



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO



ANÁLISE DE CUSTOS SOB O PONTO DE VISTA DA LOGÍSTICA DE
PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DO AÇÚCAR: UM ESTUDO DE CASO

PEDRO COIMBRA GEROLAMO

OURO PRETO
2023

PEDRO COIMBRA GEROLAMO

**ANÁLISE DE CUSTOS SOB O PONTO DE VISTA DA LOGÍSTICA DE
PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DO AÇÚCAR: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para a obtenção de grau em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino

OURO PRETO
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G377a Gerolamo, Pedro Coimbra.

Análise de custos sob o ponto de vista da logística de produção e exportação do açúcar [manuscrito]: um estudo de caso. / Pedro Coimbra Gerolamo. - 2023.

50 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Açúcar. 2. Usinas de açúcar. 3. Agroindústria - Setor Sucroalcooleiro. 4. Cadeia de logística integrada. 5. Custo industrial. I. Flausino, Bruna de Fátima Pedrosa Guedes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro Coimbra Gerolamo

Análise de custos sob o ponto de vista da logística de produção e exportação do açúcar: um estudo de caso

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 01 de setembro de 2023.

Membros da banca

D.S.C. - Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
D.S.C. - Yã Grossi Andrade - (Universidade Federal de Ouro Preto)
D.S.C. - Cristiano Luís Turbino de Franca e Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/09/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/09/2023, às 08:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Luis Turbino de Franca e Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/09/2023, às 18:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Yã Grossi Andrade, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/09/2023, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0585076** e o código CRC **AA454FDF**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeira aos meus pais por todo apoio, professores e funcionários da instituição, os quais proporcionaram a condição de estudo necessária, e amizades construídas durante essa trajetória.

RESUMO

A logística desempenha um papel crucial na eficiência e competitividade das indústrias, especialmente em setores como o sucroalcooleiro, onde a otimização do fluxo de produção e escoamento é fundamental. Nesta monografia, é apresentado um estudo de caso de uma usina produtora de cana-de-açúcar, identificada com uma característica de produção mista, capaz de produzir açúcar e álcool, localizada na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo, explorando sua estratégia de escoamento de açúcar granel e sua influência na cadeia logística. O objetivo central foi analisar as variáveis de produção diária, carregamento diário e estoque total, as quais influenciam diretamente no dia a dia dessa indústria, avaliando sua inter-relação e impacto sobre a eficiência operacional e financeira da usina. O presente trabalho traz uma análise detalhada dos custos associados às diferentes estratégias de escoamento, considerando o fluxo de terminais de transbordo ferroviário e o fluxo direto em caminhões aptos a carregarem o açúcar granel para a região portuária de Santos. Através da análise de dados internos e externos, foram realizadas abordagens de custos, comparações de desempenho e interpretações das implicações financeiras de cada um desses parâmetros. Os resultados revelaram uma visão aprofundada das dinâmicas operacionais da usina em questão. A análise das variáveis de produção diária, carregamento diário e estoque total destacou a importância da coerência entre esses parâmetros para garantir a eficiência e a consistência na cadeia logística. A estratégia da utilização da multimodalidade no transporte e a formação de lote nos terminais de transbordo e portuários, se consolidam em um fator-chave para otimizar o fluxo operacional e reduzir os custos por tonelada de açúcar escoado.

Palavras-Chave: Setor Sucroalcooleiro; Usina; Açúcar; Cadeia Logística; Custos.

ABSTRACT

Logistics plays a crucial role in the efficiency and competitiveness of industries, especially in sectors such as the sugarcane-alcohol industry, where optimizing production and distribution flows is essential. This thesis presents a case study of a sugar cane production plant, characterized by mixed production capabilities of both sugar and alcohol, located in the city of Piracicaba. The study explores its strategy for bulk sugar distribution and its influence on the logistics chain. The main objective was to analyze the variables of daily production, daily loading, and total inventory, which directly impact the day-to-day operations of this industry, evaluating their interrelation and their influence on the operational and financial efficiency of the plant. This study provides a comprehensive analysis of the costs associated with different distribution strategies, considering the flow through railway transshipment terminals and the direct flow via trucks capable of carrying bulk sugar to the port region of Santos. By analyzing both internal and external data, cost approaches, performance comparisons, and interpretations of the financial implications of each parameter were conducted. The results unveiled an in-depth understanding of the operational dynamics of the considered plant. The analysis of daily production, daily loading, and total inventory variables underscored the importance of coherence between these parameters to ensure efficiency and consistency in the logistics chain. The strategy of utilizing multimodality in transportation and the formation of batches at transshipment and port terminals emerge as pivotal factors in optimizing operational flow and reducing costs per ton of sugar transported.

Keywords: *Sugarcane-Alcohol Sector; Plant; Sugar; Logistic Chain; Costs.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exportação do agronegócio por tipo de produtos, comparativo de 2022 e 2023.....	17
Figura 2 – Principais importadores do açúcar brasileiro na safra 22'23.....	18
Figura 3 – Comparativo da oferta interna de energia no Brasil 2021-2022.....	20
Figura 4 – Fluxo do processo produtivo de açúcar e álcool, a partir da cana-de-açúcar.....	26
Figura 5 - Representação geográfica dos fluxos de escoamento do açúcar granel da usina.....	32
Figura 6 – Processo e parâmetros da cadeia de escoamento do açúcar na usina.....	33
Figura 7 – Representação gráfica do fluxo de processo interno, referente ao carregamento de açúcar granel na usina produtora.....	34
Figura 8 – Representação gráfica do fluxo de processos, referente à recepção e carregamento de açúcar granel nos terminais de transbordo ferroviário.....	35
Figura 9 - Processo e parâmetros da cadeia de escoamento do açúcar no terminal de transbordo ferroviário.....	36
Figura 10 - Processo e parâmetros da cadeia de escoamento do açúcar no terminal portuário.	37
Figura 11 – Representação gráfica do fluxo de processos, referente à recepção e carregamento de açúcar granel nos terminais portuários.....	38

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Dados de área colhida, produtividade e produção de cana-de-açúcar nas últimas quatro safras.....	16
Tabela 2 – Produção de açúcar e etanol de cana-de-açúcar nas últimas quatro safras.....	16
Tabela 3 – Participação Nacional do Estado de São Paulo nas últimas quatro safras.....	23
Tabela 4 – Quantidade de usinas cadastradas no MAPA por escopo de produção.....	25
Quadro 1 – Custos de produção, transporte e armazenagem identificados no fluxo logístico de produção e escoamento.....	39
Quadro 2 – Análise de correlação entre as variáveis operacionais e financeiras do fluxo de escoamento do açúcar granel.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Projeção Cenário 1 de estoque x tempo (t) na usina.....	42
Gráfico 2 - Projeção Cenário 2 de estoque x tempo (t) na usina.....	43
Gráfico 3 - Projeção Cenário 3 de estoque x tempo (t) na usina.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1. Objetivo geral.....	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
2. METODOLOGIA	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO .	15
3.2. BIOLETRECIDADE A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA.....	18
3.3. PROALCOOL.....	20
3.4. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO DO ESTADO DE SÃO PAULO	22
3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS USINAS SUCRALCOOLEIRAS NACIONAIS	24
3.6. ANÁLISE DO CENÁRIO LOGÍSTICO NO AGRONEGÓCIO.....	27
4. ESTUDO DE CASO EM UMA USINA PRODUTORA DE AÇÚCAR GRANEL	30
4.1. APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO	30
4.2. FLUXO DE PROCESSOS	31
4.3. ANÁLISE DE CUSTOS DA CADEIA TRANSPORTE DO AÇÚCAR GRANEL	38
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro desempenha um papel fundamental na economia global, sendo um dos pilares da indústria agrícola e energética. A produção e exportação de açúcar, como um dos principais produtos deste setor, têm implicações significativas tanto para a economia dos países produtores quanto para o mercado internacional. Nesta monografia, explorou-se a interação entre a logística de produção e exportação do açúcar no contexto do setor sucroalcooleiro.

Ao examinar a indústria de açúcar globalmente, nota-se que a indústria açucareira no Brasil apresenta particularidades que a distinguem das suas contrapartes em outros países, especialmente em três aspectos fundamentais (CONAB, 2017).

Primeiramente, destaca-se o fato de que a maioria das usinas brasileiras produz uma proporção significativamente alta da cana-de-açúcar que processa, cerca de um terço (36%) da matéria-prima processada é adquirido de fornecedores externos. Em contrapartida, o padrão internacional costuma manter a atividade agrícola separada da produção industrial da cana-de-açúcar. Essa particularidade brasileira é associada à vasta extensão territorial do país, à disponibilidade abundante de terras férteis para cultivo de cana-de-açúcar e à tradição agrícola. É válido ressaltar, entretanto, que este estudo não se presta ao debate sobre as vantagens e desvantagens desse modelo de organização da produção (CONAB, 2017).

O segundo ponto notável reside na diversidade tradicional de produtos comerciais derivados do caldo da cana-de-açúcar e de seus resíduos líquidos e sólidos resultantes do processo de moagem. Além do açúcar e do álcool etílico, destacam-se a cachaça e a rapadura, extraídas do caldo e produzidas em pequenas fábricas especializadas, bem como a cogeração de energia elétrica proveniente da queima do bagaço. No tocante ao açúcar e ao álcool etílico, boa parte de sua produção é proveniente de usinas equipadas para fabricar ambos os produtos (CONAB, 2017).

Essa configuração foi consolidada na década de 1970, resultado das políticas macroeconômicas da época que fomentaram programas independentes de produção e uso obrigatório do álcool etílico como combustível automotivo. Tais programas criaram um mercado interno significativo para o álcool etílico, levando o Brasil a desenvolver um modelo de indústria híbrida que alocava parte da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e parte para a fabricação de álcool etílico, um modelo distinto de outros países produtores de cana-de-açúcar (CONAB, 2017).

Um terceiro ponto relevante é a distribuição geográfica das unidades produtoras pelo território brasileiro. A posição geográfica do Brasil, abrangendo uma vasta extensão territorial no sentido Norte-Sul, proporciona uma variedade de microclimas favoráveis à produção de cana-de-açúcar e seus derivados. Isso permite a operação de unidades de produção ao longo de quase 3.000 quilômetros (CONAB, 2017).

A capacidade de produzir em diversas regiões do país e em diferentes períodos contribui para a logística de distribuição de álcool combustível a um baixo custo de movimentação, permitindo o abastecimento eficaz dos centros urbanos que concentram a maior parte da frota de veículos leves. Devido à distribuição das unidades produtivas e à combinação dos períodos de colheita da cana-de-açúcar em nível estadual, o Brasil mantém a produção de açúcar e álcool ao longo de praticamente todos os meses do ano (CONAB, 2017).

A produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar envolve uma série de processos interligados, desde o cultivo e colheita da matéria-prima até a transformação em produtos, como açúcar bruto, açúcar cristal e açúcar refinado. Alguns pesquisadores, destacam a importância da eficiência logística nesses processos, pois influencia diretamente a competitividade do setor. Além disso, a exportação desses produtos requer uma cuidadosa coordenação logística, envolvendo transporte, armazenamento e distribuição eficientes para os mercados internacionais. A logística desempenha um papel vital na otimização da cadeia de suprimentos do setor sucroalcooleiro, influenciando diretamente a competitividade e a sustentabilidade do negócio.

O cenário que se desenha para a safra 2023/2024 promete uma produtividade excepcional da cana-de-açúcar no Brasil, conforme relatório de Acompanhamento da Safra Brasileira, realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Essa perspectiva traz consigo a promessa de aumentar a produção de açúcar e etanol, contribuindo para os resultados econômicos positivos do país. No entanto, essa abundância também traz consigo desafios logísticos complexos que demandam uma abordagem estratégica e eficaz.

Os dados apresentados no recente levantamento apontam uma previsão de aumento na produtividade nacional de aproximadamente 7%, saltando do patamar da safra 22'23 a qual apresentou uma produtividade de 73,6 ton/ha, para o equivalente a 78,8 ton/ha, a maior produtividade observada em toda série histórica (CONAB, 2023).

Diante deste cenário nacional, vale se destacar a participação significativa do estado de São Paulo no setor sucroalcooleiro, o qual se apresenta com uma previsão de aumento na produtividade de 8% no processo de moagem de cana, alcançando o valor de 81,5 ton/ha (CONAB, 2023).

A alta produtividade da cana-de-açúcar ocasiona na necessidade de otimizar as operações de colheita, transporte, armazenagem e distribuição, a fim de lidar eficientemente com o aumento na oferta de matéria-prima. Essa demanda adicional exige que os atores do setor, incluindo as usinas produtoras, empresas de logística e infraestruturas de transporte, estejam preparados para lidar com uma carga significativamente maior.

O aumento na produção também impacta diretamente os prazos e os volumes de escoamento. As operações de transporte, em especial, precisarão ser planejadas e executadas com uma precisão ainda maior para evitar gargalos, atrasos e possíveis perdas de eficiência. Além disso, o momento das colheitas e os cronogramas de processamento devem ser sincronizados de maneira eficiente para garantir que a produção excedente seja gerenciada de maneira adequada e não comprometa a qualidade do produto.

A crescente produtividade também traz à tona a necessidade de adaptar a infraestrutura logística existente para lidar com volumes maiores. Isso pode incluir a expansão de armazéns, otimização de rotas de transporte e possíveis investimentos em tecnologias que permitam um melhor monitoramento e controle da cadeia logística.

No presente trabalho, realizou-se uma análise aprofundada da cadeia logística de escoamento de uma unidade produtora de açúcar e álcool, abordando estratégias, custos, variáveis operacionais do açúcar e sua interação com o contexto nacional. Os capítulos, aqui presentes, fornecem uma visão geral das principais áreas de enfoque, conforme estruturação a seguir.

No primeiro capítulo, foram abordados os objetivos gerais e específicos que norteiam nossa pesquisa. Buscamos compreender a complexa dinâmica da cadeia logística, desde as estratégias até as implicações financeiras. Nessa seção, apresenta-se também o detalhamento da metodologia adotada para coleta, análise e interpretação dos dados.

No segundo capítulo, inicia-se a revisão bibliográfica. Com uma abordagem do cenário nacional do setor sucroalcooleiro, explorando seu papel fundamental na economia do Brasil. Enfatizando a análise para o estado de São Paulo, considerado o epicentro dessa indústria. Nesta seção, é explorada tópicos como o Proálcool, a geração de bioeletricidade a partir do bagaço de cana e a cadeia logística que sustenta o agronegócio.

No terceiro capítulo, é abordado estudo de caso focado em uma unidade produtora de açúcar e álcool, destacando a cadeia logística da operação do açúcar granel direcionado para o mercado externo. Detalhando suas operações e estratégias de escoamento. É explorado também as variações dos fluxos da logística operacional do açúcar, desde a chegada da cana-de-açúcar para a produção até a entrega final no porto.

O quarto capítulo concentra-se nas análises e resultados obtidos ao longo da pesquisa. Examinando os parâmetros e variáveis que impactam o escoamento do açúcar na usina, avaliaram-se implicações financeiras, operacionais e estratégicas das diferentes abordagens.

Por fim, no quinto capítulo, é apresentada a conclusão do estudo. Sintetizando as principais descobertas, lições aprendidas e os passos a serem seguidos para aprimorar a cadeia logística. Além disso, procurou-se discutir como os resultados podem ser aplicados de maneira mais ampla no contexto do setor sucroalcooleiro e em outras indústrias relacionadas.

Através dessa jornada de análise e exploração, espera-se contribuir significativamente para a compreensão e aprimoramento das estratégias de escoamento do açúcar, tanto na usina quanto em um cenário mais amplo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Apresentar o custo total gerado na cadeia logística de escoamento do açúcar bruto granel, produzido por uma usina no interior do estado de São Paulo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o setor sucroalcooleiro nacional.
- Identificar a importância do Proálcool e seus desdobramentos.
- Analisar a produção de açúcar e álcool
- Compreender a logística do agronegócio em território brasileiro.
- Realizar um estudo de caso voltado para uma usina produtora de açúcar granel, dando enfoque para a cadeia logística envolvida no processo até o destino, analisando os parâmetros financeiros e operacionais.
- Mapear os custos em cada etapa do processo e propor uma equação que demonstre o custo total do escoamento.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho consistiu em uma pesquisa exploratória, tanto bibliográfica quanto documental, utilizando dados qualitativos e quantitativos, permitindo uma análise aprofundada e contextualizada do setor sucroalcooleiro, com foco específico na cadeia logística de escoamento do açúcar granel em uma usina produtora. O estudo de caso é uma abordagem qualitativa que se destaca por sua capacidade de examinar um fenômeno em seu ambiente natural, levando em consideração sua complexidade e particularidades.

Para MARCONI E LAKATOS (2003), o objetivo da pesquisa é a formulação de questões ou de um problema com a finalidade de descrever hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com o ambiente, fato ou fenômeno.

De forma geral a pesquisa exploratória é realizada quando o tema escolhido é pouco explorado, sendo difícil a formulação e operacionalização das hipóteses. Muitas vezes, esse tipo de estudo se constitui em um primeiro passo para a realização de uma pesquisa mais aprofundada (OLIVEIRA, 2018).

A pesquisa exploratória tem como objetivo familiarizar-se com o fenômeno ou obter uma nova percepção dele e descobrir novas ideias. (CERVO; BERVIAN; DA SILVA, 2007).

Através do estudo bibliográfico e da análise de artigos técnicos, relatórios de mercado, planos de negócios e relatórios do setor, realizou-se uma análise aprofundada do setor sucroalcooleiro e sua cadeia logística.

A coleta de dados será realizada por meio de uma combinação de fontes, como colaboradores da logística de transportes operacional, entrevistas com profissionais-chave e análise de registros relevantes. A abordagem qualitativa permite capturar informações contextuais e percepções dos atores envolvidos, enriquecendo a compreensão da dinâmica da cadeia logística.

O estudo de caso não apenas descreve o funcionamento da usina, mas também analisa os parâmetros-chave, variáveis operacionais, custos e análise macro da cadeia de escoamento do açúcar. Os resultados obtidos são contextualizados no cenário mais amplo do setor sucroalcooleiro brasileiro, contribuindo para uma análise mais abrangente e informada.

Em resumo, a metodologia de estudo de caso adotada neste trabalho busca proporcionar uma visão aprofundada e abrangente da logística de produção e exportação de açúcar, permitindo a compreensão dos desafios e das oportunidades enfrentados pelo setor em um contexto de alta produtividade da cana-de-açúcar e de demanda global.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO

A caracterização do setor sucroalcooleiro brasileiro é fundamental para compreender a complexidade da indústria em que a logística de produção e exportação do açúcar está inserida. A interconexão entre a produção de cana-de-açúcar, a transformação em açúcar e etanol, e a necessidade de distribuição eficiente para os mercados internos e externos é um componente crítico do panorama logístico abordado nesta pesquisa.

A produção brasileira de cana-de-açúcar concentra-se nas regiões Norte-Nordeste e Centro-Sul. Essa última é considerada a maior produtora do país e sua safra compreende o período de abril a novembro, enquanto a da região Norte-Nordeste ocorre de setembro a março (NOVACANA, 2019).

Na condição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o setor sucroalcooleiro no país possui características próprias, que as diferenciam de suas congêneres em outros países.

Segundo as contribuições da CONAB:

O padrão internacional, ao contrário, mantém a atividade agrícola da produção de cana-de-açúcar separada da produção industrial. Esse modelo de organização está associado à enorme dimensão territorial do país, à grande disponibilidade de terras férteis e aptas para o cultivo da cana-de-açúcar e à tradição agrária do país.

(CONAB, 2017, P.8)

O Brasil, sendo o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, na safra 2022/23, teve sua produção distribuída entre 37,0 milhões de toneladas de açúcar e 27,3 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2023).

Os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2, a seguir, fornecem informações detalhadas sobre a produtividade, a área colhida e a produção de cana-de-açúcar durante as últimas 4 safras brasileira. Conforme os levantamentos das safras de cana-de-açúcar, a área colhida totalizou 8,2 milhões de hectares, enquanto a produtividade média alcançou 73,6 toneladas por hectare. Isso resultou em uma produção total de 610,1 milhões toneladas de cana-de-açúcar na última safra.

Tabela 1 – Dados de área colhida, produtividade e produção de cana-de-açúcar nas últimas quatro safras

SAFRAS	19/20	20/21	21/22	22/23
ÁREA (Em milhões ha)	8,4	8,6	8,3	8,3
PRODUTIVIDADE (Em tons/ha)	76,1	75,9	69,3	73,6
PRODUÇÃO (Em milhões tons)	642,7	654,5	578,7	610,1

Fonte: CONAB, vários anos.

Tabela 2 – Produção de açúcar e etanol de cana-de-açúcar nas últimas quatro safras

SAFRAS	19/20	20/21	21/22	22/23
AÇÚCAR (Em milhões tons)	29,8	41,3	35,0	37,0
ÁLCOOL (Em milhões litros)	34001,6	29746,4	26784,8	27365,9

Fonte: CONAB, vários anos.

Ao analisar os números de produção de açúcar e de álcool, pode-se traçar um panorama abrangente do desempenho do Brasil no setor sucroalcooleiro durante a safra 2022/23. Esses dados ressaltam o papel dinâmico da cana-de-açúcar como uma matéria-prima versátil que não apenas fornece açúcar, mas também serve como base para a produção de álcool, um componente fundamental na transição para fontes de energia mais limpas.

A análise combinada dos dados das Tabelas 1 e 2 demonstra claramente a conexão entre a produtividade, a área colhida, a produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool. Essa interdependência é fundamental para entender a dinâmica do setor sucroalcooleiro e suas implicações na economia nacional e global.

Os dados oferecem insights importantes sobre o desempenho do setor sucroenergético no período em questão. A produtividade por hectare, por exemplo, é um indicador chave da eficiência na utilização da terra e dos recursos agrícolas. A área colhida reflete o alcance das operações de cultivo, enquanto a produção total é um elemento fundamental para avaliar a capacidade produtiva do país.

O complexo sucroalcooleiro ocupa papel de destaque na pauta de exportação do agronegócio brasileiro (Figura 1) e, no primeiro semestre de 2023 o setor teve participação nacional de 7,2% (US\$5,9 bilhões), quarto setor mais representativo do país. (ANGELO, GHOBRIE E OLIVEIRA, 2023).

Figura 1 – Exportação do agronegócio por tipo de produtos (primeiro semestre de 2022 e 2023)

Grupo	Primeiro semestre de 2022		Primeiro semestre de 2023		Var. %
	US\$ milhão	Part. %	US\$ milhão	Part. %	
Complexo soja	37.776,43	47,7	40.805,08	49,3	8,0
Carnes	12.207,90	15,4	11.633,02	14,0	-4,7
Produtos florestais	8.263,06	10,4	7.478,53	9,0	-9,5
Complexo sucroalcooleiro	4.341,36	5,5	5.939,87	7,2	36,8

Fonte: ANGELO, GHOBRIE E OLIVEIRA, 2023.

Conforme ANGELO, GHOBRIE E OLIVEIRA (2023) o grupo sucroalcooleiro subiu 36,8% em valores e 16,2% em volumes exportados, devido ao crescimento das vendas externas de açúcar. Para o álcool, os embarques apresentaram elevações de 19,9% em volumes e 25,3% em valores, quando comparados ao mesmo período de 2022.

A produção de açúcar e álcool é uma parte essencial do setor sucroenergético, abastecendo mercados globais com diferentes tipos de açúcar, desde o bruto até o refinado. Além disso, a produção de álcool como combustível renovável desempenha um papel importante na redução da dependência de combustíveis fósseis.

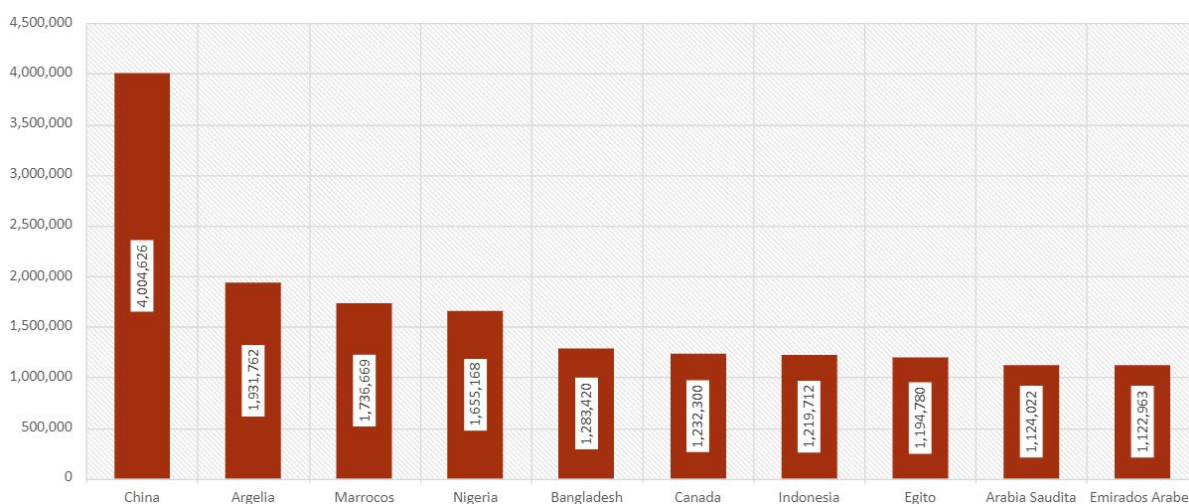
No ciclo agrícola de 2022/23, o Brasil registrou um incremento notável nas exportações de açúcar, enviando cerca de 29,4 milhões de toneladas para mercados internacionais. Essa cifra representa um crescimento de aproximadamente 13% em comparação com o período anterior, como divulgado pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Vários fatores contribuíram para esse aumento nas exportações brasileiras, sendo que um dos principais motivos foi a situação global de oferta do produto. Especialmente a safra de açúcar na Índia, a qual foi prejudicada por condições climáticas desfavoráveis, resultando em uma redução de 45% nas exportações indianas em relação à safra anterior. Esse contexto impulsionou as exportações do Brasil (CONAB, 2023).

Adicionalmente ao aumento na quantidade de açúcar exportado durante a safra de 2022/23, houve também um excedente positivo no valor dessas exportações. A receita obtida totalizou cerca de US\$ 12 bilhões, em comparação com os US\$ 9,1 bilhões exportados na safra anterior, representando um crescimento de 31,8%. Esse desempenho se deve a diversos fatores globais, incluindo o aumento da demanda pelo produto em outras nações produtoras,

particularmente a Índia, como mencionado anteriormente. Além disso, os preços do petróleo e outros elementos tiveram influência nesse cenário (CONAB, 2023).

Conforme Figura 2, o principal destino das exportações de açúcar brasileiro durante a safra 2022/23 foi a China, que adquiriu US\$ 1,57 bilhão do produto. Em sequência, a Argélia se destacou com US\$ 774,8 milhões, seguida pelo Marrocos com aproximadamente US\$ 704,4 milhões. Juntos, esses países representaram aproximadamente um quarto do valor total exportado pelo Brasil nesse período (CONAB, 2023).

Figura 2 – Principais importadores do açúcar brasileiro na safra 2022/23 (Volume em toneladas)



Fonte: NOVACANA, 2023.

3.2. BIOELETRICIDADE A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA

A cultura da cana-de-açúcar não apenas abastece a indústria de açúcar e álcool, mas também serve como base para a geração de bioenergia, contribuindo para a diversificação do setor.

Ao longo das últimas décadas, a participação da bioeletricidade sucroenergética na matriz de energia elétrica do Brasil tem aumentado. Em termos de capacidade instalada, assinala-se que a bioeletricidade sucroenergética posiciona-se como a quarta fonte de geração de eletricidade mais importante da matriz nacional, ficando atrás das fontes hídrica, gás natural e eólica. Considerando a soma da produção destinada para a rede com a de autoconsumo, a bioeletricidade sucroenergética passa a representar a terceira fonte mais importante na Oferta Interna de Energia Elétrica (CEISE BR; UNICA; COGEN; ABRACEEL, 2019).

Contudo, o potencial de geração de bioeletricidade do setor, em questão, é bem maior. Destaca-se que do total de 595 usinas termelétricas de biomassa em operação com outorgas regularizadas no país, 419 delas são geradoras de bioeletricidade sucroenergética advinda do bagaço de cana-de-açúcar (onde cerca de 51% delas estão localizadas no estado de São Paulo), com potência instalada, em kW, correspondente a 12.238.814,20, representando 70,4% da geração integral das demais fontes de biomassa (ANEEL, 2022). Por tudo isso, grandes investimentos têm sido feitos no setor sucroenergético, objetivando maior produtividade e viabilidade econômica e financeira por meio da comercialização do excedente da bioeletricidade produzida nas usinas canavieiras para o setor elétrico brasileiro.

Nas usinas sucroalcooleiras, o sistema de cogeração produz a eletricidade e/ou potência mecânica e vapor para o processo a partir do bagaço da cana-de-açúcar como combustível.

Uma grande vantagem da utilização do bagaço de cana para a geração de energia elétrica, além da promoção da diversificação da matriz energética e de uma fonte renovável, é que a safra da cana-de-açúcar coincide com o período de estiagem nas regiões sudeste/centro-oeste do Brasil, onde estão concentradas as maiores fontes instaladas de energia hidrelétrica (EPE, 2019b). Assim, o fornecimento de energia através do bagaço da cana-de-açúcar auxiliaria a preservação dos reservatórios durante este período.

A distribuição da oferta interna de energia, extraída do Balanço Energético Nacional (BEN) publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (2023), destaca o papel preponderante da biomassa de cana-de-açúcar na matriz energética brasileira. A Figura 3 apresenta a contribuição da biomassa de cana como fonte energética, reafirmando sua posição como um dos principais pilares da produção energética nacional. A análise desta figura oferece insights cruciais sobre a participação da biomassa de cana no suprimento interno de energia, destacando seu papel tanto na geração de eletricidade quanto na produção de biocombustíveis. Essa representação visual enriquece o entendimento da relevância estratégica da biomassa de cana-de-açúcar no contexto energético do país.

Figura 3 – Comparativo da oferta interna de energia no Brasil 2021-2022

Fonte (Mtep)	2021	2022	Δ% 22/21
RENOVÁVEIS	136,5	143,6	5,2%
Biomassa da cana	49,4	46,7	-5,5%
Energia hidráulica ¹	33,2	37,8	14,0%
Lenha e carvão vegetal	27,4	27,3	-0,5%
Eólica	6,2	7,0	12,9%
Solar ²	2,37	3,6	51,5%
Lixívia e Outras renováveis	17,8	21,1	18,3%
NÃO RENOVÁVEIS	166,7	159,5	-4,3%
Petróleo e derivados	103,6	108,1	4,3%
Gás natural	40,2	31,7	-21,2%
Carvão mineral	16,9	14,0	-17,5%
Urânio (U ₃ O ₈)	3,9	3,9	-1,0%
Outras não renováveis	2,0	1,9	-6,2%

Fonte: EPE, 2023.

3.3. PROÁLCOOL

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) foi lançado no Brasil na década de 1970 como uma resposta à crise do petróleo e à necessidade de diversificação da matriz energética. Esse programa visava à produção em larga escala de álcool a partir da cana-de-açúcar, com o intuito de substituir a gasolina como combustível veicular. Ao longo dos anos, o Proálcool não apenas trouxe transformações significativas para o setor energético, mas também desempenhou um papel crucial no desdobramento do cenário logístico do país (EPE, 2017c).

Introduzido como Programa Nacional do Álcool, não apenas desencadeou uma transformação significativa na matriz energética brasileira, mas também exerceu um papel crucial no desenvolvimento da malha de escoamento do agronegócio no país. Ao priorizar a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar como alternativa à gasolina, o programa impulsionou a expansão das áreas de cultivo e a consequente demanda por transporte e distribuição eficientes.

Diante do aumento dos preços do petróleo e da gasolina, o governo precisou encontrar maneiras de atender à demanda da população por combustíveis. Assim, em 1975, surgiu o Proálcool, um programa que visava a produção de álcool anidro a partir da cana-de-açúcar, como substituto dos derivados do petróleo (Biodieselbr, 2006). Esse programa também previu o desenvolvimento de uma cadeia industrial associada ao uso desse biocombustível para

impulsionar o crescimento econômico do país, dando origem ao setor sucroenergético, uma cadeia produtiva integrada de energia e alimentos (EPE, 2017c).

O Proálcool ofereceu subsídios e incentivos para a construção de novas destilarias nos primeiros anos, especialmente após 1979. Nesse período, os subsídios chegaram a representar até 96% do investimento necessário para a instalação de novos empreendimentos. Na primeira fase do programa (1975-1979), o investimento privado no setor era limitado, com o Estado investindo cerca de US\$ 1,5 bilhão e implantando 209 destilarias no país (RODRIGUES, 2012).

Mais uma vez, os acontecimentos internacionais impactaram diretamente o destino do álcool combustível. O segundo choque do petróleo, em 1979, elevou os preços da gasolina e desequilibrou a Balança Comercial Brasileira. A alta dos juros promovida pelo governo norte-americano aumentou a dívida externa de países como o Brasil. Esses eventos, combinados com o excesso de oferta de álcool anidro no mercado nacional, estimularam o governo brasileiro a intensificar o Proálcool, inaugurando a segunda fase do programa e promovendo veículos movidos a álcool hidratado (SOUZA, 2006; SCANDIFFIO, 2005)."

A ampliação da produção durante a implementação do Proálcool gerou um aumento na necessidade de transporte, especialmente da matéria-prima (cana-de-açúcar) das áreas de cultivo para as usinas de processamento. A fim de atender a essa demanda crescente, foram necessários investimentos substanciais na infraestrutura de transporte, incluindo a modernização de estradas e ferrovias que conectavam as regiões produtoras às usinas.

A logística de escoamento do álcool e dos produtos derivados da cana-de-açúcar, como açúcar e subprodutos agrícolas, exigiu uma abordagem integrada que considerasse os desafios geográficos e as características sazonais da produção. A expansão das rotas de transporte e o aprimoramento da logística reversa para o retorno eficiente dos subprodutos contribuíram para uma cadeia de suprimentos mais robusta e eficaz.

Além disso, o conhecimento adquirido na gestão da logística do álcool, incluindo o planejamento de rotas, o armazenamento apropriado e a coordenação de transportes, teve influência direta na abordagem logística de outros produtos agrícolas. A experiência acumulada no transporte sensível ao tempo e à qualidade do álcool trouxe conhecimentos valiosos para outros segmentos do agronegócio que enfrentavam desafios semelhantes.

O Proálcool, portanto, não apenas alavancou a indústria do álcool, mas também contribuiu para o desenvolvimento da malha de escoamento do agronegócio brasileiro como um todo. As interconexões entre a produção de cana-de-açúcar, logística de transporte e infraestrutura logística revelam um processo de evolução contínua que afetou positivamente a competitividade e a eficiência de todo o setor agrícola no país

3.4. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Após uma análise abrangente do setor sucroenergético em âmbito nacional, é necessário explorar como o estado de São Paulo se destaca nesse panorama. Considerando sua longa tradição na produção de cana-de-açúcar e sua concentração de usinas, São Paulo se apresenta como um protagonista essencial na produção de açúcar e etanol.

O estado de São Paulo se destaca como um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do país. Os números totais de cana moída revelam a extensão dessa produção, refletindo a longa tradição do estado na cultura canavieira e a eficiência de suas operações agrícolas.

A produção total de açúcar em São Paulo coloca o estado em uma posição de liderança nacional. Os volumes expressivos de açúcar produzidos não apenas sustentam a demanda interna, mas também contribuem significativamente para as exportações dessa commodity, reforçando a posição competitiva do Brasil no cenário global.

Além do açúcar, São Paulo também é um dos principais produtores de etanol do país. A ênfase na produção de biocombustível reflete a busca por alternativas energéticas sustentáveis e a demanda crescente por fontes renováveis de energia.

A magnitude dos números totais de produção de cana, açúcar e etanol reforça a relevância econômica de São Paulo no contexto nacional. A indústria sucroenergética é uma fonte crucial de emprego, investimentos e receitas para o estado, contribuindo significativamente para o desenvolvimento econômico regional e nacional. Pode-se observar a expressiva participação do estado nas últimas safras por meio dos dados da Tabela 3, construída com as informações dos últimos Boletins de Safra da Cana-de-Açúcar, realizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

Tabela 3 – Participação Nacional do estado de São Paulo nas últimas quatro safras.

Produto	UF	Safra 22/23	Safra 21/22	Safra 20/21	Safra 19/20
Produção de cana (milhões toneladas)	SP	312,9	298,5	357,3	342,6
	Participação nacional	51%	52%	54%	53%
Produção de açúcar (milhões toneladas)	SP	22,5	21,4	26,1	18,4
	Participação nacional	61%	61%	63%	62%
Produção de álcool de cana (milhões litros)	SP	11.968,7	11.944,7	14.388,4	16.482,2
	Participação nacional	38%	40%	44%	46%

Fonte: CONAB, vários anos.

O estado de São Paulo apresenta uma infraestrutura de transporte robusta, composta por uma extensa malha rodoviária e ferroviária. Essa infraestrutura desempenha um papel crucial na otimização da cadeia logística da indústria sucroalcooleira, permitindo o escoamento eficiente dos produtos das usinas e contribuindo para a posição proeminente do estado no setor.

A rede rodoviária de São Paulo conecta áreas produtoras de cana-de-açúcar a centros de distribuição, portos e outras regiões consumidoras. A qualidade e densidade das rodovias viabilizam o transporte rápido e confiável, reduzindo o tempo de trânsito e minimizando a degradação dos produtos durante o percurso. Isso é especialmente importante para produtos perecíveis, como o açúcar.

O uso da malha rodoviária oferece flexibilidade, possibilitando a criação de rotas customizadas e a entrega do produto. Além disso, a infraestrutura rodoviária permite maior alcance geográfico e a interligação direta com centros de consumo, o que é benéfico para o escoamento dos produtos das usinas sucroalcooleiras.

A malha ferroviária de São Paulo também desempenha um papel importante na logística de escoamento do agronegócio. A utilização de trens para o transporte de açúcar e etanol oferece capacidade de carga significativa e eficiência em termos de combustível e emissões. As ferrovias conectam o interior do estado aos principais portos, facilitando o transporte para exportação.

O transporte ferroviário oferece uma alternativa econômica para grandes volumes de carga, como o açúcar granel. A capacidade de transporte em larga escala e a redução dos custos operacionais contribuem para a viabilidade econômica da cadeia logística. Além disso, a utilização de ferrovias contribui para a redução do tráfego rodoviário, minimizando o impacto ambiental.

A capacidade de integração entre as redes rodoviária e ferroviária é um dos pontos fortes da infraestrutura de transporte de São Paulo. A adoção de abordagens multimodais, onde os

produtos podem ser transferidos entre caminhões e trens, otimiza a eficiência e a flexibilidade da logística, garantindo um fluxo contínuo e eficaz dos produtos.

O aproveitamento da malha rodoviária e ferroviária de São Paulo na cadeia sucroenergética não apenas impulsiona a eficiência das operações do setor, mas também aumenta a competitividade do estado como um polo produtivo. A interligação eficaz entre áreas produtoras, centros de distribuição e portos contribui para a posição de liderança do estado.

3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS USINAS SUCRALCOOLEIRAS NACIONAIS

A indústria sucroalcooleira nacional é um dos pilares do agronegócio, desempenhando um papel crucial na economia do país e na produção de açúcar e etanol. A caracterização dos perfis de usina nesse cenário é essencial para compreender a diversidade e complexidade das operações, bem como para identificar as estratégias adotadas por diferentes atores do setor.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é uma fonte confiável e abrangente de informações sobre o agronegócio brasileiro. A partir dos dados disponibilizados pelo mesmo, é possível analisar e categorizar as usinas de acordo com seus perfis e características distintas.

As usinas sucroalcooleiras no Brasil podem apresentar uma ampla gama de perfis, que variam desde usinas de menor porte e produção regional até complexos agroindustriais de grande escala com operações voltadas para exportação. Essa caracterização se baseia em critérios como capacidade de produção, localização geográfica, diversificação de produtos e estratégias de escoamento.

De acordo com o MAPA, as usinas podem ser agrupadas em diferentes perfis:

Usinas de Grande Escala para Exportação: essas usinas são caracterizadas por sua capacidade significativa de produção e logística voltada para a exportação de açúcar e etanol. Geralmente localizadas em regiões estratégicas próximas a portos, essas usinas investem em infraestrutura para escoamento eficiente, visando atender a demanda internacional.

Usinas Regionais com Foco no Mercado Doméstico: algumas usinas optam por concentrar suas operações no abastecimento do mercado interno, produzindo para atender à demanda nacional de açúcar e álcool. Essas usinas podem estar localizadas em áreas de maior consumo, buscando otimizar a distribuição local.

Usinas Integradas e Diversificadas: neste contexto as usinas buscam diversificar sua produção, aproveitando subprodutos da cana-de-açúcar, como a produção de energia a partir do

bagago. Essa abordagem reflete a busca por maior eficiência e valor agregado em diferentes segmentos.

Em suma, a caracterização dos perfis de usina no cenário nacional, com base em dados do MAPA, oferece uma visão abrangente das estratégias, tamanhos e direcionamentos operacionais adotados pelas usinas sucroalcooleiras. Essa compreensão é fundamental para embasar as análises e tomadas de decisão no estudo de caso abordado neste trabalho, contribuindo para a formulação de estratégias logísticas mais eficientes e bem fundamentadas.

Visto os diversos escopos que as plantas produtoras nacionais podem apresentar, foram levantados dados da quantidade total de usinas cadastradas no MAPA, as quais se apresentam distribuídas conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de usinas cadastradas no MAPA por escopo de produção

Perfil de Produção	Quantidade
Unidades Mistas	225
Produtoras de Açúcar	13
Produtoras de Álcool	112
Usinas Inativas	22
Total	372

Fonte: NOVACANA, 2023.

Usinas de perfil misto desempenham um papel integral na indústria sucroalcooleira ao produzirem tanto açúcar quanto etanol. Essa diversificação permite que essas usinas se adaptem às flutuações da demanda do mercado, otimizem o uso dos recursos e aproveitem múltiplos produtos derivados da cana-de-açúcar. Essas usinas são localizadas para atender a diversos mercados, equilibrando a oferta de açúcar e álcool com base nas necessidades de planos de venda.

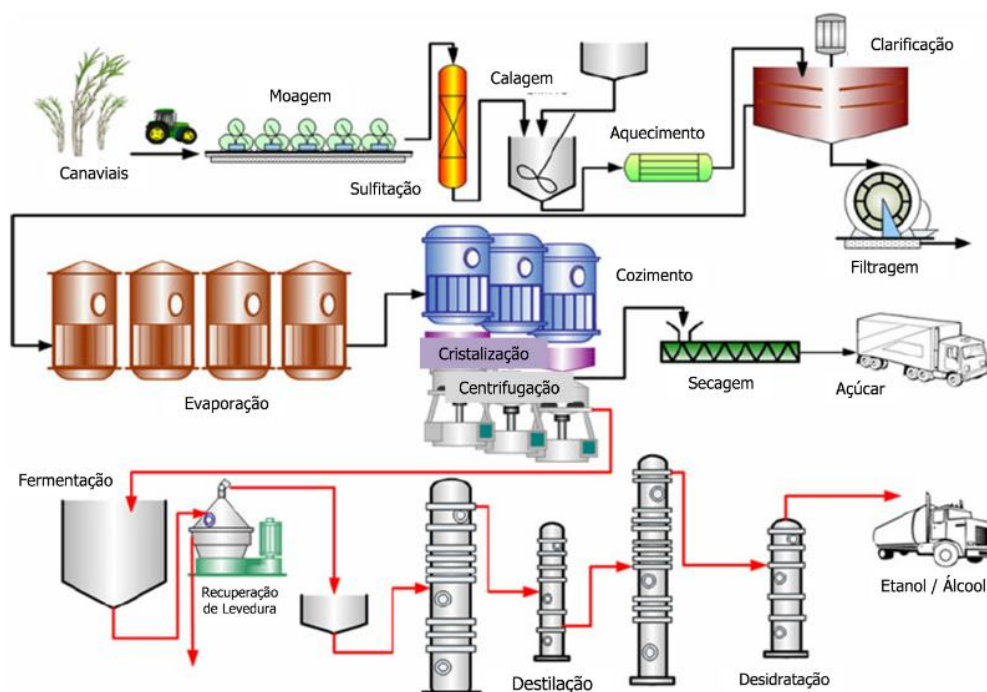
As usinas que optam por focar exclusivamente na produção de álcool têm como objetivo atender às demandas crescentes por combustíveis renováveis e biocombustíveis. Essa abordagem pode estar alinhada com políticas de sustentabilidade e redução de emissões. Essas usinas podem investir em tecnologias avançadas de fermentação e destilação para otimizar a produção de álcool.

Usinas que direcionam seus esforços exclusivamente para a produção de açúcar muitas vezes estão alinhadas com a demanda global por essa *commodity*. Seu foco pode ser a produção de açúcar bruto ou refinado para atender a indústrias de alimentos e bebidas, além de mercados internacionais. Essas usinas podem ser localizadas em áreas com vantagens competitivas na produção açucareira.

A análise desses diferentes perfis de usina não apenas enriquece nossa compreensão da complexidade da indústria sucroalcooleira, mas também proporciona diferentes visões de como as estratégias de produção podem impactar a logística e a cadeia de suprimentos. Ou seja, considerar o escopo de produção é crucial para entender como as usinas se adaptam às mudanças no mercado e respondem às demandas dos consumidores.

A Figura 4, a seguir, traz o esquema de um processo produtivo de açúcar e álcool.

Figura 4 – Fluxo do processo produtivo de açúcar e álcool a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: CBIE, 2020.

Nas instalações das destilarias industriais, o processo começa com a trituração da matéria-prima, que é convertida em melado. Esse melado é posteriormente passado por uma peneira para separar quaisquer resíduos e bagaço. Em seguida, ocorrem as etapas subsequentes do processo: sulfitação, calagem e fermentação, as quais resultam na produção de açúcar não fermentado e álcool (CBIE, 2020).

A etapa de sulfitação tem a finalidade de prevenir a ocorrência de reações que causam escurecimento no açúcar e auxiliar na clarificação do caldo. Para realizar isso, enxofre é queimado em um forno rotativo, gerando gás sulfuroso (SO₂), que é misturado ao caldo. É importante observar que há limites para a quantidade de dióxido de enxofre permitida no açúcar, o que torna essencial controlar meticulosamente a dosagem de enxofre no caldo, ajustando o pH conforme necessário (CBIE, 2020).

A etapa subsequente, conhecida como calagem, tem como objetivo corrigir a acidez do caldo. Esse processo neutraliza os efeitos prejudiciais de elementos como alumínio e manganês, adicionando cálcio e magnésio até alcançar os níveis adequados. Somente após essa etapa, o caldo está pronto para entrar na fermentação. Durante a fermentação, microrganismos, normalmente leveduras, transformam a matéria-prima. Essas leveduras convertem os açúcares presentes no caldo em álcool e gás carbônico, seguindo condições específicas. Geralmente, a fermentação do açúcar da cana leva de 8 a 12 horas. Durante esse processo, a recuperação das células de levedura é realizada por meio de decantação, permitindo a reciclagem das leveduras no processo fermentativo (CBIE, 2020).

Posteriormente, o álcool passa por um processo de destilação em colunas. Nesse processo, o álcool é aquecido até evaporar. Durante a evaporação e subsequente condensação, ocorre a separação do álcool com grau de pureza superior a 95%. A última etapa pela qual o álcool passa é a desidratação, onde a água restante é removida do combustível para atingir um grau de pureza quase 100%. Após passar por esse processo, o álcool é armazenado em grandes tanques e fica pronto para ser comercializado, seja para a indústria de distribuição de combustíveis ou para outros usos específicos (CBIE, 2020).

3.6. ANÁLISE DO CENÁRIO LOGÍSTICO NO AGRONEGÓCIO

A logística desempenha um papel crucial no contexto do agronegócio nacional, conectando os diversos elos da cadeia produtiva, desde a produção agrícola até a distribuição e exportação dos produtos. No cenário brasileiro, marcado por dimensões continentais e uma diversidade de culturas e produtos, a logística desafia as operações do agronegócio, ao mesmo tempo em que oferece oportunidades para melhorar a eficiência e a competitividade.

Diálogos sobre a ampliação da competitividade do agronegócio brasileiro têm sido frequentes tanto no âmbito público quanto no privado. As diversas linhas de ação propostas apontam para soluções visando superar os obstáculos associados aos custos frente ao cenário nacional. Especificamente para o setor do agronegócio, essas proposições consistentemente

destacam a necessidade de reorientar a matriz de transporte, a fim de corrigir a distorção causada pela prevalência do modal rodoviário. Essa mudança tem como objetivo mitigar os altos custos logísticos e aliviar a competitividade dos produtos agropecuários (Embrapa, 2014).

O crescimento das exportações das commodities agrícolas do Brasil tem trazido benefícios, porém, simultaneamente, tem exposto diversas carências no sistema logístico nacional. Essas limitações, que se manifestam através de estradas em estado precário, eficiência limitada e falta de capacidade nas ferrovias, além de desorganização e excessiva burocracia nos portos, têm culminado em congestionamentos de caminhões nos principais portos de exportação, demoras consideráveis na atracação de navios e falhas nos prazos de entrega dos produtos no mercado internacional. Tais desafios resultaram no aumento dos custos e na diminuição da competitividade dos produtos brasileiros no cenário global (FLEURY, 2000).

Os custos logísticos desempenham um papel significativo nos preços finais dos produtos, devido à dispersão geográfica da produção, à abrangência do mercado interno e às longas distâncias envolvidas no comércio. A melhoria dos serviços logísticos certamente ampliaria a competitividade em diversos setores econômicos, um requisito essencial para o sucesso de qualquer economia (Embrapa, 2014).

Os altos custos logísticos exacerbam o fenômeno da argentinização. Isso ocorre porque apenas segmentos organizados da agricultura são capazes de mitigar os efeitos prejudiciais da infraestrutura deficiente. São as cadeias produtivas agrícolas com uma escala considerável que conseguem diluir os custos elevados de transporte, e somente os principais produtores e as grandes empresas do ramo agrícola conseguem estabelecer contratos de transporte com operadoras ferroviárias e hidroviárias (Embrapa, 2014).

As grandes empresas do agronegócio e/ou cooperativas de grande porte possuem a capacidade de oferecer volume e regularidade na oferta de commodities agrícolas para empresas que operam sistemas de transporte intermodais. Além disso, elas possuem instalações de armazenagem e terminais portuários, que viabilizam o transporte por ferrovia e hidrovia (Embrapa, 2014).

A abordagem multimodal, que envolve a utilização de diferentes modos de transporte (rodoviário, ferroviário, fluvial e marítimo), é uma estratégia para contornar as limitações da infraestrutura e otimizar o fluxo de produtos. Essa integração busca maximizar a eficiência e reduzir os custos ao escolher a combinação mais vantajosa para cada trecho da cadeia logística.

A eficiência na armazenagem e distribuição de produtos agrícolas é vital para minimizar perdas e atender à demanda dos mercados. A sazonalidade das safras exige uma infraestrutura

de armazenamento capaz de acomodar grandes volumes durante os períodos de pico de produção e garantir um suprimento estável ao longo do ano.

A tecnologia desempenha um papel crescente na logística do agronegócio, permitindo a rastreabilidade dos produtos ao longo da cadeia, otimização de rotas, controle de estoques e monitoramento das condições de transporte. Sistemas de informações geográficas (SIG) e softwares de gerenciamento logístico são cada vez mais utilizados para aprimorar a eficiência operacional.

A crescente conscientização ambiental impulsionou o conceito de logística verde no agronegócio. A adoção de práticas sustentáveis, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, a minimização do desperdício e o uso eficiente dos recursos, é uma estratégia essencial para garantir a viabilidade da logística no longo prazo.

A logística eficiente é um fator crítico para a competitividade internacional do agronegócio brasileiro. A redução dos custos logísticos pode aumentar a margem de lucro dos produtos exportados, tornando-os mais atrativos no mercado global. Ao mesmo tempo, gargalos logísticos podem prejudicar a competitividade e limitar o alcance dos produtos brasileiros.

A caracterização da logística no agronegócio nacional revela uma interdependência crucial entre produção, transporte, armazenagem e distribuição. No contexto do estudo de caso, a compreensão dessas complexidades é essencial para avaliar como as estratégias logísticas da usina se encaixam em um cenário mais amplo e como podem contribuir para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades inerentes à logística no agronegócio brasileiro.

4. ESTUDO DE CASO EM UMA USINA PRODUTORA DE AÇÚCAR GRANEL

Nesta seção, será apresentado um estudo de caso detalhado sobre uma usina, com perfil de produção misto, a abordagem se dará com análise aprofundada no fluxo de produção e escoamento do açúcar bruto granel, visando explorar como a logística de produção e exportação do açúcar é gerenciada nesse contexto específico. A usina selecionada para o estudo está localizada no interior do estado de São Paulo.

O estudo permitirá a identificação de lições aprendidas e implicações práticas para outras empresas do setor. Análise como as experiências da usina podem ser aplicadas a contextos semelhantes e como as abordagens logísticas podem ser adaptadas.

4.1. APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

A usina produtora de açúcar e álcool está localizada no interior do estado de São Paulo, e possui uma das maiores instalações do setor sucroalcooleiro nacional.

Por meio de investimentos contínuos em pesquisa e inovação tecnológica, a usina em questão estabeleceu-se como uma das mais avançadas do setor. Ao longo dos anos, essa unidade expandiu suas operações por meio da incorporação de várias outras unidades produtoras da região, resultando em aumento da fronteira agrícola e de sua capacidade industrial.

A localização estratégica da unidade tem desempenhado um papel fundamental na otimização de suas operações logísticas e oferece uma série de benefícios nesse aspecto. Situada na região canavieira mais tradicional do estado, a usina tem uma série de vantagens logísticas que contribuem para a eficiência e competitividade dela.

Em resumo, a alta capacidade de estocagem da usina estudada é um benefício estratégico que se alinha perfeitamente com a natureza do mercado de açúcar. Essa capacidade permite à usina enfrentar os desafios sazonais, otimizar a comercialização de seus produtos e atender às demandas do mercado de forma consistente.

No contexto deste estudo de caso, é fundamental reconhecer que, devido à política da empresa e à sensibilidade do mercado, as informações referentes à produção e capacidade de estocagem diária de açúcar e álcool não podem ser expostas. A confidencialidade desses dados é uma prática estratégica adotada para preservar a competitividade da usina e otimizar sua capacidade de responder eficazmente às complexidades do mercado de açúcar granel.

A natureza dinâmica e volátil do mercado de *commodities*, como o açúcar e o álcool, exige uma abordagem prudente no compartilhamento de informações críticas. A exposição de dados sensíveis pode potencialmente impactar negativamente a posição competitiva da usina, permitindo que concorrentes se adaptem às suas estratégias de produção, logística e comercialização. Portanto, a decisão de não revelar a produção real diária desses produtos é uma medida preventiva que visa resguardar a estratégia de negócios da usina.

A fim de garantir a confidencialidade desses dados, foram utilizadas nomenclaturas específicas ao longo deste estudo. Nesse contexto, a variável que se refere à produção diária de açúcar será designada como " α ", representando a quantidade de açúcar granel produzida pela usina a cada dia. Essa nomenclatura permitirá abordar as dinâmicas logísticas e de armazenamento sem expor detalhes sensíveis da operação da usina.

Além disso, a quantidade disponível de estoque para açúcar, que é o estoque total, é denominada por "*Et*". Essa variável engloba a posição total que se pode armazenar açúcar, pronto para ser distribuído e comercializado, e o estoque diário é referenciado por "*Ed*".

A análise da expedição de carregamento diária da usina é um elemento relevante para compreender o processo de escoamento do açúcar. Para representar essa variável, utilizou-se a nomenclatura " β ", que se refere à. Essa variável descreve a quantidade máxima de açúcar granel que a usina é capaz de carregar e enviar para distribuição em um único dia.

Ao considerar a capacidade de carregamento, pode-se explorar questões relacionadas à eficiência de carregamento, otimização de veículos, sincronização com a demanda do mercado e outras estratégias logísticas que garantem a entrega pontual e eficaz do açúcar granel.

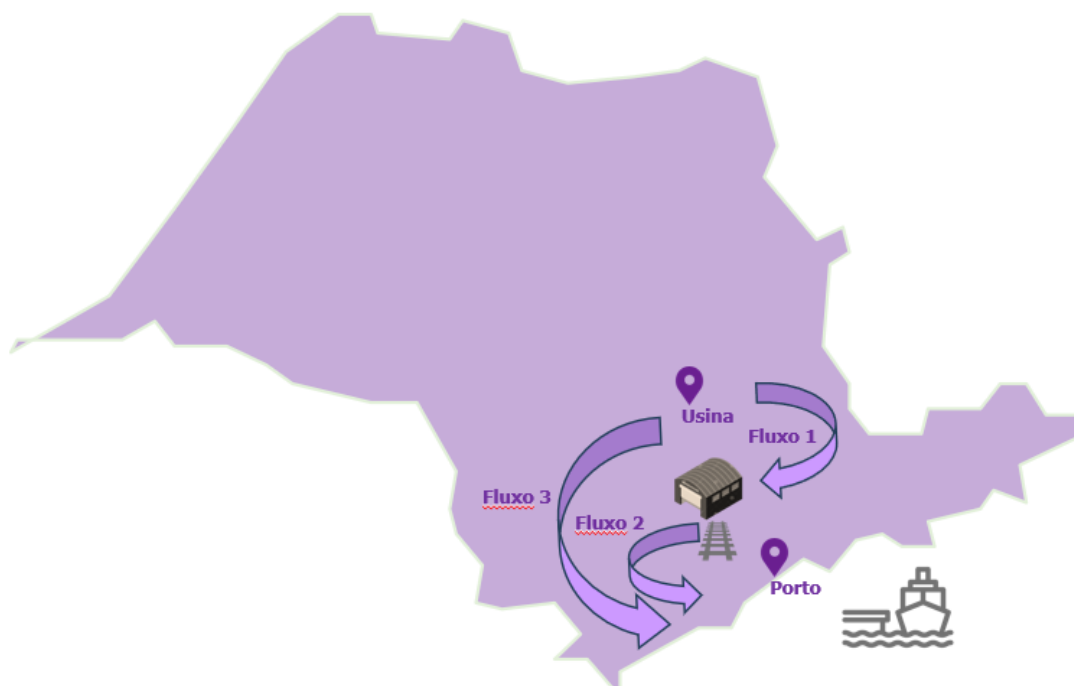
Adotadas essas nomenclaturas, a análise do fluxo logístico da usina estudada se concentrará nas operações, estratégias de armazenamento, distribuição e logística de mercado, sem comprometer as informações sensíveis.

4.2. FLUXO DE PROCESSOS

Essa análise do fluxo total do açúcar na unidade em questão tem como objetivo fornecer uma melhor compreensão da sinergia entre os diferentes estágios logísticos e como a usina gerencia, de forma eficiente, a jornada do açúcar, desde a matéria-prima até o porto de destino. Cada etapa desse processo envolve uma interação coordenada de variáveis, tecnologias e estratégias para garantir que o açúcar alcance seu destino de maneira eficaz e dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Nesta etapa do estudo de caso, é exposto o fluxo do açúcar, traçando sua jornada a partir da origem na usina até a entrega final do açúcar no porto. Contudo, o foco do trabalho se manterá no transporte logístico do açúcar granel, dando destaque para as capacidades de escoamento e armazenagem, bem como os custos atrelados a cadeia operacional.

Figura 5 - Representação geográfica dos fluxos de escoamento do açúcar granel da usina



Fonte: Elaboração própria.

No Fluxo 1, conforme apontado na Figura 5, o açúcar é carregado na usina, em seguida, os caminhões transportam o açúcar até os armazéns de transbordo ferroviário localizados em regiões estratégicas do interior de São Paulo. Nos terminais de transbordo, o açúcar é transferido para os armazéns até que seja formado o lote que será carregado e escoado através da ferrovia até o destino portuário final.

Seguindo o Fluxo 2, o açúcar é carregado nos terminais de transbordo ferroviário, com a presença da locomotiva e vagões para carregamento. Essa opção oferece um tempo de trajeto mais moroso, da molécula inicial de açúcar até o porto de destino, entretanto, o potencial de volume escoado em um só carregamento é muito maior que o de um veículo rodoviário, visto a capacidade de carregamento de uma locomotiva inteira, contra a capacidade de um caminhão.

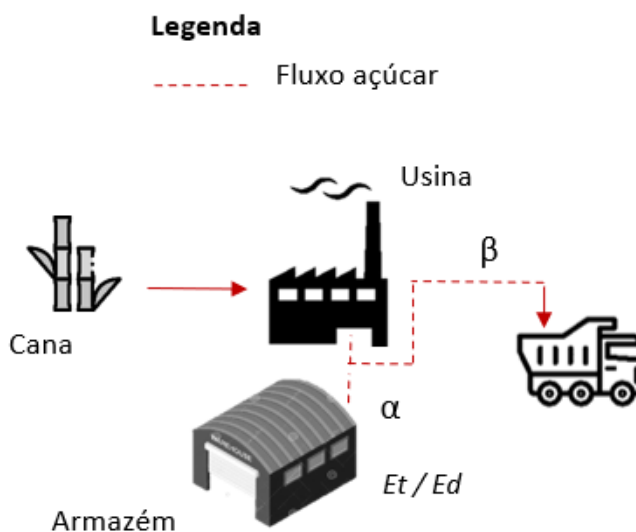
Para o Fluxo 3, que se apresenta como uma segunda opção no processo, o açúcar é carregado diretamente em caminhões na usina. Os caminhões transportam o açúcar até a região portuária, onde ocorre o processo de consolidação e embarque nos navios para exportação. Essa

opção oferece um trajeto mais direto até o porto, agilizando o tempo de trânsito da molécula de açúcar carregada.

Importante destacar que, independentemente do tipo de carregamento, o fluxo do açúcar inicia-se nos canaviais, onde a cana-de-açúcar é cultivada e colhida. A cana é então processada na usina, onde passa por diversos estágios de extração e transformação para obter o açúcar bruto granel.

Uma vez que o açúcar granel está pronto para ser distribuído, inicia-se o processo logístico de escoamento. Isso envolve a etapa de carregamento na usina, onde o açúcar é acondicionado e preparado para transporte. A variável de capacidade de carregamento diária (β) desempenha um papel crucial nesse estágio, determinando a quantidade de açúcar que pode ser carregado e enviado para a distribuição em um único dia. O fluxo apresentado na Figura 6 demonstra a etapa inicial de escoamento e dos parâmetros envolvidos.

Figura 6 – Processo e parâmetros da cadeia de escoamento do açúcar na usina



Fonte: Elaboração própria.

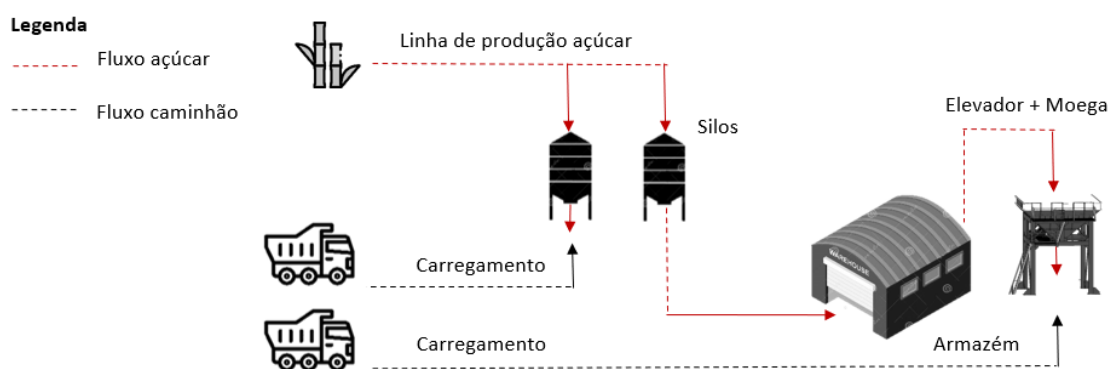
No contexto da usina referenciada neste estudo, a etapa inicial do escoamento do açúcar é conduzida por meio de operadores da logística interna da unidade, em que os responsáveis devem acompanhar a produção diária (α) do produto, analisando a volumetria de produto nos silos alocados ao final da linha de produção. Caso os silos estejam chegando a sua capacidade máxima de volume, a logística interna deve se programar para retiradas, movimentação e estocagem interna do produto nos armazéns adequados, a fim de não interromperem o processo produtivo.

Após disponibilizado o açúcar para carregamento, os caminhões devem ser direcionados para os locais pré-estabelecidos no processo. A unidade, em questão, possui potencial para carregamentos direto da produção, em silos de recepção da linha produtiva, e carregamentos em outras moegas atreladas a elevadores de escoamento interligados com o armazém principal de estocagem.

Visto a alta capacidade produtiva da unidade e a grande oferta de matéria-prima na região, a usina trabalha com um sistema de agendamento para os carregamentos, a fim de organizar e manter a ordem dos veículos que se apresentam para carregamento.

A Figura 7 aponta o esquema de fluxos de escoamento interno do açúcar, bem como os carregamentos realizados na unidade. Os detalhes técnicos confidenciais foram preservados, enquanto uma visão geral do processo foi apresentada.

Figura 7 – Representação gráfica do fluxo de processo interno, referente ao carregamento de açúcar granel na usina produtora



Fonte: Elaboração própria.

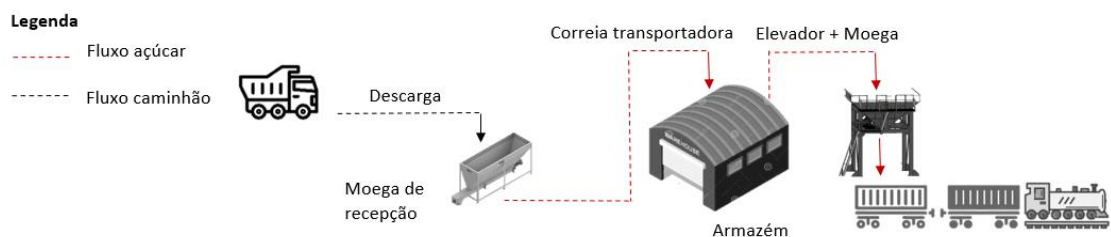
Após realizados os carregamentos, os veículos podem seguir para dois destinos diferentes, variando entre o fluxo de exportação e a estratégia de escoamento da usina. A primeira opção e, mais usada pela unidade estudada, é o direcionamento dos veículos carregados para os terminais de transbordo ferroviário, localizados em pontos estratégicos em regiões do interior do Estado de São Paulo. A segunda opção é o escoamento direto do produto da usina até o terminal portuário de embarque.

Devido ao fato de a unidade apresentar um plano de produção de açúcar bruto granel, o plano escoamento está direcionado para atender o mercado externo, seguindo a premissa da companhia em direcionar este tipo de produto para este fluxo.

A integração da modalidade ferroviária como parte do escoamento do açúcar oferece diversas vantagens, como o transporte de grandes volumes e a redução dos custos. Além disso,

os armazéns de transbordo ferroviário atuam como ponto chave de distribuição, onde o açúcar é transferido dos caminhões para os vagões ferroviários, preparando-se para a próxima etapa do trajeto. Assim, ao concentrar-se em áreas geográficas estrategicamente escolhidas, a usina pode maximizar a eficiência do transporte ferroviário, minimizando as distâncias percorridas no circuito rodoviário e otimizando os custos. A Figura 8 representa de forma detalhada o fluxo de recepção e expedição do açúcar no terminal de transbordo ferroviário.

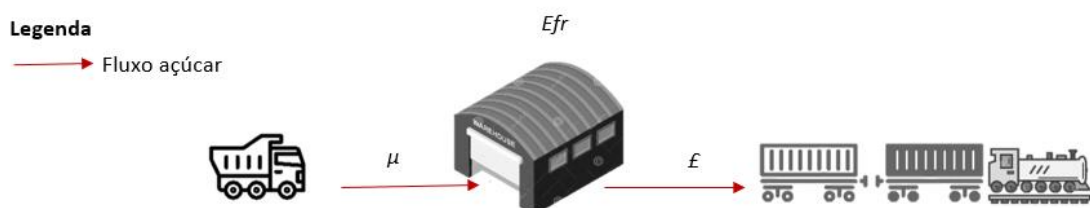
Figura 8 – Representação gráfica do fluxo de processos, referente à recepção e carregamento de açúcar granel nos terminais de transbordo ferroviário



Fonte: Elaboração própria

Para fins de análise e discussão de resultados, o carregamento diário executado pela ferrovia nos terminais de transbordo, será representada pela variável “ \mathcal{E} ”. Este parâmetro segue como um dos principais fatores para programação de formação de lote do produto escoado, para os destinos portuários finais, visto a alta capacidade de escoamento ferroviário, abordado inicialmente. Outros dois parâmetros importantes na análise, frente ao cenário logístico de escoamento, é a capacidade de recepção diária no terminal que será denominado por “ μ ” e a estática total disponível que será representada por “ Efr ”. A Figura 9 apresenta-se com a finalidade de entender melhor as variáveis envolvidas no processo do terminal de transbordo ferroviário

Figura 9 - Processo e parâmetros da cadeia de escoamento do açúcar no terminal de transbordo ferroviário



Fonte: Elaboração própria.

A etapa final do processo de escoamento do açúcar granel para exportação, segue o fluxo para os terminais portuários, os quais são responsáveis por recepcionar as descargas da ferrovia e dos veículos rodoviários, que seguirem com os carregamentos diretos da usina para o destino nos portos.

Na abordagem de escoamento do açúcar granel, a operação é realizada sob a perspectiva do cenário de formação de lotes. Nesse contexto, os processos são conduzidos de maneira estratégica, aguardando a chegada do próximo navio a ser embarcado antes de consolidar e enviar o açúcar.

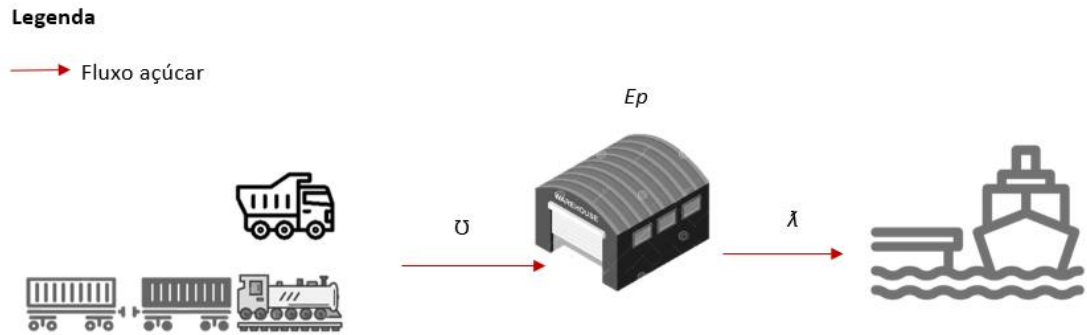
Nos terminais de transbordo e portuários, a formação de lote visa otimizar a eficiência do transporte marítimo. Em vez de carregar pequenas quantidades de açúcar em navios individuais, o objetivo é consolidar volumes maiores de açúcar em lotes completos antes do embarque. Isso permite que a capacidade de carga dos navios seja maximizada, otimizando os custos e minimizando o número de viagens.

Nesse cenário, o processo de formação de lote é uma etapa chave. O açúcar granel proveniente das instalações da usina é armazenado temporariamente nos terminais de transbordo e portuários, onde é acumulado até que uma quantidade significativa seja reunida. Isso assegura que o navio a ser embarcado seja carregado com a maior capacidade possível, aproveitando ao máximo sua capacidade de carga.

A formação de lote é uma estratégia logística que leva em consideração diversos fatores, incluindo o tempo de trânsito dos navios, a disponibilidade dos portos e a demanda do mercado. Ao esperar pela chegada do próximo navio a ser carregado, a usina pode coordenar o processo de formação de lote de maneira mais precisa, garantindo que a carga seja otimizada para atender às necessidades do transporte marítimo.

No estudo de caso em questão, o açúcar é transportado para o porto, onde é consolidado e preparado para embarque. A variável de capacidade de carregamento da usina (" β ") é um fator determinante na projeção de formação de lote de açúcar a ser enviada para o porto, considerando que a produção diária afeta a disponibilidade de produtos para envio. Outras três variáveis logísticas foram mapeadas neste fluxo final de processo na região portuária: recepção de açúcar; capacidade total de estocagem e embarque de açúcar denominados, respectivamente, por " \bar{U} "; " E_p " e " λ ". A Figura 10 representa de forma clara a participação das variáveis apontadas no fluxo operacional do terminal portuário.

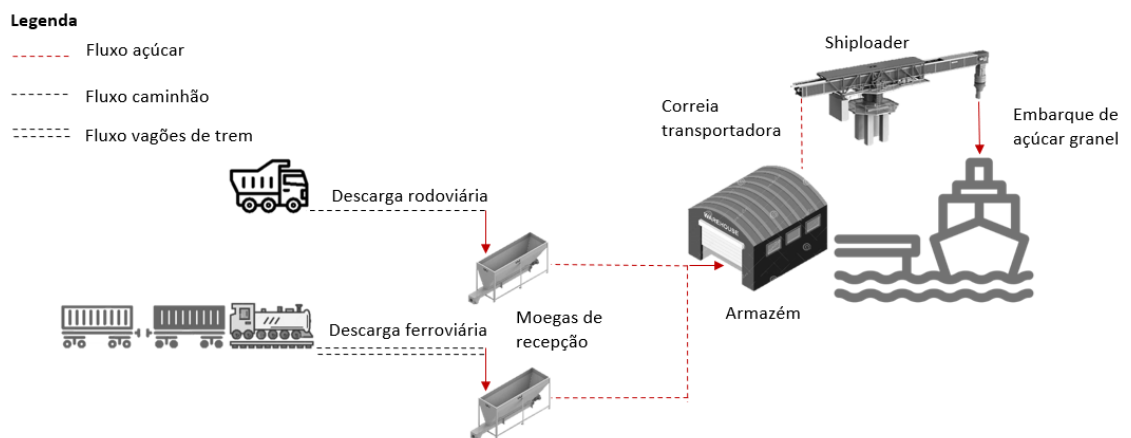
Figura 10 - Processo e parâmetros da cadeia de escoamento do açúcar no terminal portuário



Fonte: Elaboração própria.

Após todo o processo, o açúcar é carregado nos navios e segue para seu destino. A otimização desse processo é crucial para atender aos prazos de entrega, minimizando custos e garantindo a qualidade do produto. A Figura 11 aborda todo o detalhamento da recepção e elevação do açúcar bruto granel no terminal portuário.

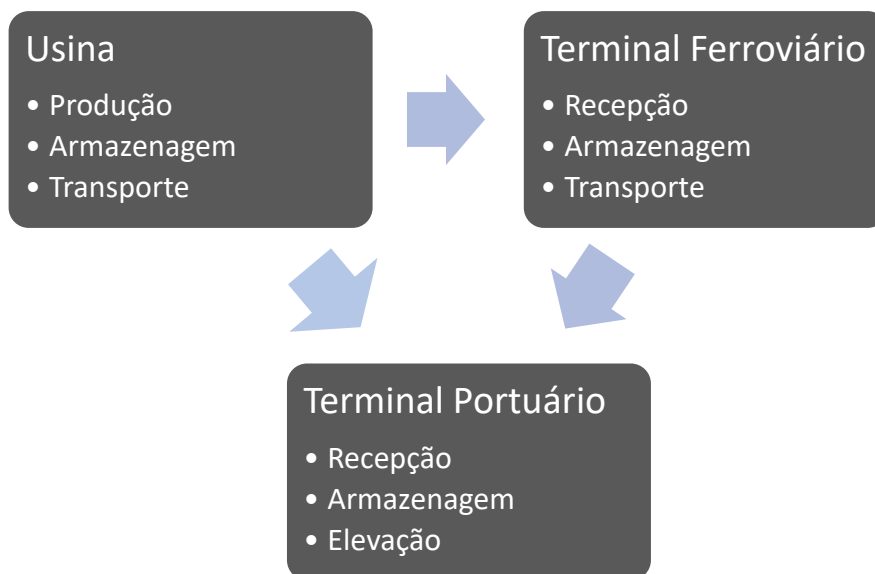
Figura 11 – Representação gráfica do fluxo de processos, referente à recepção e carregamento de açúcar granel nos terminais portuários.



Fonte: Elaboração própria

O fluxograma abaixo representa de forma resumida a cadeia logística da produção e escoamento do açúcar granel abordada nesse estudo de caso. Em cada caixa foi identificado a região operacional, bem como os parâmetros logísticos atrelados ao processo.

Fluxograma 1 – Processos e operações logísticas identificadas nos locais de atuação.



Fonte: Elaboração própria

4.3. ANÁLISE DE CUSTOS DA CADEIA TRANSPORTE DO AÇÚCAR GRANEL

A análise de custos desempenha um papel fundamental na avaliação da cadeia logística como um todo, especialmente quando se trata da estratégia de escoamento do açúcar granel adotada pela usina.

A cadeia logística da produção de açúcar é um sistema interligado de atividades que abrange desde a colheita da cana-de-açúcar até a entrega do açúcar granel no porto de destino.

No contexto da estratégia de formação de lote nos terminais de transbordo e portuários, a análise de custos é crucial para avaliar os benefícios financeiros dessa abordagem. Ao adiar a consolidação dos lotes até a chegada do próximo navio, a usina busca otimizar o uso da capacidade dos navios, reduzindo os custos de transporte por tonelada de açúcar. No entanto, essa decisão impacta a dinâmica de armazenamento, manuseio e outros aspectos logísticos, que precisam ser avaliados sob uma perspectiva financeira.

Ao introduzir a análise de custos na avaliação da cadeia logística, é possível identificar os *trade-offs* entre custo e eficiência, bem como a relação custo-benefício de diferentes estratégias. Portanto, a análise de custos não é apenas uma ferramenta, mas um guia essencial para otimizar a cadeia logística da usina referenciada no estudo de caso, levando em consideração o impacto financeiro de cada movimento ao longo do processo.

Seguindo a premissa do fluxo operacional abordado anteriormente, os custos logísticos foram levantados e classificados conforme informações expostas no Quadro 1.

No presente trabalho, para análise e discussão, será abordado os custos a partir da Usina até os terminais de embarques portuário.

Quadro 1 – Custos de produção, transporte e armazenagem identificados no fluxo logístico de produção e escoamento.

Variável	Custo Logístico	Logística
<i>C1</i>	Produção	Transformação da cana em açúcar
<i>C2</i>	Movimentação interna	Transferência de açúcar
<i>C3</i>	Armazenagem em Usina	Estoque de açúcar na usina
<i>C4</i>	Frete logístico - Usina x Transbordo Ferroviário	Transporte do açúcar
<i>C5</i>	Frete logístico - Usina x Terminal Portuário	Transporte do açúcar
<i>C6</i>	Armazenagem em Terminal ferroviário	Estoque de açúcar no terminal
<i>C7</i>	Frete logístico - Transbordo Ferroviário x Terminal Portuário	Transporte do açúcar
<i>C8</i>	Armazenagem Portuária	Estoque de açúcar no terminal
<i>C9</i>	Tarifa de elevação de açúcar	Embarque de açúcar
<i>Ct</i>	Custo total da cadeia	Operacionalização do escoamento

Fonte: Elaboração própria.

A análise de custos desempenha um papel crucial na avaliação da eficiência e viabilidade da cadeia logística de escoamento. Nesse contexto, diversas variáveis de custo devem ser consideradas para compreender o impacto financeiro das operações da usina. A seguir, serão descritas as variáveis de custo do processo, conforme apresentadas no quadro 1.

Os custos de produção envolvem gastos relacionados à atividade de processamento da cana-de-açúcar para obtenção de açúcar. Isso inclui despesas com mão de obra, insumos agrícolas, operação de maquinário, manutenção das instalações e outros custos diretos associados à logística de produção.

Os custos de armazenagem englobam as despesas relacionadas à estocagem temporária dos produtos, tanto na própria usina quanto em centros de armazenamento intermediários. Isso inclui aluguel ou manutenção de armazéns, despesas de manipulação de carga, segurança e outras despesas associadas.

Os custos de transporte compreendem os gastos associados à movimentação dos produtos da usina até os destinos, como portos ou centros de distribuição. Isso inclui despesas

com frete rodoviário, ferroviário ou fluvial, além de custos operacionais de veículos e equipamentos de transporte.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem como objetivo analisar e apresentar os resultados obtidos a partir da aplicação do estudo de caso na usina, abrangendo a complexidade das operações logísticas, os desafios enfrentados e as estratégias implementadas. Por meio da análise detalhada dos dados coletados e das informações obtidas junto à usina, buscou-se compreender como as práticas logísticas contribuem para a eficiência, viabilidade e competitividade do processo de escoamento do açúcar.

Para apresentação dos dados e análises, faz-se necessário recapitular as variáveis expostas no estudo de caso, são elas:

- α : Produção de açúcar da usina (tonelada/dia).
 - β : Carregamento de açúcar na usina (tonelada/dia).
 - μ : Recepção de volume rodoviário no terminal de transbordo (tonelada/dia)
 - ξ : Carregamento de açúcar no terminal de transbordo ferroviário (tonelada/dia).
 - Ω : Recepção de açúcar no porto (tonelada/dia).
 - λ : Elevação de açúcar para embarque no navio (tonelada/dia).
 - Et : Capacidade total de estocagem de açúcar na usina (tonelada).
 - Ed : Estocagem diária de açúcar na usina (tonelada).
 - Efr : Capacidade total de estocagem de açúcar no terminal de transbordo ferroviário (tonelada).
 - Ep Capacidade total de estocagem de açúcar no terminal portuário (tonelada).
 - $Ci(i=1,2,3,4,5,6,7,8,9)$: Custos da operação logística atrelada ao escoamento de açúcar.
- Para as tarifas de transporte, elevação e armazenagem, dentro do cenário de carga granel seca, os acordos são definidos pelo fator R\$/tonelada.
- Ct : Custo total do fluxo operacional.

A produção diária da usina é um indicador crítico da capacidade produtiva da usina, pois impacta diretamente os volumes a serem escoados e os recursos necessários para o processo de carregamento. A análise dessa variável permite avaliar a consistência da produção ao longo do

tempo, identificar possíveis gargalos e oportunidades para otimização, bem como entender como ela se relaciona com os demais parâmetros em análise.

Juntamente com a produção diária, o carregamento diário desempenha um papel essencial na fluidez da cadeia logística. Essa métrica está intrinsecamente ligada à capacidade operacional da usina em processar e movimentar o açúcar para as rotas de escoamento. Analisar o carregamento diário auxilia no entendimento se ele está alinhado com as metas de produção, se é suficiente para atender às demandas e se há espaço para melhorias no processo.

Por fim, o estoque total de açúcar granel, que representa a quantidade armazenada nas instalações da usina, é um indicador crítico da capacidade de resposta às variações de demanda e das estratégias de armazenamento adotadas. O estoque não apenas assegura um fluxo contínuo de açúcar para o escoamento, mas também permite uma gestão mais eficaz de situações de pico de demanda ou interrupções inesperadas. Analisar o estoque total permite avaliar a eficiência da gestão de inventário da usina e sua capacidade de manter um suprimento consistente para a distribuição. A equação que representa o valor de Ed pode ser dada por:

Equação 1 – Visão do estoque diário na usina:

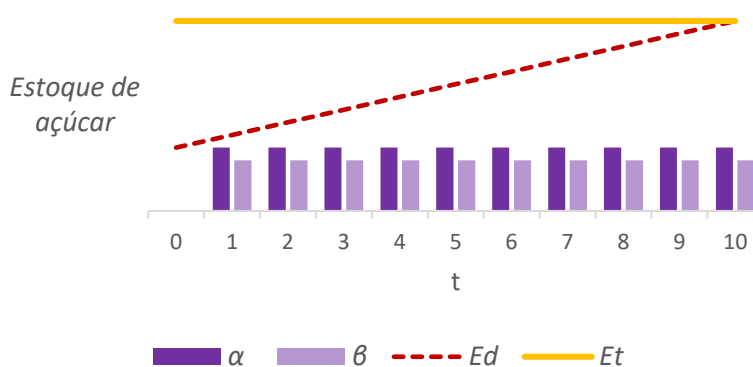
$$\sum Ed(t) = \sum \alpha(t) - \sum \beta(t). \text{ Sendo } Ed(t) \leq Et$$

Diante do exposto, os cenários de planos de escoamento e armazenagem podem seguir das seguintes formas:

- Cenário 1: $\alpha > \beta$ sendo $Ed(0) \geq \beta$ (1)

Aumento no parâmetro Ed ao fim da operação diária, referente ao número observado na abertura do dia. Com o passar do tempo (t) exemplificado no Gráfico 1, o valor máximo do estoque diário tenderá ao limite Et .

Gráfico 1: Projeção Cenário 1 de estoque x tempo (t) na usina

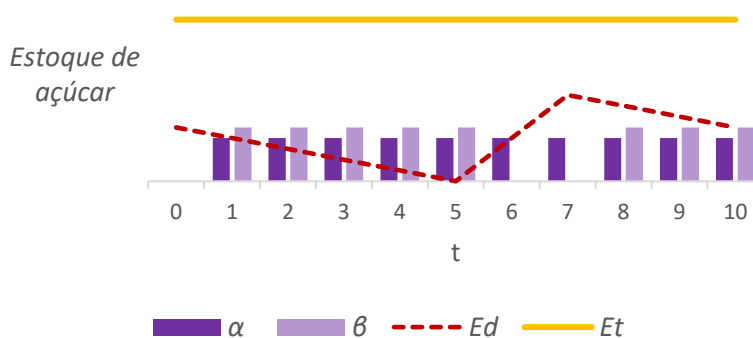


Fonte: Elaboração própria.

- Cenário 2: $\alpha < \beta$ sendo $Ed(0) \geq \beta(1)$

Diminuição no parâmetro Ed ao fim da operação diária, referente ao número observado na abertura do dia. Com o passar do tempo (t) exemplificado no Gráfico 2, o valor do estoque diário tenderá a zero ($t=5$). Quando esse cenário ocorre os carregamentos de açúcar são suspensos, até que seja formado um novo lote a ser carregado na unidade.

Gráfico 2: Projeção Cenário 2 de estoque x tempo (t) na usina



Fonte: Elaboração própria.

- Cenário 3: $\alpha = \beta$ sendo $Ed(0) \geq \beta(1)$

Constância no parâmetro Ed ao fim da operação diária, referente ao número observado na abertura do dia. Com o passar do tempo (t) exemplificado no Gráfico 3, o valor do estoque diário se manterá constante.

Gráfico 3: Projeção Cenário 3 de estoque x tempo (t) na usina.



Fonte: Elaboração própria.

Ao longo das safras, durante o período de produção e escoamento, a unidade tenderá a interagir com os três tipos de cenários apontados, até por que, os parâmetros α e β estão expostos

a oscilarem no dia a dia, visto que os meios que estão inseridos englobam uma série de fatores operacionais (disponibilidade de matéria prima e insumos em condições adequadas de utilização), sazonais (demandas de mercado, podendo oscilar e alterar as estratégias de quantidade escoada) e climáticos (chuvas ou tempo muito seco os quais podem interferir na qualidade da matéria-prima fornecida e processos operacionais internos) que podem apresentar dispersões frente ao planejamento inicial.

Os pontos extremos apontados nos cenários 1 ($t=10$) e 2 ($t=5$), quando $Ed=Et$ e $Ed=0$, respectivamente, demonstram a necessidade de um planejamento integrado entre produção, plano de armazenagem, plano de vendas e escoamento do produto para o destino.

Para o cenário 1 ($t=10$) corre-se o risco de parar a produção da unidade, visto que não teria espaço para escoar o produto produzido. A unidade teria que mudar seu mix da parcela de produção de açúcar para álcool, ou parar a produção de açúcar por alguns dias até que o escoamento do produto para fora da unidade abra espaço para a continuidade da produção.

Analisando o cenário 2 nota-se que, em $t=5$ temos $Ed=0$, este contexto relata que não há produto disponível para carregamento, logo o fluxo de escoamento para o destino é interrompido, podendo trazer custos vinculados a frota de veículos parada, sem produtividade operacional, interferindo no plano de formação de lote para atendimento do embarque de navios.

O contexto do cenário 3 indica o comportamento linear de escoamento e produção do açúcar granel na unidade. Dificilmente este cenário se manterá por muito tempo, devidos as oscilações do dia a dia no contexto operacional, entretanto, para uma análise de planejamento esse quadro se apresenta vantajoso para usinas que não possuem grande capacidade de estocagem, sendo obrigadas a escoar tudo o que produzem para não pararem sua linha produtiva, uma vez que não teriam fluxo para escoar o açúcar dos silos de produção.

A análise sobre o cenário interno da usina acaba se refletindo para os terminais de transbordo ferroviário e para os terminais portuários, seguindo o mesmo raciocínio lógico, se as entradas de produto forem maiores que as saídas, os estoques diários dos terminais tendem a aumentar, delimitando os sistemas a uma recepção máxima, a qual pode ser descrita pela capacidade total de estocagem dos terminais.

Para os terminais de transbordos ferroviários temos que:

Equação 2 – Limitação sistêmica de entradas e saídas de açúcar no terminal de transbordo ferroviário.

$$\sum_{t=0}^t \mu(t) - \epsilon(t) \leq Efr$$

Onde “ μ ” segue sendo o parâmetro de recepção no transbordo e “ ϵ ” o de carregamento ferroviário, a somatória da diferença entre estes dois parâmetros, com o passar dos dias (t), sempre estará limitada a capacidade máxima de estocagem do terminal ferroviário.

Para os terminais portuários temos que:

Equação 3 – Limitação sistêmica de entradas e saídas de açúcar no terminal portuário.

$$\sum_{t=0}^t U(t) - \lambda(t) \leq Ep$$

Onde “ U ” segue sendo o parâmetro de recepção no terminal portuário e “ λ ” o de elevação de açúcar, a somatória da diferença entre estes dois parâmetros, com o passar dos dias (t), sempre estará limitada a capacidade máxima de estocagem do terminal portuário.

Migrando a análise para o cenário de custos, faz-se necessário entender de forma clara o peso de cada fator no contexto geral da logística operacional de escoamento do açúcar granel, os custos serão descritos pela ordem que eles se apresentam em cada etapa da cadeia logística de escoamento.

Os parâmetros de custos atrelados a logística de escoamento do produto, se apresentam na unidade de medida “R\$/ton”, sendo assim, é possível mapear quanto cada etapa da cadeia logística custa na tonelada final do produto vendido.

Tomando como base o ponto inicial a usina sucroalcooleira apresentada no estudo de caso, os primeiros custos apresentados em nosso cenário ($C1$ e $C2$), são classificados como um custo operacional atrelado aos processos internos de produção, movimentação de matéria-prima e produto acabado ao longo do processo de obtenção do açúcar granel. Este parâmetro está atrelado diretamente ao gasto energético, com esteiras transportadoras e veículos de movimentação interna de cana-de-açúcar e produto acabado, os quais transportam o açúcar de um ponto para outro, otimizando a linha de produção e armazenagem total do produto.

O custo denominado $C3$, refere-se ao parâmetro de estocagem do açúcar granel na unidade, na identificação dos componentes de custo de armazenagem, destacam-se diversos elementos que compõem esse fator econômico. Inclui-se despesas como aluguel ou manutenção de armazéns, custos de energia, mão-de-obra para operações de armazenagem, seguros e,

indiretamente temos o custo de produto parado, o qual poderia estar sendo embarcado nos navios e vendido para o mercado, porém este custo se apresenta de forma subjetiva frente ao cenário total, uma vez que a decisão de estocar o produto se apresenta dentro da proposta de vende-lo em uma melhor oportunidade, com melhores margens de lucro.

Seguindo o fluxo operacional de escoamento do açúcar, *C4* (operação rodoviária) se apresenta neste cenário de estudo, como o custo do frete logístico referente a rota de carregamento com origem na usina e destino ao terminal de transbordo ferroviário, este valor de frete (R\$/ton) está atrelado a uma precificação de raio (km) curto, quando comparado a *C5* (operação rodoviária), o qual se apresenta como o valor do frete logístico de transporte, para a rota com origem dos carregamentos na usina e destino final terminal portuário, com a configuração de um raio de deslocamento maior que o apresentado em *C4*.

C7 (operação ferroviária) é representado nesta análise como, o custo do frete logístico ferroviário, com origem dos carregamentos no terminal de transbordo com destino a região portuária.

Para uma análise direta dos custos atrelados aos fretes logísticos de transporte de açúcar, pode-se dizer que a operação da multimodalidade, torna-se rentável no momento que:

$$C4 + C7 \leq C5$$

Entretanto, para a análise referente ao planejamento integrado, o custo *C6* se apresenta no cenário do fluxo do transporte via ferrovia, como o custo de armazenagem do açúcar no terminal de transbordo ferroviário. Deve-se atentar ao ponto que os custos *C6* e *C7* não estão obrigatoriamente amarrados nas negociações de contrato e valores, pois, em alguns casos o operador logístico da ferrovia não é o mesmo proprietário do terminal de transbordo ferroviário. *C6* engloba todas as operações logísticas realizadas pelo terminal de transbordo ferroviário (recepção, armazenagem e expedição).

Para os custos atrelados a operação no terminal portuário, foram observados os parâmetros *C8* (recepção e armazenagem portuária) e *C9* (tarifa de elevação de açúcar embarcado), estes estão diretamente atrelados aos contratos e negociações realizadas com os operadores logísticos portuários, responsáveis por recepcionar, armazenar e embarcar o açúcar granel escoado na operação de formação de lote.

De forma geral a análise de custos frente aos parâmetros operacionais, revela a necessidade de negociações assertivas quanto aos preços de tarifa de transporte, prestação de serviços e armazenagem total, estas negociações são realizadas entre os operadores logísticos rodoviário, operadores logísticos ferroviário, terminais de transbordo ferroviário e os terminais

portuários, cada “R\$/ton” economizado nas etapas de escoamento, reflete diretamente no custo total atrelado no açúcar escoado da usina até seu destino final, nas regiões portuárias.

O Quadro 2 exposto abaixo, aborda a correlação entre as variáveis operacionais e dos custos atrelados a elas, dentro do estudo de caso proposto.

Quadro 2 – Análise de correlação entre as variáveis operacionais e financeiras do fluxo de escoamento do açúcar granel

Correlação de parâmetros		
Custo operacional	Variável operacional	Descrição
C1	α	Custo de produção
C2	α	Custo de movimentação da produção
C3	E_t e E_d	Custo de armazenagem usina
C4	β	Custo frete logístico - Usina x Terminal ferroviário
C5	β	Custo frete logístico - Usina x Terminal portuário
C6	μ e E_{fr}	Custo de recepção e armazenagem no terminal ferroviário
C7	ϵ	Custo frete logístico - Terminal ferroviário x Terminal portuário
C8	\bar{U} e E_p	Custo de recepção e armazenagem no Terminal portuário
C9	λ	Custo de elevação de embarques

Fonte: Elaboração própria.

Após todo desdobramento e análises, conclui-se que, o Custo Total (C_t) da operação de escoamento logístico do açúcar granel, desde sua origem na produção até os porões dos navios, pode ser representado por:

$$C_t = \sum_{t=0}^t (C1 + C2) * \alpha(t) + C3 + C4 * \beta(t) + C5 * \beta(t) + C6 + C7 \epsilon(t) + C8 + C9 * \lambda(t)$$

A análise e discussão dos resultados proporcionaram uma compreensão profunda da dinâmica da cadeia logística de escoamento do açúcar na usina abordada neste estudo de caso. Ao longo dessa etapa, foram explorados cada componente, desde a estratégia de escoamento até os custos de armazenagem, com o objetivo de identificar insights relevantes e embasar decisões futuras. Os resultados obtidos não apenas forneceram uma visão crítica das operações

logísticas, mas também ofereceram uma base sólida para aprimorar a eficiência e a eficácia dos processos.

A abordagem dos custos envolvidos em cada etapa da cadeia logística, proporcionou observar como as diferentes estratégias de escoamento impactam diretamente os gastos associados, incluindo os custos de transporte, armazenagem e manuseio. Através da análise comparativa entre diferentes cenários, vale destacar as variações de cada abordagem e sua relação com os resultados financeiros globais da usina.

Foram identificados padrões e tendências que não apenas influenciam os aspectos financeiros, mas também afetam a flexibilidade operacional e a capacidade de resposta da usina às demandas do mercado. Compreender como a produção, o armazenamento e a distribuição se entrelaçam nos permitiu explorar oportunidades estratégicas para otimização e inovação.

Por último, a análise e discussão dos resultados representam mais do que um mero exame de números; elas constituem um guia para a tomada de decisões informadas e para o aprimoramento contínuo. Ao combinar-se a riqueza dos dados coletados com uma abordagem estratégica, mais bem equipados para enfrentar os desafios futuros e atingir nossos objetivos com excelência.

5. CONCLUSÃO

A jornada de investigação e análise empreendida neste estudo de caso proporcionou uma compreensão profunda e abrangente da teia logística que envolve o escoamento do açúcar na usina. Por meio de uma análise meticulosa e da discussão dos resultados obtidos, emergiram insights valiosos que não apenas iluminam os desafios e as oportunidades presentes, mas também apontam para direções estratégicas que podem moldar o futuro da usina de maneira mais eficaz e eficiente.

A análise inicial da estratégia de escoamento delineou a influência direta da localização geográfica, capacidade de armazenagem e infraestrutura logística na eficiência do processo. Ficou claro que as decisões relacionadas ao transporte, armazenagem e distribuição do açúcar têm um impacto direto nos custos operacionais, na flexibilidade da cadeia logística e na capacidade de se adaptar às flutuações do mercado.

A exploração detalhada do Proálcool revelou sua contribuição inestimável para o desenvolvimento da malha logística do agronegócio brasileiro. Através do investimento em infraestrutura e tecnologia, o programa impulsionou a otimização do transporte, beneficiando não apenas o setor sucroalcooleiro, mas também a economia nacional como um todo.

Ao abordar a caracterização do setor sucroenergético brasileiro, visualizou-se a complexa interconexão de variáveis que influenciam a produção, área plantada e produtividade do açúcar e do álcool. A análise dos dados da CONAB (2023) proporcionou um panorama abrangente das tendências e variações no cenário nacional, enriquecendo nossa compreensão das dinâmicas do setor.

Aprofundando na análise da cadeia de produção do açúcar, foram expostas as etapas que vão desde a colheita da cana-de-açúcar até a obtenção do produto e seu destino. Ao visualizar o fluxo de produção, tornou-se evidente que cada estágio é interligado e qualquer otimização nessa cadeia tem o potencial de impactar positivamente o desempenho geral da usina.

A descrição da estrutura de escoamento do agronegócio brasileiro reforçou a importância da intermodalidade, ressaltando a necessidade de uma rede eficiente e integrada que conecte as diferentes etapas da cadeia. As ferrovias, rodovias e hidrovias desempenham papéis complementares para garantir que o produto alcance seu destino com eficiência.

O estudo de caso da usina proporcionou uma visão detalhada de suas operações, estratégias de escoamento e i. A análise da estratégia de formação de lote nos terminais de transbordo e portuários revelou os desafios e benefícios dessa abordagem.

O exame das estratégias de escoamento através de terminais de transbordo ferroviário e do transporte direto por caminhões até a região portuária proporcionou um entendimento abrangente das implicações financeiras e operacionais de cada abordagem.

A análise de custos, com foco no custo de armazenagem, ofereceu uma visão crítica sobre como as decisões em relação à estocagem afetam os resultados financeiros e operacionais. Foram identificadas as áreas para otimização e oportunidades de redução de gastos, ressaltando a importância de tomar decisões informadas e estratégicas.

Ao encerrar esta análise e discussão dos resultados, reforça-se a importância de uma abordagem holística para a gestão da cadeia logística. Os insights obtidos não apenas fornecem uma visão mais profunda das operações da usina, mas também oferecem um roteiro para impulsionar a eficiência, a sustentabilidade e a excelência operacional em nossos esforços futuros.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. **Informações gerenciais dezembro 2018**. 2019a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents>. Acesso em: 25 maio 2022.
- ANGELO, J. A.; GHOBIL, C. N.; OLIVEIRA, M. D. M. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 18, n. 7, p. 1-17, jul. 2023. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=16152>. Acesso em: 12 agosto. 2023.
- BIODIESELBR. **Programa Brasileiro de Álcool**. 2006. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2023
- CBIE Centro Brasileiro de Infraestrutura – **Como ocorre a Produção Industrial de Álcool / Etanol**. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/como-ocorre-a-producao-industrial-de-alcool-etanol>. Acesso em: 20 agosto 2023.
- CEISE BR; ÚNICA; COGEN; ABRACEEL. **A bioeletricidade da cana e o mercado livre de energia elétrica no Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.ceisebr.com/conteudo/cartilha-abioeletricidade-da-cana-e-o-mercado-livre-de-energia-eletrica-no-brasil.html>. Acesso em: 25 maio 2022.
- CERVO, Amado L; BERVIAN, Pedro A; DA SILVA, Roberto. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- CONAB. **Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil**. Edição para Safra 2014/15 - n. 4 -Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/perfil-do-setor-sucroalcooleiro>. Acesso em: 10 agosto 2023.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. v. 7 - Safra 2020/21 - n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, maio de 2021. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 10 agosto 2023.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. v. 8 - Safra 2021/22 - n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, abril de 2022. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 10 agosto 2023.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 10 - Safra 2022/23, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, abril de 2023. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 10 agosto 2023.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 11 - Safra 2022/23, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, agosto de 2023. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 20 agosto 2023.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O mundo rural do Brasil no século 21**. Brasília, 2014.

EPE Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2023**: Ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Renovabio: **Biocombustíveis 2030. Nota técnica: Novos Combustíveis**. 2017c. Disponível em < <http://epe.gov.br/>>. Acesso em: 10 maio 2023.

FLEURY, P. F. **A logística brasileira em perspectiva**. In: FLEURY, P. F.; WANKE, P. F.; FIGUEIREDO, K. F. (Org.). Logística empresarial: a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas, 2000. 376 p.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

NOVACANA. **Levantamento de dados do Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023** Disponível em: <https://www.novacana.com/data/planilha/exportacao-brasileira-de-acucar/>. Acesso em: 20 agosto. 2023.

NOVACANA. **A cana-de-açúcar como fonte de energia elétrica**. 2017a. Disponível em: <https://www.novacana.com/estudos/a-cana-de-acucar-como-fonte-de-energia-eletrica241013/>. Acesso em: 25 maio 2022.

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 7. Ed. Petrópolis. RJ: Vozes, 2018.

RODRIGUES, B.R. **Estoques Reguladores de Etanol Combustível Frente à Introdução dos Veículos Flex Fuel na Frota Nacional**. 2012. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/bruna_rodrigues.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2023

SCANDIFFIO, M. I. G. **Análise Prospectiva do Álcool Combustível no Brasil – Cenários 2004-2024**. 2005. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) –Departamento de Engenharia de Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/images/infosucro/biblioteca/alc_Scandiffio_ProspectivaAlcool.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2023.

SOUZA, R. R. de. Panorama, **Oportunidades e Desafios para o Mercado Mundial de Álcool Automotivo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/souza_2006_dissertacao1_000fjk96bn402wyiv80sq98yq18xekhe.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2023.