO, EVAPORAÇÃO E FLOTAÇÃO:

O caldo do 1º e dos 2º ternos passa por uma peneira rotativa, separando o caldo do bagaço mais grosso, este caldo após peneiramento segue para o setor de fabricação para fazer o processo de decantação, ou uma parte pode passa por mais duas peneiras DSM e estática para remoção do bagacilho mais fino antes de ser enviado diretamente para destilaria. A parte do caldo que é enviado para frabricação de açúcar, é adicionado uma dosagem de ácido fosfórico para melhorar na decantação e no brilho do açúcar, complementando seu teor de P_2O_5 para 300 ppm, depois o caldo é enviado para um tanque de caldo misto de 60 m^3 , onde ocorre a ozonização, processo desenvolvido pela empresa GASIL, para clarificação do caldo e na sequência, é corrigido seu pH na mexedeira (tanque de 18 m^3) de com solução de cal hidratada, preparada em dois tanques de 50 m^3 cada,



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





deixando o caldo com o pH entre 6,5 – 7,0. Após a correção do pH, o caldo é aquecido em cinco aquecedores. O 1º, 2º e 3º estágios de aquecimento composto de três corpos cada, cuja área é de 216 m² por estágio e o 4º e 5º composto de três corpos cada, cuja área é de 179 m² por estágio. A temperatura do caldo é elevada gradativamente até 105° C por efeito de troca térmica com vapor de escape ou vegetal, sendo estas atividades executadas pelos funcionários operadores dos aquecedores.

Após aquecimento, o caldo segue para balões flash (remover os gases ocluídos no caldo), depois é adicionado um polímero aniônico que é preparado em dois tanques de 8 m³ cada, e por fim é enviado para os decantadores onde é feita a clarificação por decantação, tirando as impurezas de maior densidade. No decantador de fabricação DOOR OLIVER de 220 m³/h, essas impurezas são esgotadas em diversas bandejas, enquanto, no decantador tipo SRI de 300 m³/h de fabricação MÁQUINAS PIRATININGA, o acúmulo e drenagem desse material ocorre apenas em um único estágio, na parte inferior dele. Essas impurezas são bombeadas para três filtros rotativos, dois de fabricação DOOR OLIVER (modelos 8x16 e 10x20) e o terceiro filtro um MAUSA (modelo 8x16), que separa o caldo do material sólido, tais como terra, bagacilho e substâncias que precipitaram durante a caleação, aquecimento e decantação para a produção da torta de filtro, atividade estas, executadas pelos funcionários operadores do decantador e filtro. O caldo filtrado passa por dois aquecedores verticais trabalhando paralelamente, cuja área é de 23 m² cada, em seguida vai para outro clarificador tipo DEMING de 64 m³ para remoção de mais impurezas. O



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





caldo filtrado clarificado retorna ao processo passando por um novo tratamento físico-químico. A torta é depositada em silos metálicos, sendo em seguida carregadas em caminhões para serem distribuídas na lavoura, operações estas executadas pelos funcionários motoristas de carregamento de torta, ligados à área agrícola.

O caldo ao sair do decantador passa por peneiras estáticas ou rotativa, para eliminar algum bagacilho que porventura tenha sido flotado durante o processo de decantação, e segue para os evaporadores para aumentar sua concentração de açúcar, passando de 15° Brix para 65° Brix, através de um quádruplo efeito. O 1° efeito trabalhando com dois evaporadores em paralelo, um com 3000 m² e outro com 2123 m² de área, o 2° efeito trabalhando também com dois evaporadores, um com 1113 m² e outro com 542 m² de área, o 3° efeito com um evaporador de 492 m² de área e o 4° efeito com um evaporador de 600 m² de área.

Dos evaporadores, o xarope é enviado para um tanque pulmão de 8,3 m³ que alimenta um flutador (60 m³) para remoção de algumas impurezas não eliminadas na etapa de decantação. Esse xarope flotado é bombeado para um tanque com capacidade de 36 m³, que alimenta os cozedores de massa A.

IV – COZIMENTO E CENTRIFUGAÇÃO:

A etapa de cristalização e cozimento inicia no preparo da semente (solução de açúcar/álcool), que é adicionado ao cozedor de massa C quando



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





a saturação da solução açucarada encontra-se em 78 a 80 °Brix, formando os cristais e se desenvolvendo por adsorção da sacarose nas faces do cristal. Depois de formado, inicia-se a alimentação do cozedor com mel rico e mel pobre diluídos a 65 °Brix, oriundos das centrifugas de massa A.

O cozimento opera com sistema por batelada em três cozedores, um com capacidade de 300 HL e dois com capacidade de 250 HL cada. A massa cozida é então encaminhada para um conjunto de oito cristalizadores interligados com capacidade 250 HL cada. Por fim, a massa é direcionada para um conjunto de quatro centrifugas MAUSA KONT-10 de massa C que opera de forma contínua separando o magma (açúcar de granulometria fina) do mel final que é bombeado para a destilaria para produção de etanol. O magma é enviado para uma sementeira de 500 HL, que será o pé do cozimento da massa A.

Uma fração de magma da sementeira é adicionado ao cozedor de massa A e depois inicia-se alimentação com xarope obtido na evaporação. O cozimento opera com sistema por batelada em quatro cozedores, um com capacidade de 180 HL, um com capacidade de 250 HL, um com capacidade de 500 HL e outro com capacidade de 600 HL. A massa cozida é então encaminhada para um conjunto de dois cristalizadores interligados com capacidade de 700 HL cada. Por fim, a massa é direcionada para um conjunto de sete centrifugas de massa A (cinco VETEK 550, uma MAUSA P 650 e uma ZANINI FZ 650) que opera por batelada, separando o açúcar cristal úmido do mel rico/mel pobre.



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





IV – SECAGEM E ARMAZENAMENTO:

O açúcar úmido que sai das centrífugas é transportado até um elevador de caneca nº01 através de um fuso confeccionado em material de inox, para evitar contaminação. Em seguida, o açúcar que sai do elevador é transportado por uma esteira de borracha sanitária nº01 até o secador resfriador de leito fluidizado com capacidade de 25000 sc/dia de fabricação MÁQUINAS PIRATININGA INDUSTRIA E COMERCIO S/A para secagem do açúcar. O ar quente utilizado na secagem é aquecido com vapor servido, e a regulagem do vapor é de acordo com a temperatura de saída do açúcar do secador, com temperatura ideal de 30°C. O açúcar ao sair do secador é transportado para um elevador de caneca nº02 através de uma esteira de borracha sanitária nº02 e em seguida, o açúcar passa por uma peneira vibratório para remover os açúcares conglomerados denominado “caromba” que é armazenada em sacos e retorna ao processo na etapa inicial da moagem.

O açúcar peneirado segue para outro elevador de canecas nº03 que desemboca em uma outra esteira de borracha sanitária nº03 que abastece um silo de capacidade para 10.000 sacos. Uma parte desse açúcar é então enviado para uma sala de ensacamento, onde é ensacado (saco 50 Kg) e ou armazenado em Bag (500 kg) e estocado em armazéns.

A outra parte desse açúcar segue através de uma esteira de borracha



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





sanitaria nº 04, que transporta o açúcar até um fuso confeccionado em inox que abastece os silos das máquinas de empacotar.

IV – EMPACOTAMENTO E DISTRIBUIÇÃO:

O açúcar é empacotado em pacotes de 1 Kg e de 2 Kg, em dez máquinas, cuja capacidade de produção é 1.800 pacotes/h cada. Essas empacotadeiras são de fabricação da INDÚSTRIA DE MÁQUINAS KREIS Ltda (INDUMAK).

O açúcar empacotado segue através de esteiras até um conjunto de cinco enfardadeiras que formam fardos de açúcar de 30 kg envolvendo com uma película plástica. Essas enfardadeiras são de fabricação da INDÚSTRIA DE MÁQUINAS KREIS Ltda (INDUMAK).

Esses fardos seguem por uma esteira de borracha central, passando por um detector de metal e encaminhado para uma balança de controle de peso. Após a pesagem, os fardos são empilhados em paletes e envolvidos com um filme stretch e enviados para expedição.

V - DESTILARIA:

O processo da fermentação alcoólica é um processo biológico, onde o fermento é inoculado ao mosto de alimentação das dornas, podendo ser um



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





mosto misto de caldo de cana cru ou tratado, que será diluído no melaço ou ainda somente de caldo ou somente de melaço.

Durante o processo de fermentação, faz-se o acompanhamento do Brix e da temperatura do vinho na fermentação de hora em hora e vários controles de pH, acidez e açúcar residual. Nesta fase do processo, é produzido o gás carbônico CO₂, que é direcionado através de tubulação para uma coluna de recuperação de etanol, cujo diâmetro é de 1500 mm e possui 16 bandejas calotadas, onde o gás (CO₂ + etanol) passa em fluxo ascendente através das bandejas e a água em fluxo descendente retendo o etanol na fase líquida que é bombeado para a dorna volante e o gás carbônico sendo liberado para a atmosfera na parte superior da coluna isenta de etanol.

Com a fermentação concluída, é feito o bombeamento do vinho fermentado para as centrífugas, onde é separado o vinho do fermento. Com a centrifugação já concluída o vinho é enviado para a dorna volante e o fermento segue para o tratamento na pré-fermentação. Na pré - fermentação, o fermento é misturado com a água acidificada, recebe dosagem de nutrientes para recompor a parede celular, descansa e é bombeado para as dornas seguindo o mesmo processo da fermentação.

As centrífugas são regularmente retiradas da operação, desmontadas, lavadas e novamente montadas. As operações desenvolvidas na



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





fermentação e centrifugação são executadas pelos funcionários fermentadores, auxiliares de produção e operadores de centrífugas.

O vinho é enviado para a coluna A de destilação onde são produzidos vapores alcoólicos ao redor de 40% – 50%, estes vapores entram na coluna B, seguindo o processo de destilação e desta forma produzindo Etanol Hidratado que pode ser carburante ou utilizado para outros fins. Como resíduo desta produção temos o óleo fusel que é um subproduto vendido para a indústria de tintas, e vinhaça ou vinhoto. O Etanol hidratado pode ser destilado com uma mistura azeotrópica – ciclohexano, vindo a produzir o Etanol Anidro.

As operações de destilação são executadas pelos funcionários destiladores. A limpeza do setor é realizada pelos funcionários auxiliares de produção, que também lavam as placas trocadoras de calor e os condensadores de vapores alcoólicos.

Temos na usina a seguinte quantidade de dornas e colunas de destilação e recuperação.

- Dornas de fermentação de 400 m³;
- Dornas de fermentação de 200 m³;
- Dornas pulmão e volante de 200 m³



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321



15



- Três cubas de pré fermentação de 60 m³;
- Seis centrífugas sendo 2 DX -309, 2 DX 409 e 2 HDA 50;
- Uma coluna de recuperação de etanol;
- Um conjunto de colunas A e B com capacidade para 300 m³/dia de etanol hidratado e um conjunto de coluna C com capacidade para 250 m³/dia de Etanol Anidro.

O etanol produzido é bombeado para os tanques de armazenamento, que são:

- 05 tanques de 310 m³
- 03 tanque de 3.400 m³

Destes tanques, o etanol segue por gravidade até a bomba da plataforma de carregamento, onde é embarcado em caminhões. Os caminhões tanques transportadores do álcool são pesados vazios e, após o carregamento é feita a pesagem e a identificação com lacres nas bocas de enchimento dos tanques. Trabalham neste setor funcionários, que procede a colocação do tubo condutor de álcool nas bocas de enchimento dos tanques dos caminhões após o aterramento dele.



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000
 CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
 Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
 ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.
 CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321





VI - GERAÇÃO DE VAPOR: Descrição do processo, atividades e equipamentos envolvidos.

A Usina Monte Alegre, possui duas caldeiras, sendo uma DEDINI com capacidade de gerar 60 t. vapor / hora, trabalha com 21 kg/cm² de pressão, e temperatura do vapor a 330°C. A outra caldeira é denominada HACO/CBS que gera 150 toneladas de vapor / hora, construída para trabalhar em 42 kg/cm², embora opere no momento com pressão de 21 kg/cm², e temperatura de 360°C. Ambas trabalham com vapor superaquecido a 330° – 360° C

A produção de vapor se dá pela queima de bagaço, transportado através de esteiras e lançado por dosadores mecânicos. Todos os controles principais, operações e medições, são realizadas dentro da sala do painel de instrumentos. O vapor produzido é conduzido por tubulações de aço, isoladas termicamente, acionando as turbinas a vapor que se encontram instaladas na Central de Geração Térmica - CGT, que acionam os geradores de energia elétrica. A caldeira é dotada de grelha basculante e ventilação forçada, sendo o sistema de limpeza automática e as cinzas e fuligem tratadas no sistema VLC que separa as impurezas, cinzas e fuligem que são destinadas adubação no campo e a água retorna ao sistema em circuito fechado. O vapor que sai das turbinas, já com pressão reduzida, será utilizado nas trocas térmicas dos aquecedores, pré-evaporadores e destilaria.



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





Todos os produtos químicos necessários para tratamento da água da caldeira são injetados por meio de bombas dosadoras automáticas sem contato manual, na tubulação antes do bombeamento da água para a caldeira. O tratamento de água é feito em uma Estação de Tratamento de Água – ETA, pelo funcionário operador de ETA. Todos os operadores de caldeira possuem o curso de operação de caldeiras previsto na NR 13 da Portaria N° 3214/78 do Mtb. São realizadas as inspeções de segurança periódicas conforme determina a mesma NR 13 e a NB 55 da ABNT.

VII - GESTÃO DE ÁGUA E RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ETANOL

Captação de água – Rio Mamanguape

Volume de outorga – 1.000 m³/h

Vinhaça – Resíduo proveniente da destilação do etanol

Volume produzido na indústria 180 a 200 m³/h.

Vinhaça percorre um curto trecho de canal aberto da indústria até o reservatório, este é revestido com material impermeável, com capacidade de 1.000 m³. Neste local existe instalação para bombeamento, composto de 2 bombas com capacidade de 250 m³/h, cada uma, transportada por uma tubulação de 10”(polegada), até o reservatório “2” que se encontra



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





aproximadamente 2 km da indústria, exatamente nos tabuleiros da unidade.

Neste reservatório 2, há uma diluição de aproximadamente 3:1, ou seja, 3 volumes de água para 1 de vinhaça. Existem canais de distribuição deste volume diluído em aproximadamente 2000 hectares de área total a ser aplicado. Estes canais à céu aberto com capacidade de 1.000 m³ de volume, todos os trechos em nível.

Este volume é aplicado diretamente no canavial, em faixa de 300 m³/h, por motobombas e eletrobombas. Finalizando, todo volume emitido pela indústria é absorvido no campo.

Águas de lavagem – Resíduo proveniente da lavagem da cana de açúcar para todos os processamentos.

Toda água de lavagem descartada pela indústria, percorre um pequeno trecho à céu aberto, chegando à estação de bombeamento “01”, este com capacidade de 3.000 m³/h, através de tubulações de PVC de 500 mm, que deságua em um canal à céu aberto com capacidade de 3.500 m³/h, até a estação de bombeamento “02”, à qual tem capacidade de bombear 3.000 m³/h, transportada por tubos de 500 mm até o tabuleiro da unidade, medindo o trecho de todo este circuito aproximadamente 2 km. O caminhamento dessas águas é feito através de canais com capacidade de 3.000 m³ em um trecho de aproximadamente 7 km.



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB – CEP: 58.280-000

CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3

Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240

ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 – Centro – Bayeux - PB.

CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 – Fax: (83) 2108 – 1321





A aplicação deste volume a ser utilizado, é feito através de Pivô, eletro e motobombas que absorvem plenamente este volume.

Com este circuito das águas residuais, garantimos que 100% deste volume, é aplicado diretamente no campo.

VIII - LABORATÓRIO INDUSTRIAL: Este setor acompanha as análises da produção de açúcar, etanol e tratamento d'água.

No laboratório industrial é feito o controle da produção e dos produtos, através da coleta e análise de amostras de vários pontos do processo industrial.

São utilizados os seguintes equipamentos: refratômetro, pHmetros, banho-maria, espectrofotômetro, micro destilador, balança analítica, densímetro digital, estufas, autoclaves, microscópios, centrífugas, buretas automáticas, condutivímetro, agitador de tubos e forno de microondas.

Todos os reagentes utilizados no preparo das soluções são de grau analítico, próprios para análise em laboratório.

Mamanguape, 28 de setembro de 2021

Marlene de Fatima Oliveira
CRQ 01.201.031 – 1ª. Região



USINA MONTE ALEGRE S/A.

FÁBRICA: Faz.: Monte Alegre, s/nº - Mamanguape - PB - CEP: 58.280-000
CNPJ: 09.094.632/0002-17 - Insc. Est. 16.012.703-3
Fone: (83) 3292 2720 - Fax: (83) 3292 2240
ESCRITÓRIO: Avenida Liberdade, Nº 912 - Centro - Bayeux - PB.
CEP: 58.305-000 - Fone: (83) 2108 - 1320 - Fax: (83) 2108 - 1321



ANEXO 2: RESERVATÓRIOS POR SUBSISTEMA

Subsistema Sudeste / Centro-Oeste - EAR atual 80,21%		
PRINCIPAIS BACIAS	PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS	VOLUME ÚTIL ATUAL
GRANDE 25,18% do subsistema*	FURNAS 17,12% do subsistema*	95,66%
	M. MORAES 2,12% do subsistema*	82,96%
	A. VERMELHA 2,12% do subsistema*	80,01%
	MARIMBONDO 2,64% do subsistema*	65,04%
PARAIBA DO SUL 3,69% do subsistema*	PARAIBUNA 2,23% do subsistema*	74,97%
PARANA 1,80% do subsistema*	I. SOLTEIRA 1,80% do subsistema*	81,18%
PARANAIBA 38,37% do subsistema*	ITUMBIARA 7,68% do subsistema*	88,48%
	EMBORCAÇÃO 10,69% do subsistema*	80,18%
	SÃO SIMÃO 2,45% do subsistema*	78,24%
	NOVA PONTE 11,13% do subsistema*	77,92%
	BATALHA 1,34% do subsistema*	63,17%
	SERRA DO FACÃO 3,22% do subsistema*	39,05%
PARANAPANEMA 5,78% do subsistema*	CAPIVARA 1,90% do subsistema*	91,81%
	CHAVANTES 1,65% do subsistema*	88,45%
	JURUMIRIM 2,01% do subsistema*	68,90%
SÃO FRANCISCO 1,29% do subsistema*	TRÊS MARIAS 1,15% do subsistema*	80,15%
TIETE 4,75% do subsistema*	B. BONITA 1,33% do subsistema*	88,83%
	BILLINGS 1,19% do subsistema*	84,52%
	TRÊS IRMÃOS 1,14% do subsistema*	79,93%
TOCANTINS 17,30% do subsistema*	SERRA DA MESA 17,24% do subsistema*	80,62%

Subsistema Sul - EAR atual 89,53%

PRINCIPAIS BACIAS	PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS	VOLUME ÚTIL ATUAL
CAPIVARI 1,83% do subsistema*	G. P. SOUZA 1,83% do subsistema*	90,38%
IGUAÇU 49,19% do subsistema*	SALTO SANTIAGO 16,33% do subsistema*	99,49%
	G. B. MUNHOZ 28,74% do subsistema*	96,53%
	SEGREDO 2,19% do subsistema*	92,78%
	SANTA CLARA-PR 1,83% do subsistema*	87,26%
JACUI 14,81% do subsistema*	PASSO REAL 13,83% do subsistema*	71,91%
PARANAPANEMA 1,28% do subsistema*	MAUA 1,28% do subsistema*	95,64%
URUGUAI 32,90% do subsistema*	PASSO FUNDO 8,34% do subsistema*	96,92%
	BARRA GRANDE 14,62% do subsistema*	90,36%
	CAMPOS NOVOS 1,11% do subsistema*	85,80%
	MACHADINHO 4,35% do subsistema*	73,18%
	SAO ROQUE 3,92% do subsistema*	69,96%

Subsistema Nordeste - EAR atual 74,60%

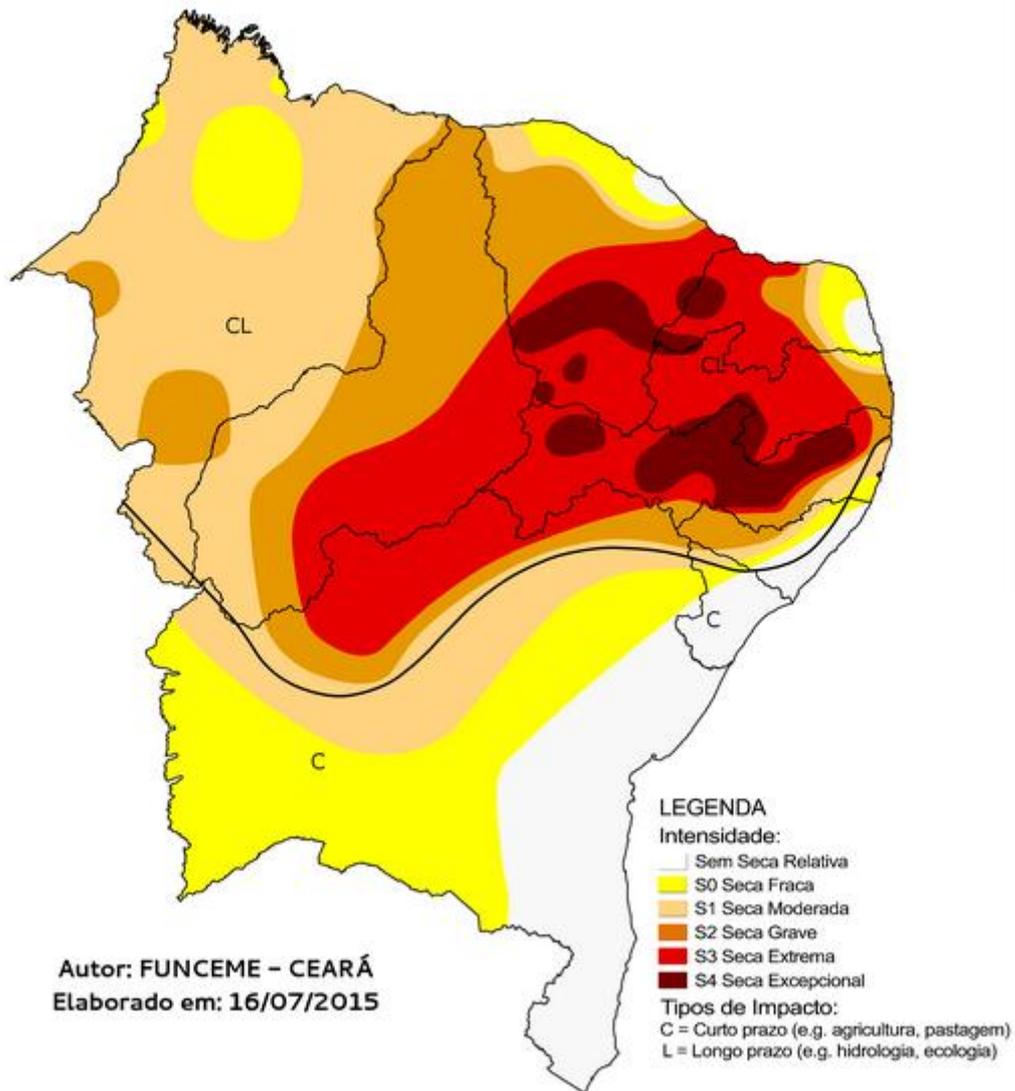
PRINCIPAIS BACIAS	PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS	VOLUME ÚTIL ATUAL
JEQUITINHONHA 1,94% do subsistema*	IRAPE 1,94% do subsistema*	68,65%
SAO FRANCISCO 96,90% do subsistema*	ITAPARICA 6,61% do subsistema*	87,77%
	TRÊS MARIAS 31,03% do subsistema*	80,15%
	SOBRADINHO 58,23% do subsistema*	70,93%

Subsistema Norte - EAR atual 83,86%

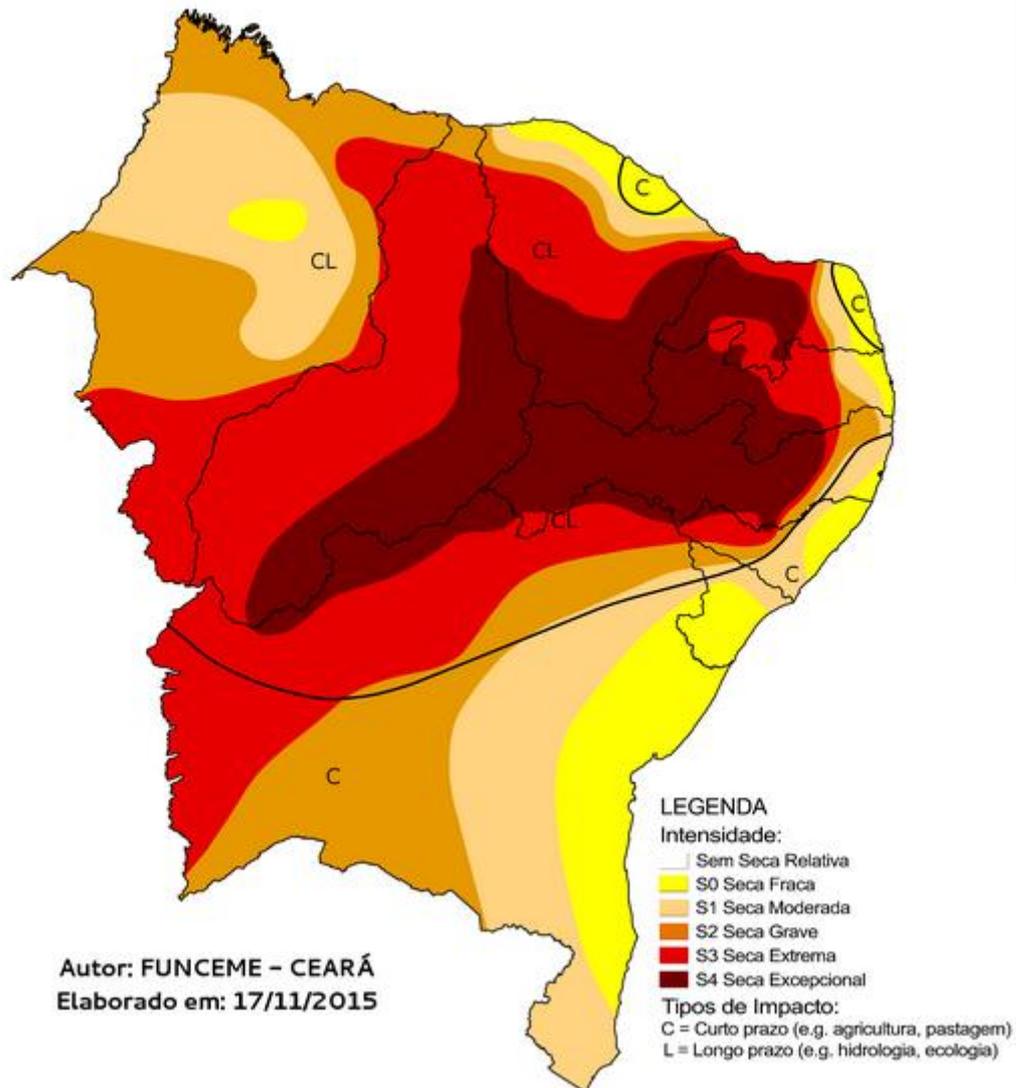
PRINCIPAIS BACIAS	PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS	VOLUME ÚTIL ATUAL
AMAZONAS 5,32% do sistema*	BALBINA 5,13% do sistema*	76,49%
TOCANTINS 94,68% do sistema*	SERRA DA MESA 43,26% do sistema*	80,62%
	TUCURUI 50,46% do sistema*	77,04%

ANEXO 3 - MAPAS PLUVIOMÉTRICOS MESES

Monitor de Secas Junho/2015

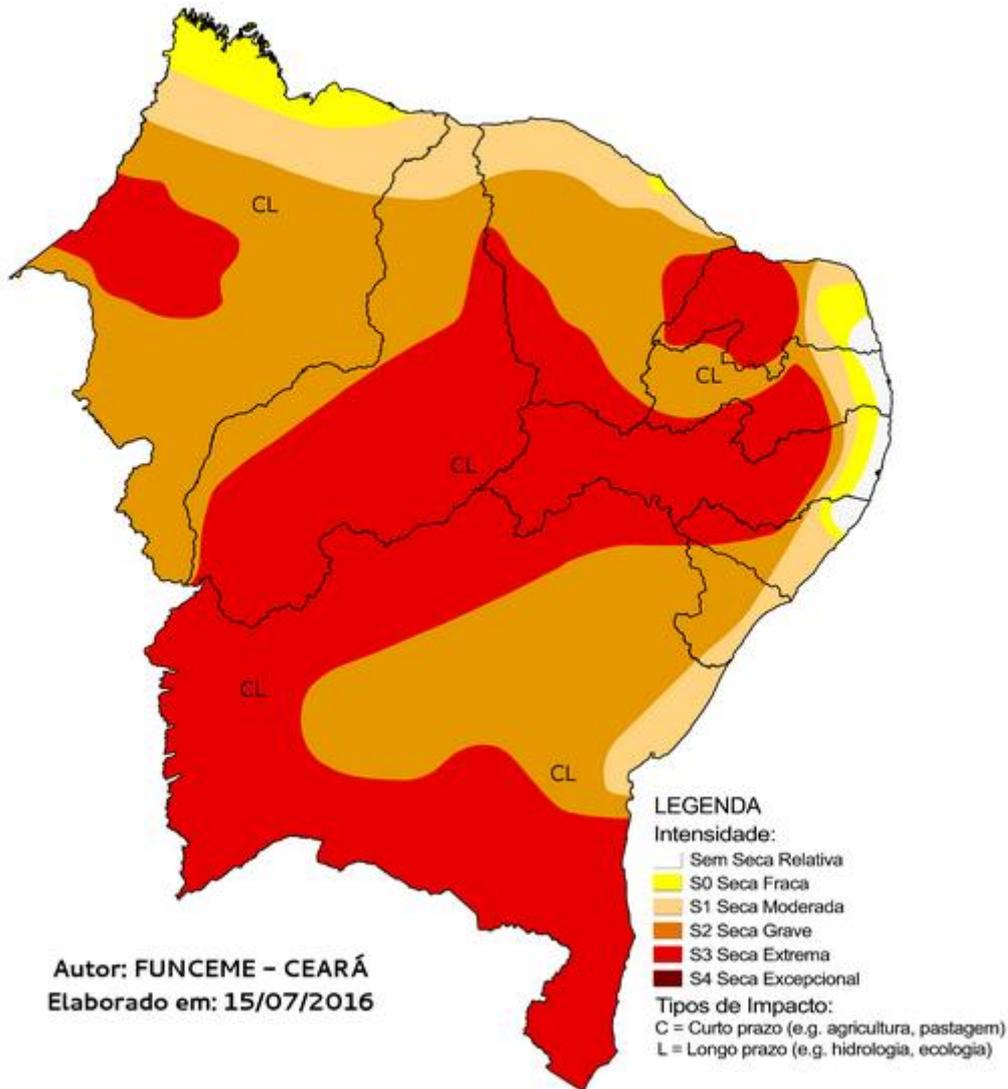


Monitor de Secas Outubro/2015

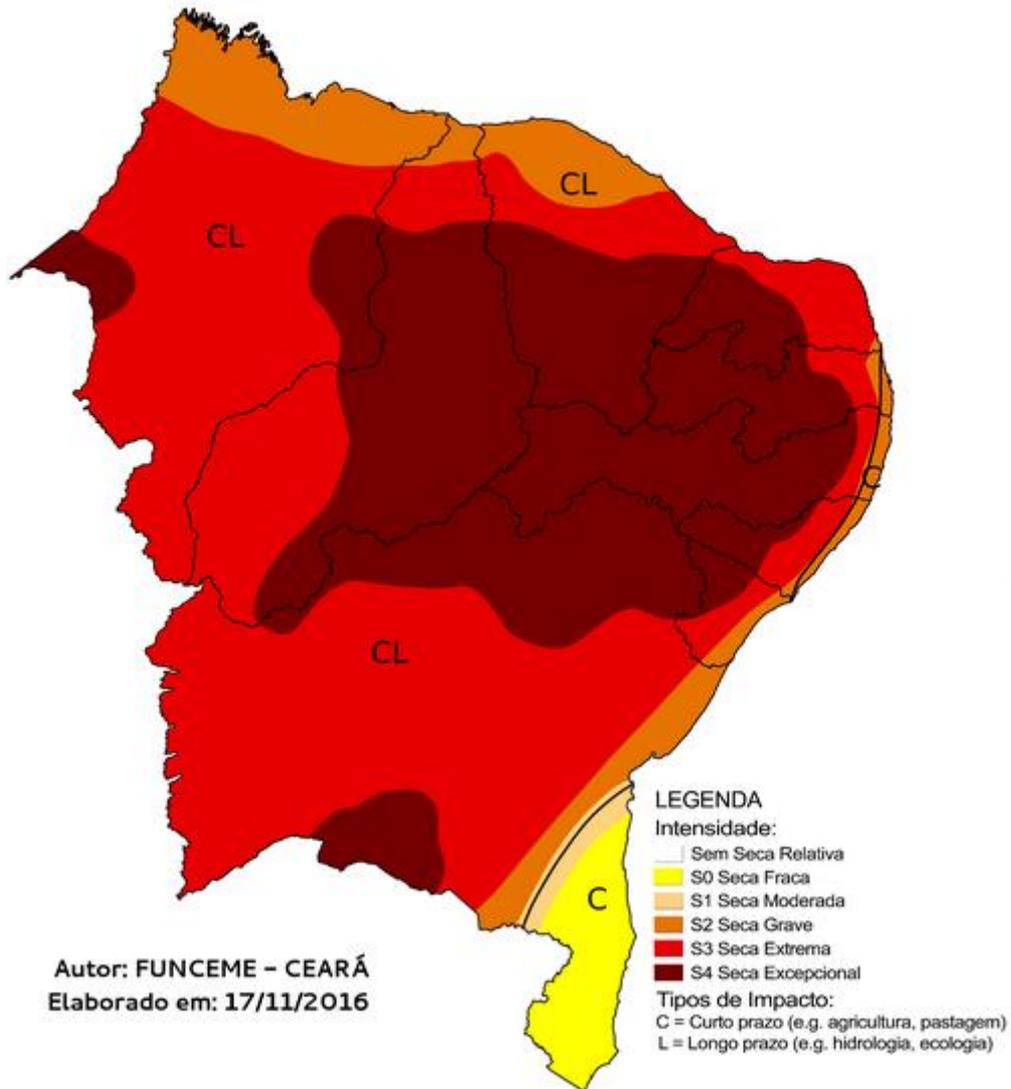


Autor: FUNCEME - CEARÁ
Elaborado em: 17/11/2015

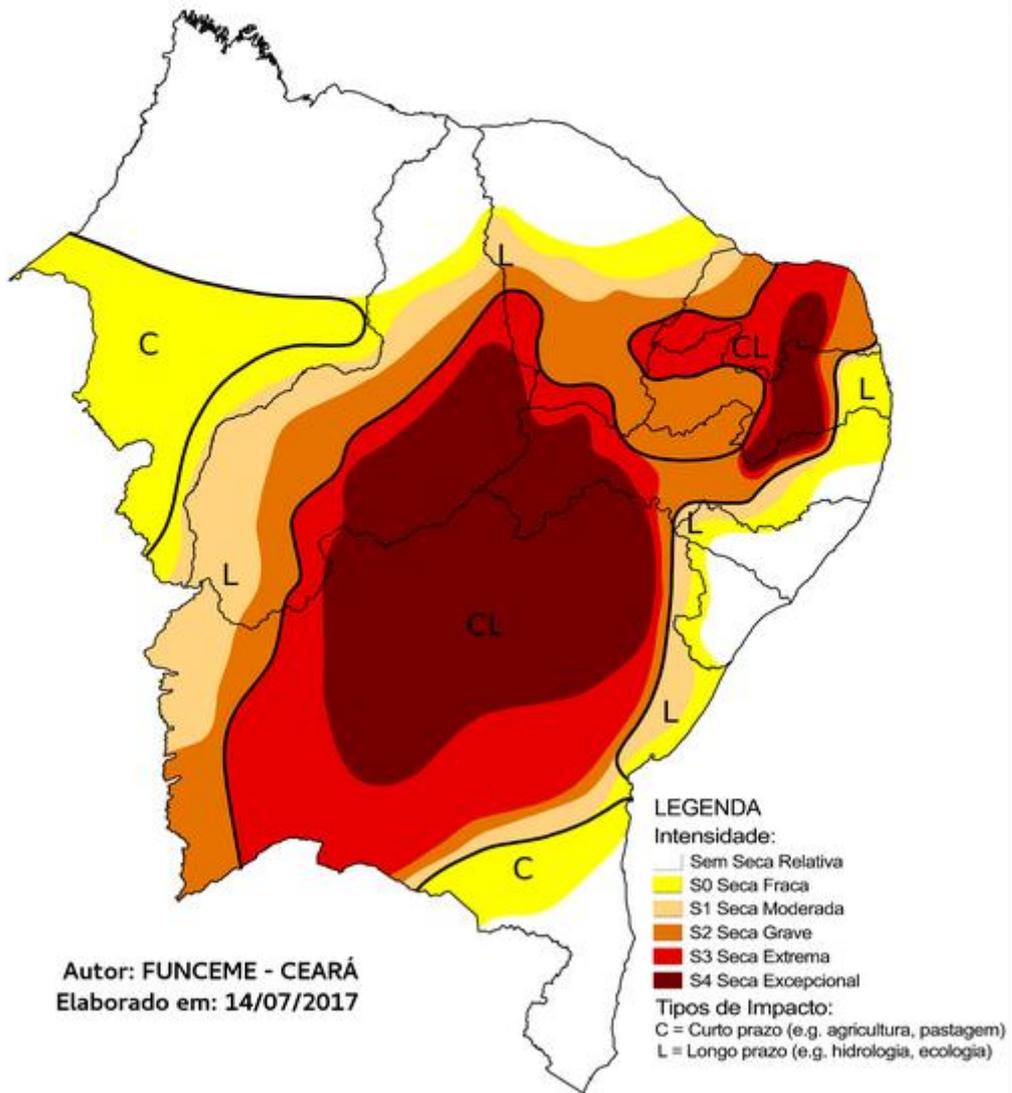
Monitor de Secas Junho/2016



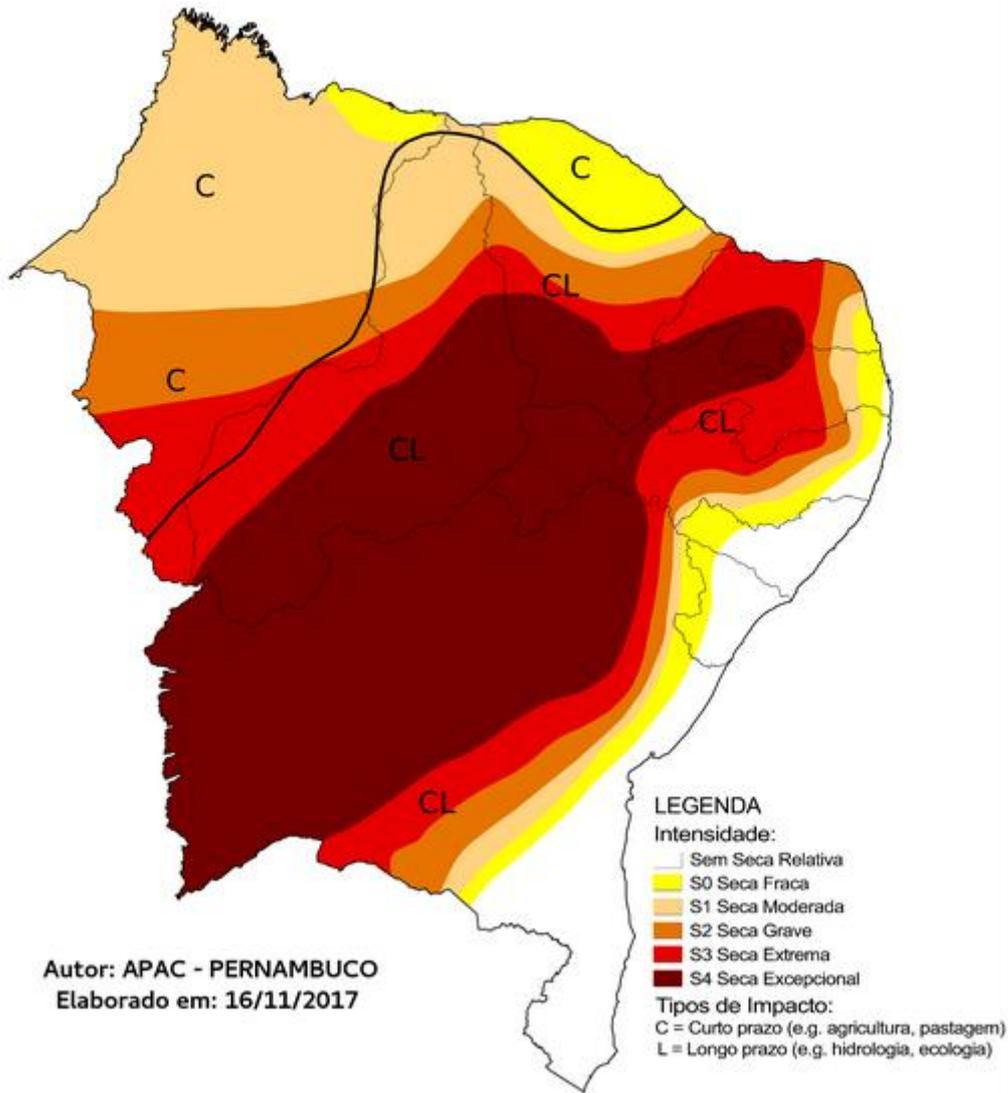
Monitor de Secas Outubro/2016



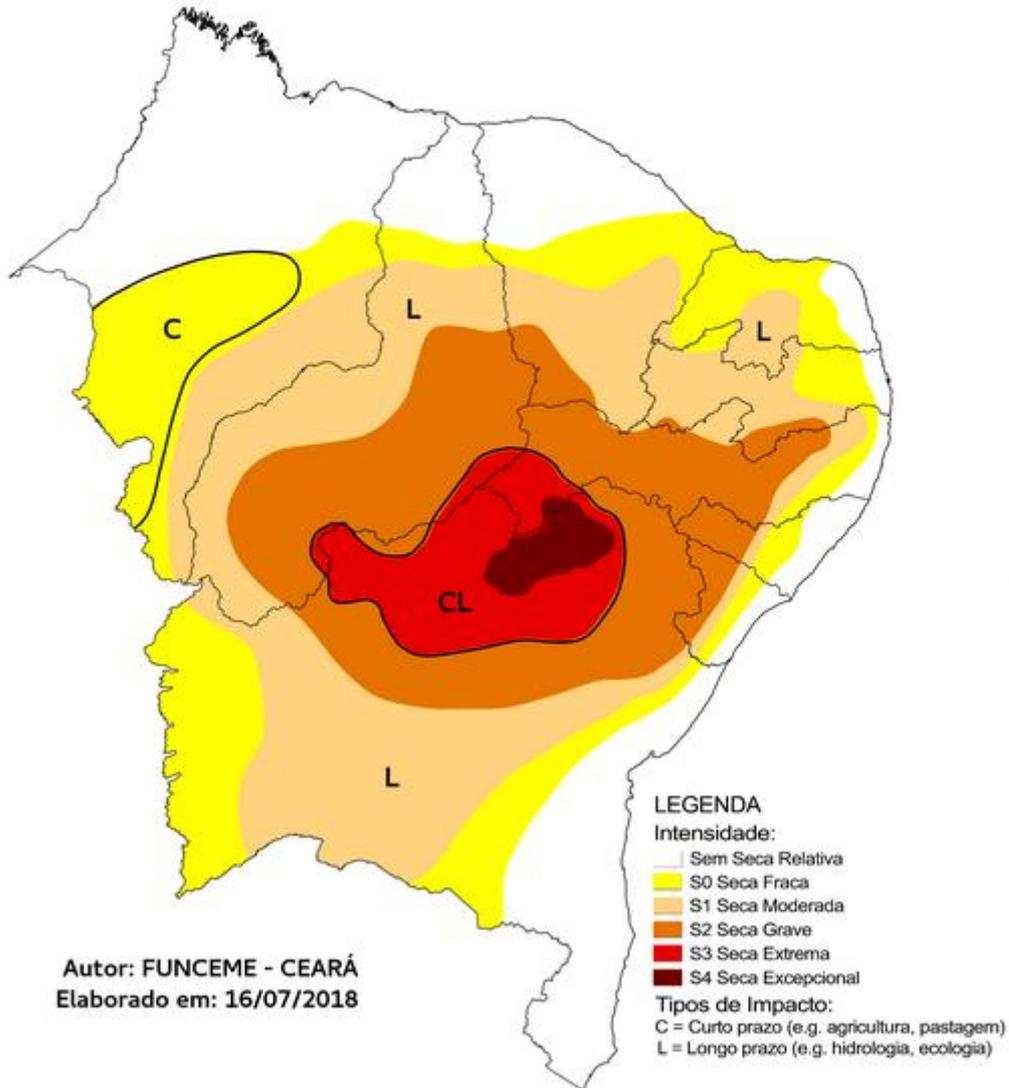
Monitor de Secas Junho/2017



Monitor de Secas Outubro/2017

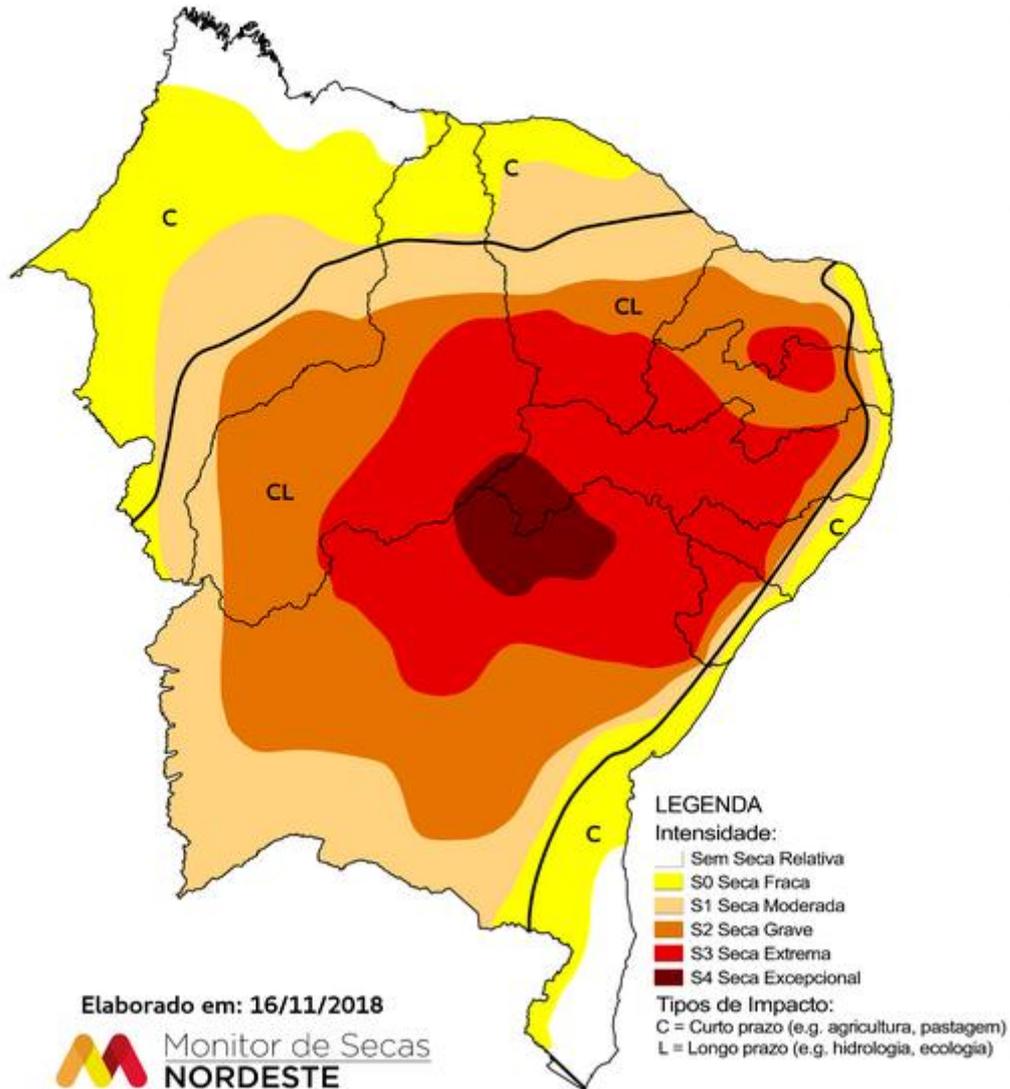


Monitor de Secas Junho/2018

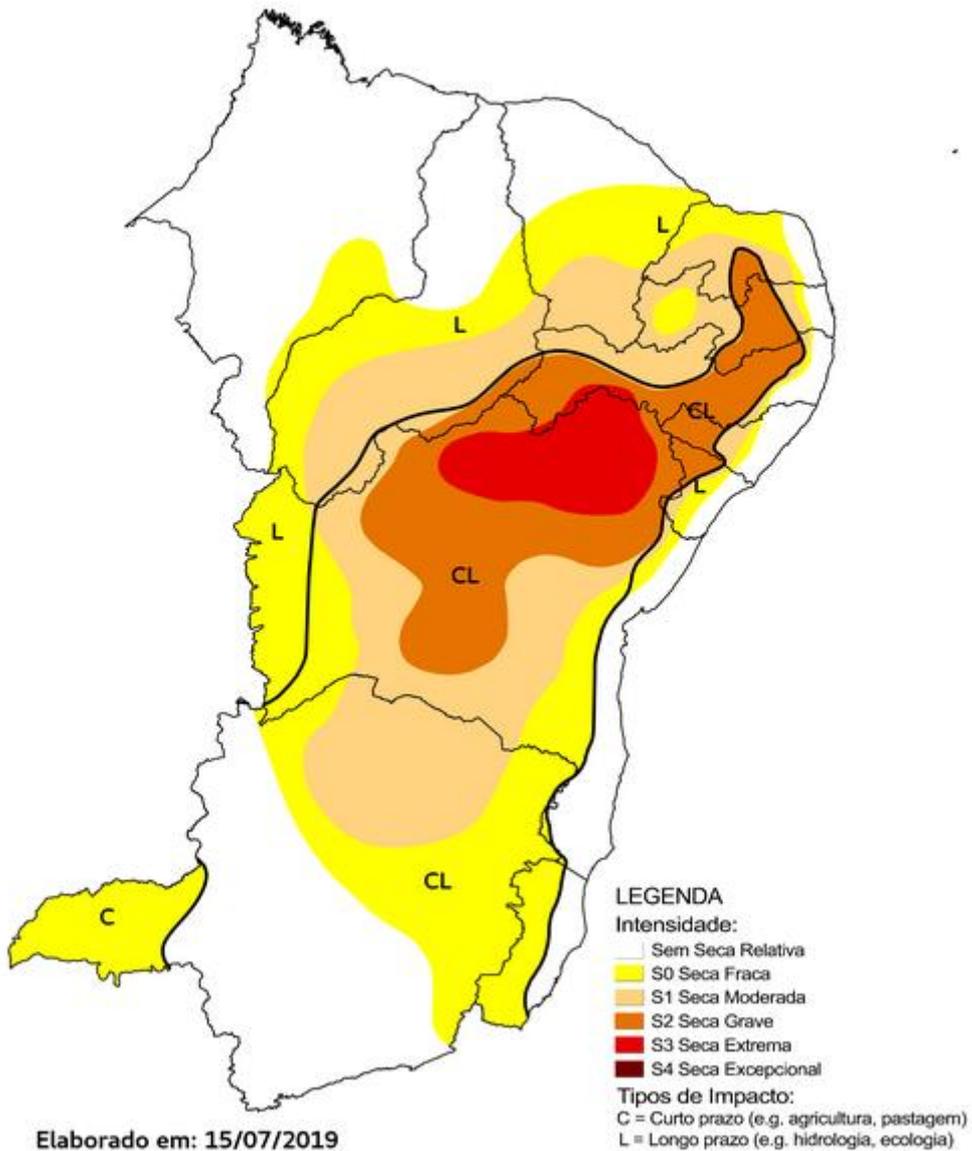


Autor: FUNCEME - CEARÁ
Elaborado em: 16/07/2018

Monitor de Secas Outubro/2018

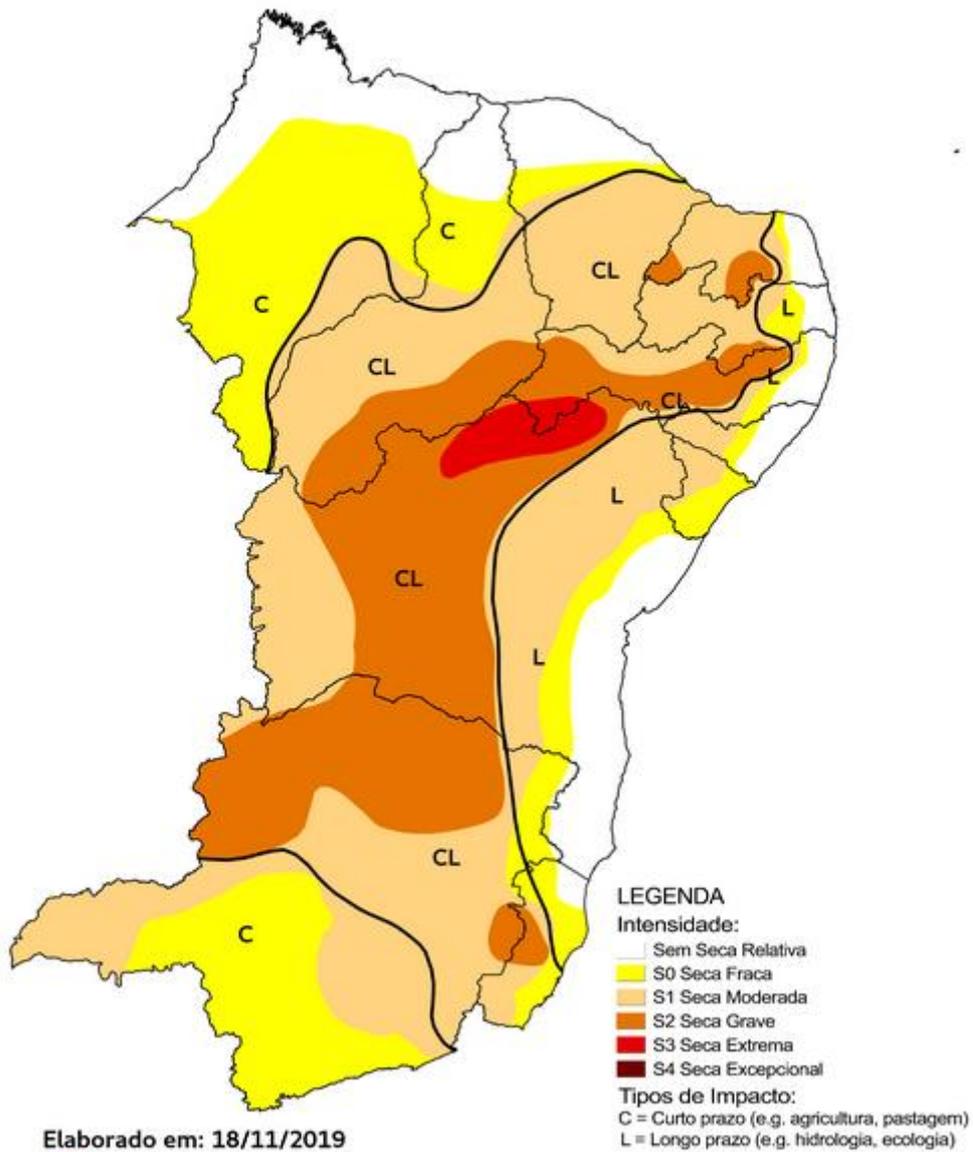


Monitor de Secas Junho/2019

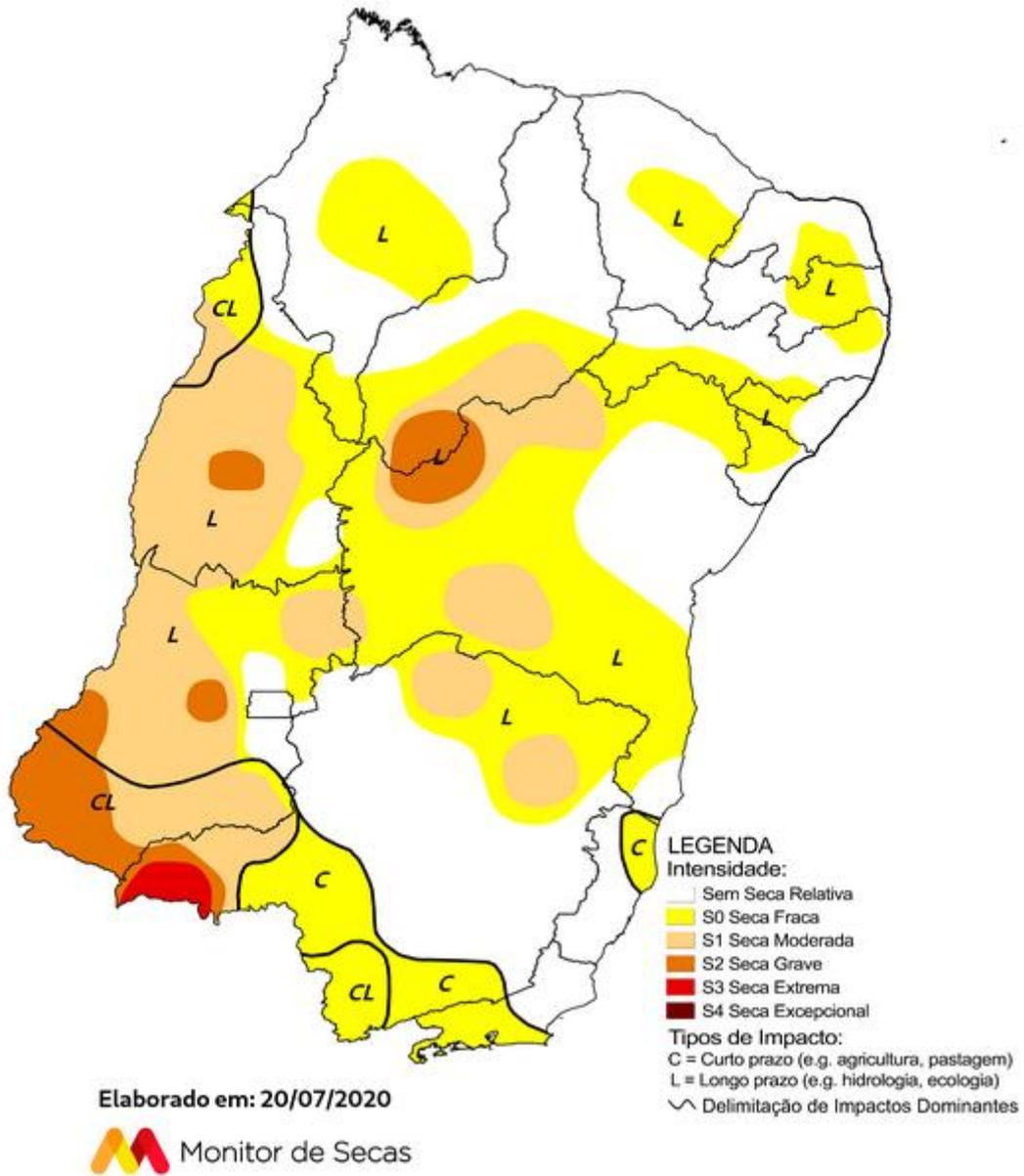


Elaborado em: 15/07/2019

Monitor de Secas Outubro/2019

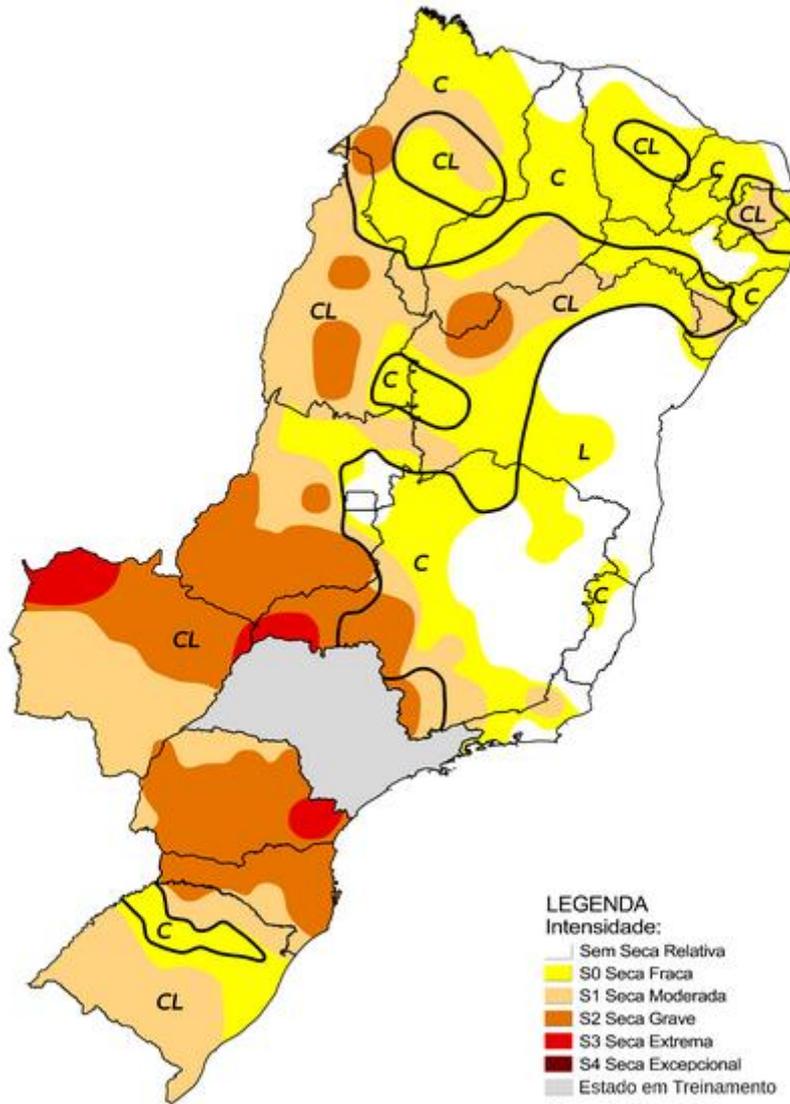


Monitor de Secas Junho/2020



Monitor de Secas

Outubro/2020



Elaborado em: 18/11/2020

 Monitor de Secas

LEGENDA

Intensidade:

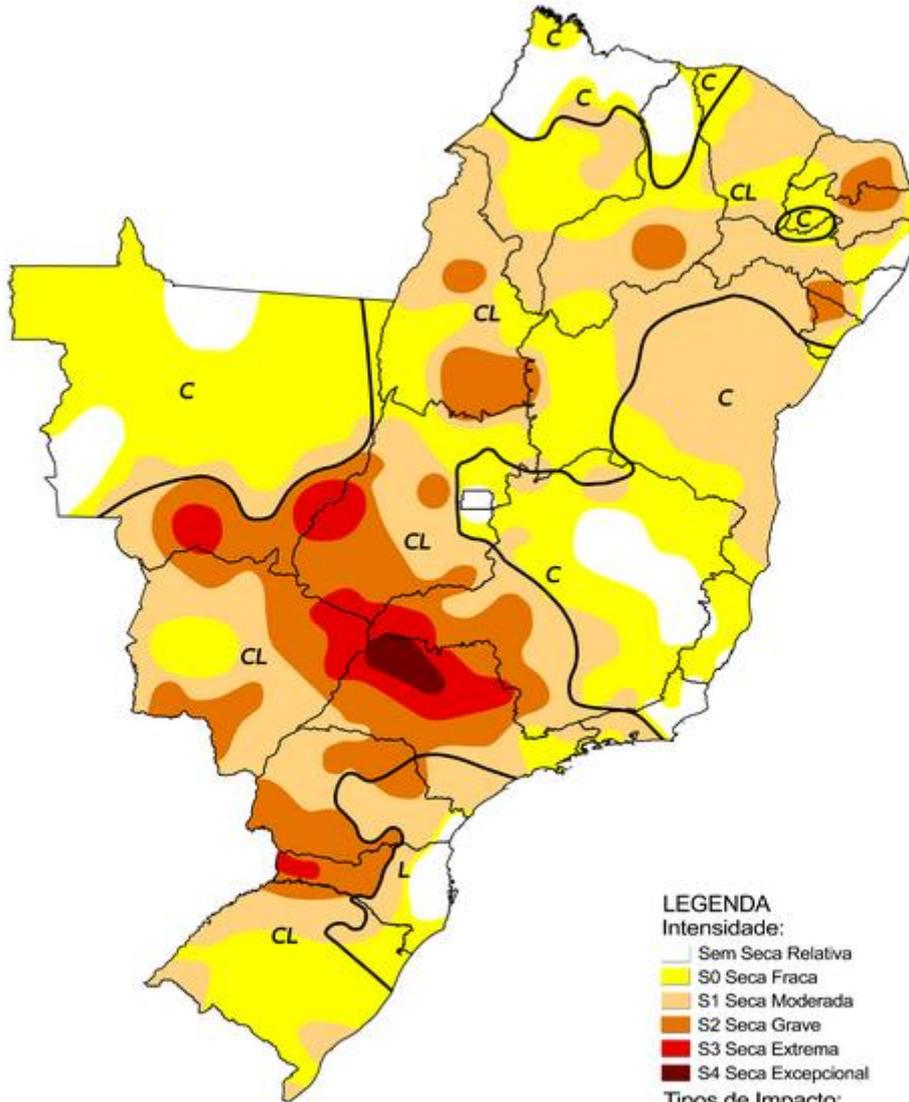
-  Sem Seca Relativa
-  S0 Seca Fraca
-  S1 Seca Moderada
-  S2 Seca Grave
-  S3 Seca Extrema
-  S4 Seca Excepcional
-  Estado em Treinamento

Tipos de Impacto:

-  C = Curto prazo (e.g. agricultura, pastagem)
-  L = Longo prazo (e.g. hidrologia, ecologia)
-  ~ Delimitação de Impactos Dominantes

Monitor de Secas

Junho/2021



Elaborado em: 15/07/2021

 Monitor de Secas

LEGENDA

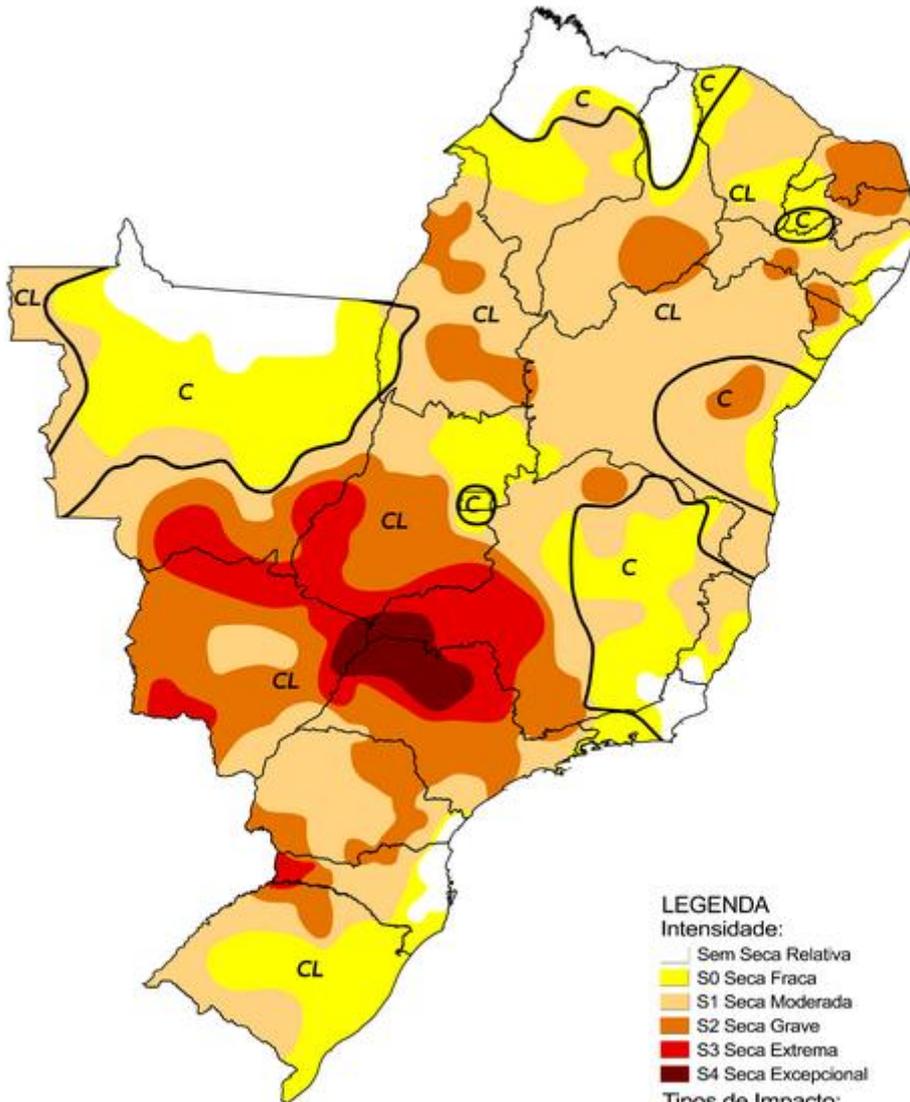
Intensidade:

-  Sem Seca Relativa
-  S0 Seca Fraca
-  S1 Seca Moderada
-  S2 Seca Grave
-  S3 Seca Extrema
-  S4 Seca Excepcional

Tipos de Impacto:

- C = Curto prazo (e.g. agricultura, pastagem)
- L = Longo prazo (e.g. hidrologia, ecologia)
-  Delimitação de Impactos Dominantes

Monitor de Secas Outubro/2021



Elaborado em: 22/11/2021

 Monitor de Secas

LEGENDA

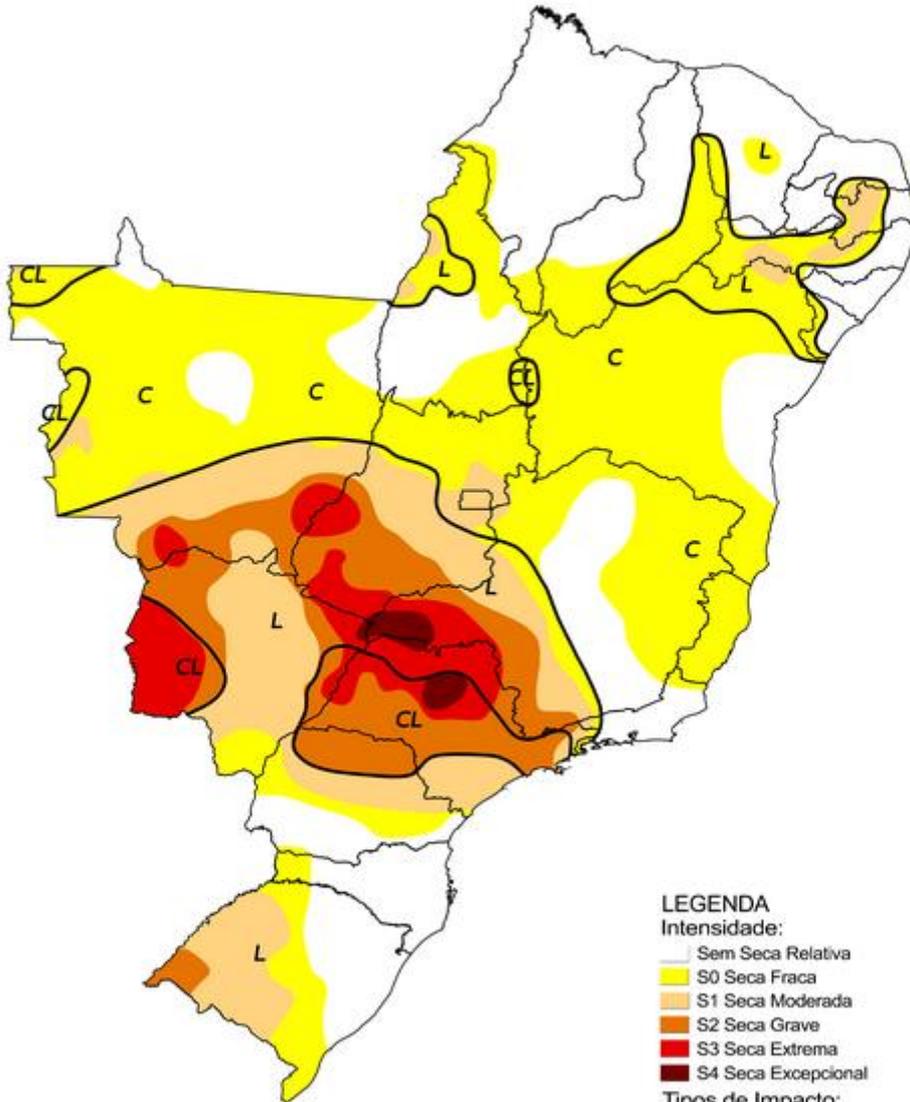
Intensidade:

-  Sem Seca Relativa
-  S0 Seca Fraca
-  S1 Seca Moderada
-  S2 Seca Grave
-  S3 Seca Extrema
-  S4 Seca Excepcional

Tipos de Impacto:

- C = Curto prazo (e.g. agricultura, pastagem)
- L = Longo prazo (e.g. hidrologia, ecologia)
-  Delimitação de Impactos Dominantes

Monitor de Secas Junho/2022



Elaborado em: 18/07/2022

 Monitor
de Secas

LEGENDA

Intensidade:

-  Sem Seca Relativa
-  S0 Seca Fraca
-  S1 Seca Moderada
-  S2 Seca Grave
-  S3 Seca Extrema
-  S4 Seca Excepcional

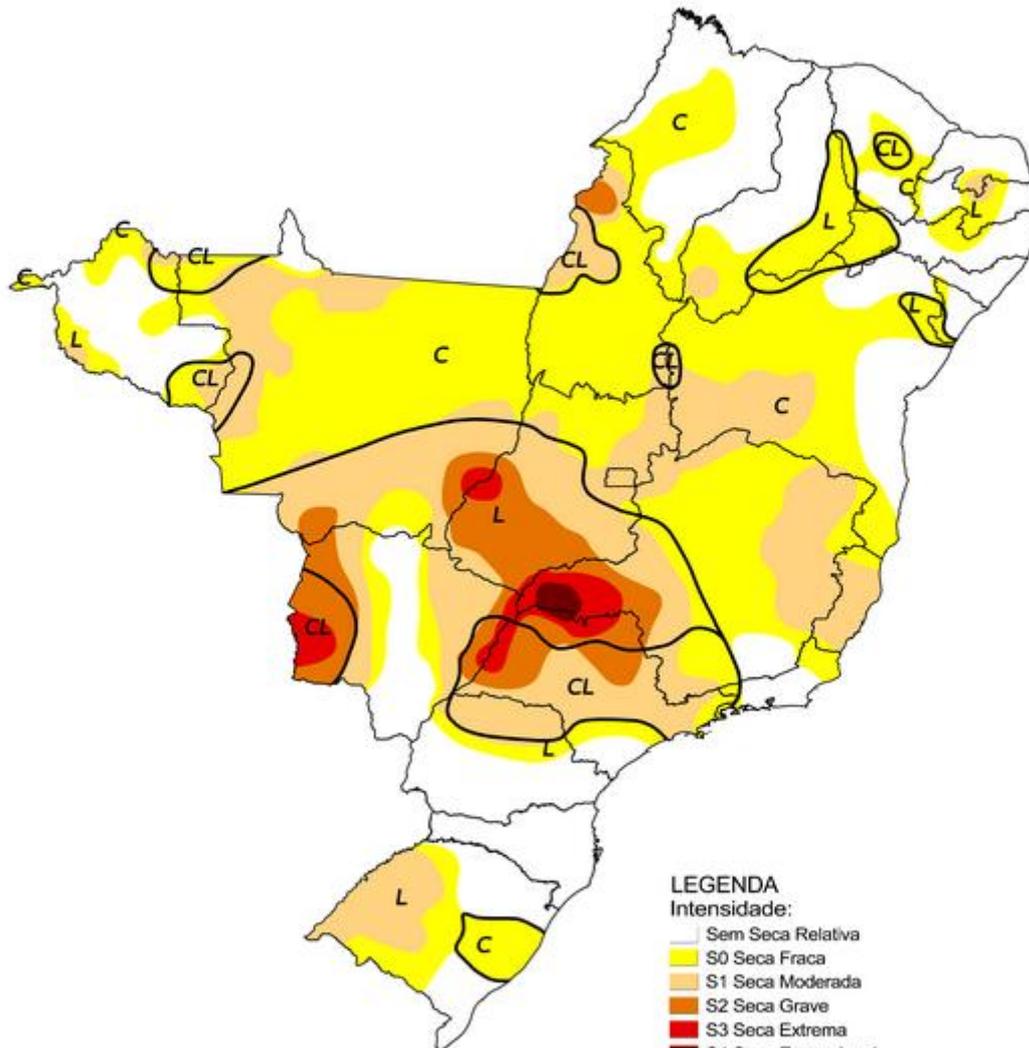
Tipos de Impacto:

C = Curto prazo (e.g. agricultura, pastagem)

L = Longo prazo (e.g. hidrologia, ecologia)

∩ Delimitação de Impactos Dominantes

Monitor de Secas Outubro/2022



Elaborado em: 21/11/2022

 Monitor
de Secas

LEGENDA

Intensidade:

-  Sem Seca Relativa
-  S0 Seca Fraca
-  S1 Seca Moderada
-  S2 Seca Grave
-  S3 Seca Extrema
-  S4 Seca Excepcional

Tipos de Impacto:

- C = Curto prazo (e.g. agricultura, pastagem)
- L = Longo prazo (e.g. hidrologia, ecologia)
- ∩ = Delimitação de Impactos Dominantes