

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS RIO VERDE
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MONITORAMENTO DE QUALIDADE E OTIMIZAÇÃO DE INSUMOS NA
PRODUÇÃO DE BIODIESEL: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA

LEONARDO RODRIGUES

RIO VERDE, GO
2026

LEONARDO RODRIGUES

**MONITORAMENTO DE QUALIDADE E OTIMIZAÇÃO DE INSUMOS NA
PRODUÇÃO DE BIODIESEL: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Wesley Renato Viali

RIO VERDE, GO
2026

*Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi*

R696m

Rodrigues, Leonardo

MONITORAMENTO DE QUALIDADE E OTIMIZAÇÃO DE INSUMOS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL:
UM RELATO DE EXPERIÊNCIA / Leonardo Rodrigues. Rio Verde 2026.

34f. il.

Orientador: Prof. Dr. Wesley Renato Viali.

Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220354 - Bacharelado em Engenharia Química - Integral -
Rio Verde (Campus Rio Verde).

I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local

/ /
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 54/2026 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 04 dias do mês de agosto de 2026, às 16 horas e 40 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Prof. Dr. Wesley Renato Viali (orientador), Prof. Dr. Rogério Favareto (membro), Profa. Dra. Eloiza da Silva Nunes Viali, para examinar o Trabalho de Curso intitulado “MONITORAMENTO DE QUALIDADE E OTIMIZAÇÃO DE INSUMOS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA” do estudante Leonadro Rodrigues, Matrícula nº 2021102203540312 do Curso de Bacharelado em Engenharia Química do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Wesley Renato Viali
Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Rogério Favareto
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Profa. Dra. Eloiza da Silva Nunes Viali
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Wesley Renato Viali**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 04/08/2026 17:58:40.
- **Eloiza da Silva Nunes Viali**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 04/08/2026 18:00:05.
- **Rogério Favareto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 04/08/2026 18:01:44.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 03/08/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 844262

Código de Autenticação: ba0329775a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

RESUMO

Este trabalho apresenta um relato de experiência profissional desenvolvido em uma usina de biodiesel localizada no sudoeste de Goiás, com o objetivo de relacionar as atividades de análise de resultados laboratoriais e de proposição de melhorias de processo com os fundamentos teóricos da Engenharia Química. O trabalho contextualiza o cenário do biodiesel no Brasil e em Goiás, discute os fundamentos da reação de transesterificação e dos principais parâmetros de controle de qualidade do biodiesel — como teor de água e estabilidade oxidativa —, e apresenta três casos concretos vivenciados pelo autor: a redução do consumo de aditivo antioxidante a partir do monitoramento da estabilidade oxidativa; o ajuste da dosagem de ácido cítrico no pré-tratamento do óleo em função do teor de fosfolipídeos da matéria-prima, visando evitar o consumo excessivo de metilato; e a substituição emergencial do ácido clorídrico por ácido cítrico na cisão da glicerina, em razão de uma escassez desse insumo no mercado nacional. Os resultados evidenciam que decisões de otimização de processo, quando fundamentadas na análise sistemática de dados de qualidade, podem gerar economia de insumos sem prejuízo à conformidade regulatória, e que a atuação do engenheiro químico na indústria também exige capacidade de resposta a fatores externos, como a volatilidade do mercado de insumos. Conclui-se que a experiência relatada contribuiu significativamente para a formação técnica do autor, evidenciando a aplicação prática de conceitos de cinética de reação, balanço de massa e controle estatístico de processo na rotina de uma usina de biodiesel.

Palavras-chave: Biodiesel; Controle de qualidade; Engenharia Química; Otimização de processos; Transesterificação.

ABSTRACT

This work presents a professional experience report developed at a biodiesel plant located in the southwest of the state of Goiás, Brazil, aiming to relate the activities of analyzing laboratory results and proposing process improvements to the theoretical foundations of Chemical Engineering. The work contextualizes the biodiesel scenario in Brazil and in Goiás, discusses the fundamentals of the transesterification reaction and the main biodiesel quality control parameters — such as water content and oxidative stability —, and presents three concrete cases experienced by the author: the reduction of antioxidant consumption based on the monitoring of oxidative stability; the adjustment of citric acid dosage in oil pretreatment according to the raw material's phospholipid content, aiming to prevent excessive methylate consumption; and the emergency replacement of hydrochloric acid with citric acid in glycerin splitting, due to a shortage of this input in the domestic market. The results show that process optimization decisions, when based on the systematic analysis of quality data, can generate input savings without compromising regulatory compliance, and that the chemical engineer's role in industry also requires the ability to respond to external factors, such as the volatility of the input market. It is concluded that the reported experience contributed significantly to the author's technical education, evidencing the practical application of reaction kinetics, mass balance and statistical process control concepts in the daily routine of a biodiesel plant

Keywords: Biodiesel; Chemical Engineering; Process optimization; Quality control; Transesterification.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 O biodiesel no cenário energético brasileiro.....	8
1.2 A soja como matéria-prima do biodiesel brasileiro.....	9
1.3 O biodiesel em Goiás.....	11
1.4 Apresentação da atividade desenvolvida pelo autor.....	12
1.5 Justificativa.....	12
1.6 Problema de pesquisa.....	12
1.7 Estrutura do trabalho.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 O biodiesel: definição, histórico e matérias-primas.....	15
3.2 Processo de produção via transesterificação.....	15
3.3 Controle de qualidade do biodiesel.....	19
3.4 Relação entre dosagem de insumos e qualidade final.....	20
3.5 Controle estatístico de processo e uso de dados históricos.....	20
3.6 Logística e expedição de produtos.....	20
4 METODOLOGIA.....	22
4.1 Natureza do trabalho.....	22
4.2 Caracterização da usina e do setor de atuação.....	22
4.3 Período e forma de coleta das informações.....	22
4.4 Instrumentos utilizados.....	22
4.5 Critérios éticos e de confidencialidade.....	23
5 RELATO DA EXPERIÊNCIA.....	24
5.1 Rotina de análise dos resultados do laboratório.....	24
5.2 Casos de melhoria a partir da análise de dados.....	24
5.3 Garantia de qualidade na expedição do produto.....	27
5.4 Discussão geral.....	28
5.5 Dificuldades encontradas.....	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
6.1 Retomada dos objetivos e principais aprendizados.....	30
6.2 Contribuições da experiência para a formação do autor.....	30
6.3 Sugestões de melhorias futuras.....	31
6.4 Limitações do relato.....	31
6.5 Considerações sobre a relevância do tema para o setor de biodiesel.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 O biodiesel no cenário energético brasileiro

O biodiesel é um biocombustível renovável, produzido principalmente a partir de óleos vegetais e gorduras animais por meio da reação de transesterificação, podendo substituir total ou parcialmente o óleo diesel de origem fóssil em motores do ciclo diesel. No Brasil, sua trajetória como política pública teve início com o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2004, que buscava associar a redução das emissões de poluentes a um componente social, voltado à inclusão da agricultura familiar na cadeia produtiva.

A obrigatoriedade da mistura do biodiesel ao diesel fóssil foi instituída pela Lei nº 11.097/2005 e, em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2) em todo o território nacional (BRASIL, 2026a). Desde então, o percentual foi ampliado sucessivas vezes pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), em processo marcado por avanços e recuos conforme mudanças de governo e pressões de diferentes setores econômicos. Em abril de 2023, a mistura passou de 10% para 12% (AGÊNCIA BRASIL, 2023) e, mais recentemente, avançou para 14% em março de 2024, chegando ao patamar vigente de 15% (B15) a partir de 1º de agosto de 2025 (BRASIL, 2026a). O avanço para os patamares atuais está amparado pela chamada Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024), que prevê elevação gradual e condicionada à comprovação de viabilidade técnica, com possibilidade de o teor chegar a 20% até 2030 (BRASIL, 2024b). A discussão sobre um novo aumento, para 16% (B16), já está em pauta, mas depende da conclusão de testes técnicos e de deliberação do CNPE, não havendo cronograma definitivo para sua entrada em vigor (BRASIL, 2026).

Esse movimento de ampliação constante da mistura obrigatória tem impacto direto sobre a indústria produtora: mais volume demandado significa maior pressão sobre a eficiência dos processos produtivos e sobre a garantia de conformidade da qualidade do biodiesel com as especificações técnicas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), atualmente definidas pela Resolução ANP nº 920/2023 (BRASIL, 2026a).

Esse avanço regulatório se reflete diretamente nos volumes produzidos: a produção nacional de biodiesel saiu de 3,4 bilhões de litros em 2014 para 7,3 bilhões de litros em 2023, um crescimento superior a 100% em uma década, conforme ilustra a Figura 1 (HONÓRIO, 2024; BRASIL, 2024a).

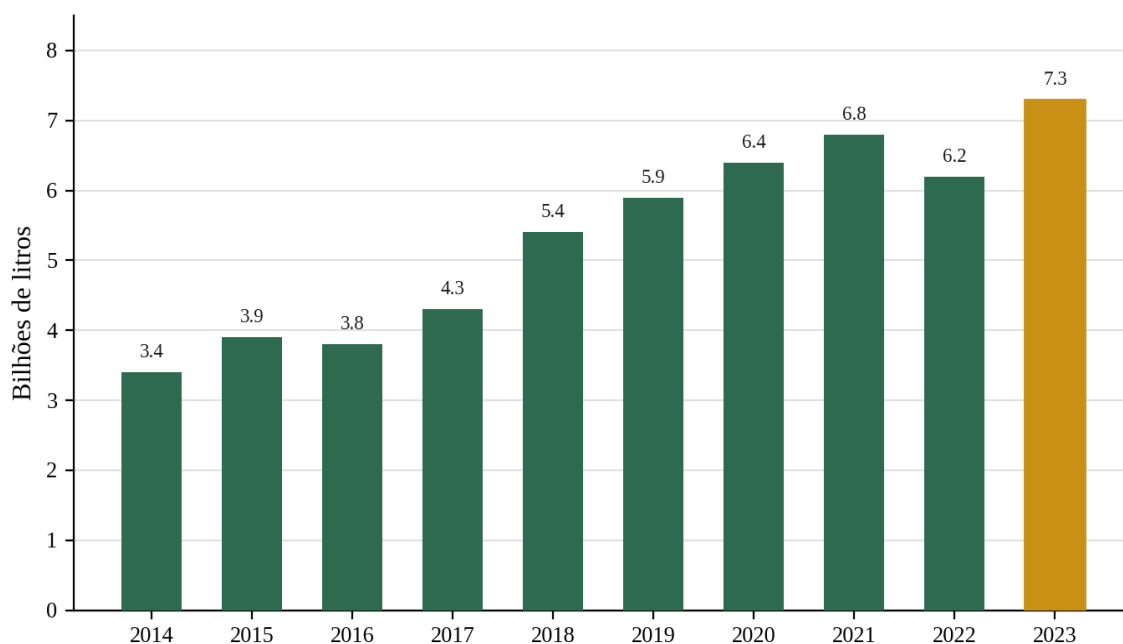


Figura 1 – Produção anual de biodiesel no Brasil (2014-2023)

Fonte: adaptado de Honório (2024).

De forma simplificada, a produção industrial de biodiesel compreende um encadeamento de etapas que vai muito além da reação química central. O óleo bruto passa inicialmente por uma etapa de pré-tratamento, na qual impurezas naturalmente presentes na matéria-prima — como fosfolipídeos, no caso do óleo de soja — são removidas para não comprometer as etapas seguintes. Em seguida, ocorre a etapa de transesterificação propriamente dita, na qual o óleo tratado reage com o álcool na presença de um catalisador, dando origem ao biodiesel e à glicerina. Após a reação, o processo segue com a separação e a destilação da glicerina, que é purificada para posterior comercialização, e com a recuperação do metanol excedente que não reagiu, o qual é reaproveitado no próprio processo por razões econômicas e ambientais. Por fim, o biodiesel passa ainda por etapas de lavagem e secagem antes de seguir para a expedição. Cada uma dessas etapas — pré-tratamento, transesterificação, destilação da glicerina e recuperação do metanol — constitui um ponto de controle relevante para a qualidade final do produto, sendo retomadas com maior profundidade na Fundamentação Teórica e no relato da experiência apresentados neste trabalho.

1.2 A soja como matéria-prima do biodiesel brasileiro

A expansão da produção de biodiesel no Brasil está intimamente ligada à cadeia produtiva da soja. O óleo de soja é hoje a principal matéria-prima do setor, respondendo por

cerca de 74% de todo o biodiesel produzido no país em 2024, segundo dados da ANP (TEMPO.COM, 2026; EMBRAPA, 2025). Essa predominância se explica pela robustez e pela escala da cadeia produtiva da soja no Brasil, hoje o maior produtor mundial da oleaginosa, responsável por aproximadamente 40% de toda a produção global do grão (MOODY'S LOCAL, 2025).

Em levantamento referente a 2023, o óleo de soja já respondia por 64,1% da matéria-prima consumida na produção nacional de biodiesel, seguido pela gordura bovina (9,6%), pelo óleo de palma (1,8%) e por outras fontes (27,5%), conforme apresentado na Figura 2 (HONÓRIO, 2024).

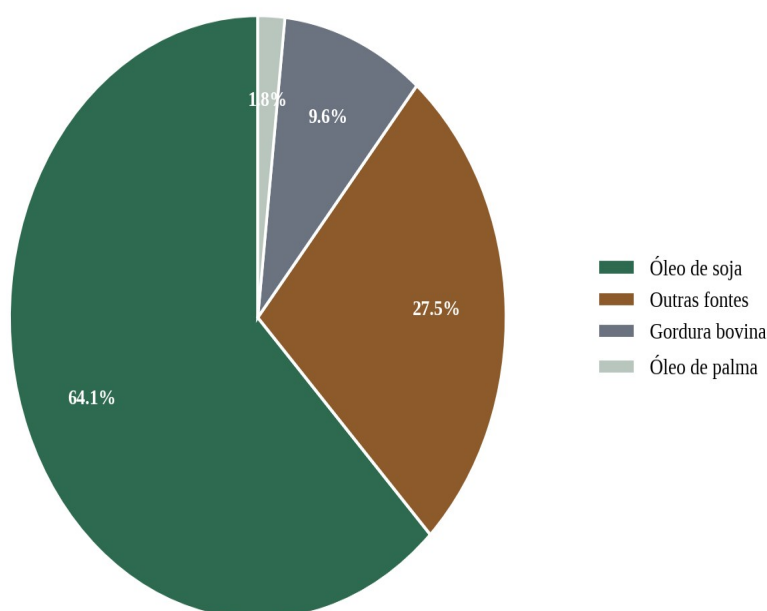


Figura 2 – Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil (2023)

Fonte: adaptado de Honório (2024), com base em dados da ANP.

Essa relação entre a soja e o biodiesel vai além do fornecimento da matéria-prima bruta: parte relevante da indústria de biodiesel no Brasil está verticalizada com o processamento primário da soja, ou seja, com o esmagamento do grão para obtenção do óleo e do farelo. Esse é o caso de diversas usinas do setor — incluindo a usina em que a experiência relatada neste trabalho foi desenvolvida —, que contam com plantas de esmagamento próprias como fonte do óleo utilizado na produção do biodiesel. Essa verticalização aproxima a etapa industrial de produção do biodiesel das etapas anteriores da cadeia agroindustrial da soja, o que faz com que variações na qualidade do grão e do processo de esmagamento — como o teor de fosfolipídeos presentes no óleo bruto — impactem diretamente as etapas subsequentes

de tratamento e transesterificação, tema que será retomado na Fundamentação Teórica e no relato da experiência propriamente dito.

Vale destacar, ainda, que a cadeia da soja aplicada ao biodiesel gera benefícios que ultrapassam o setor energético: o farelo de soja, coproduto do esmagamento realizado para a obtenção do óleo, é amplamente utilizado como insumo para a alimentação animal, contribuindo para a redução de custos da cadeia de proteína animal no Brasil (CNA, 2026). Cerca de 74 mil famílias produtoras fornecem matéria-prima para a cadeia do biodiesel no país, o que confere à atividade também uma dimensão social relevante (CNA, 2026). Por outro lado, essa forte dependência da soja como matéria-prima também representa um ponto de atenção para o setor, uma vez que oscilações no preço internacional do grão, na cotação do dólar e nas condições climáticas de cada safra podem impactar diretamente os custos de produção das usinas (BIODIESELBRASIL.COM, 2025).

1.3 O biodiesel em Goiás

Nesse contexto nacional, Goiás ocupa posição de destaque. O estado se consolidou como um dos principais polos produtores do país, tendo se tornado o segundo maior produtor nacional de biodiesel em 2022, com produção de 1,1 bilhão de litros — o equivalente a 17,7% de todo o volume produzido no Brasil —, mesmo operando com apenas parte de sua capacidade instalada. Nesse mesmo ano, o estado contava com nove unidades produtoras em operação, somando capacidade instalada de 2,2 bilhões de litros, e registrou crescimento acumulado de 83% na produção entre 2012 e 2022 (O POPULAR, 2023).

Dados mais recentes reforçam essa relevância regional: em abril de 2025, a produção de biodiesel em Goiás cresceu 10% em relação ao mesmo mês do ano anterior, impulsionando o desempenho da região Centro-Oeste, que se destacou como a principal responsável pelo bom resultado nacional do setor naquele mês (BIODIESELBR.COM, 2025). A produção goiana está concentrada principalmente no aproveitamento do óleo de soja e da gordura animal, matérias-primas amplamente disponíveis na região em razão da forte presença do agronegócio e da pecuária, com unidades produtoras em municípios como Rio Verde e Anápolis (O POPULAR, 2023) e Formosa (BIODIESELBR.COM, 2026).

Esse cenário faz da experiência profissional relatada neste trabalho — desenvolvida em uma usina de biodiesel localizada em Goiás — particularmente relevante, uma vez que o estado figura entre os protagonistas nacionais da produção desse biocombustível e enfrenta, no dia a dia operacional, os desafios de acompanhar o crescimento da demanda com eficiência de processo e garantia de qualidade.

1.4 Apresentação da atividade desenvolvida pelo autor

No âmbito profissional que fundamenta este relato, o autor atua na interface entre o laboratório de controle de qualidade e o processo produtivo de uma usina de biodiesel. Sua atividade consiste em analisar os resultados gerados pelo laboratório — relativos a parâmetros como teor de água (umidade) e estabilidade oxidativa, entre outros indicadores de conformidade do produto — e, a partir dessa análise, propor pontos de melhoria no processo produtivo. Essas melhorias envolvem, principalmente, a otimização do consumo de insumos como ácido, utilizado em etapas de neutralização, e metilato, catalisador da reação de transesterificação, além do acompanhamento da qualidade do biodiesel até sua expedição.

Essa atuação coloca o autor em uma posição estratégica: não se trata apenas de operar o processo, mas de interpretar dados técnicos para embasar decisões que impactam simultaneamente a eficiência econômica, pela redução de insumos, e a conformidade regulatória, pela especificação da ANP, da produção.

1.5 Justificativa

A relevância deste trabalho se apoia em três pilares. Primeiro, o contexto setorial: com o aumento progressivo da mistura obrigatória de biodiesel ao diesel, cresce a pressão sobre as usinas para produzir mais e melhor, o que torna a otimização de insumos e o controle de qualidade temas centrais para a competitividade do setor. Segundo, o contexto regional: Goiás desempenha papel relevante nessa produção nacional, e relatos de experiência vindos de dentro de sua cadeia produtiva contribuem para a construção de conhecimento técnico aplicado à realidade do estado. Terceiro, o contexto formativo: a sistematização da experiência profissional em um relato estruturado permite ao autor consolidar, à luz da fundamentação teórica da engenharia química, aprendizados que muitas vezes permanecem tácitos na rotina operacional.

1.6 Problema de pesquisa

Diante do exposto, este trabalho busca responder à seguinte questão: como a análise sistemática dos parâmetros de qualidade do biodiesel, obtidos em laboratório, pode orientar a otimização do consumo de insumos no processo produtivo, garantindo, ao mesmo tempo, a conformidade do produto final com a especificação vigente da ANP?

1.7 Estrutura do trabalho

Além desta introdução, o trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta os objetivos geral e específicos do relato; o Capítulo 3 traz a fundamentação teórica sobre o processo de produção de biodiesel, os parâmetros de qualidade analisados e sua relação com o consumo de insumos; o Capítulo 4 descreve a metodologia adotada para a elaboração do relato; o Capítulo 5 apresenta a experiência propriamente dita, incluindo casos concretos de melhoria propostos a partir da análise de dados; e o Capítulo 6 traz as considerações finais, com os aprendizados e contribuições da experiência para a formação do autor como engenheiro químico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Relatar a experiência profissional do autor em uma usina de biodiesel, relacionando as atividades de análise de resultados laboratoriais e de proposição de melhorias de processo com os fundamentos teóricos da engenharia química, de modo a evidenciar, na prática cotidiana de trabalho, a aplicação de conceitos de processos industriais, controle de qualidade e otimização de insumos.

2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever as atividades desenvolvidas pelo autor na interface entre o laboratório de controle de qualidade e o processo produtivo da usina de biodiesel;
- b) Relacionar os parâmetros de qualidade monitorados na rotina de trabalho — como teor de água e estabilidade oxidativa — com os fundamentos teóricos da engenharia química associados à reação de transesterificação e ao controle de processos industriais;
- c) Identificar, a partir da experiência prática, oportunidades de otimização no consumo de insumos do processo, como ácido e metilato, com base na análise de dados de qualidade;
- d) Discutir a aplicação de conceitos de engenharia química — como balanço de massa, cinética de reação e controle estatístico de processo — na interpretação dos dados analisados na rotina profissional do autor;
- e) Refletir sobre as contribuições dessa experiência profissional para a formação do autor como engenheiro químico.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O biodiesel: definição, histórico e matérias-primas

O biodiesel é definido, para fins regulatórios, como um combustível composto por alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação ou esterificação de matérias graxas de origem vegetal ou animal (BRASIL, 2026b; KNOTHE et al., 2006). No Brasil, cerca de 70% do biodiesel produzido tem como matéria-prima o óleo de soja, em razão da grande disponibilidade dessa oleaginosa no território nacional e de sua produção em larga escala já consolidada para outros fins industriais e alimentícios. Além da soja, são utilizadas outras fontes, como sebo bovino, óleo de algodão, óleo de fritura residual e outras gorduras animais, sendo comum a diversificação da matéria-prima em usinas que buscam reduzir custos e mitigar riscos de fornecimento.

Essa diversidade de matérias-primas é especialmente relevante para a realidade das usinas goianas, que frequentemente combinam óleo de soja com gordura animal em razão da forte presença da pecuária na região, o que impacta diretamente as características físico-químicas do biodiesel produzido e, conseqüentemente, os parâmetros que devem ser monitorados no controle de qualidade.

3.2 Processo de produção via transesterificação

A transesterificação é a reação química predominante na produção industrial de biodiesel. Nela, um triglicerídeo (óleo vegetal ou gordura animal) reage com um álcool de cadeia curta, na presença de um catalisador, originando ésteres alquílicos (o biodiesel propriamente dito) e glicerina como coproduto. A reação ocorre em três etapas sequenciais e reversíveis, em que o triglicerídeo é convertido primeiro em diglicerídeo, depois em monoglicerídeo e, por fim, em glicerol livre, liberando uma molécula de éster a cada etapa, sendo a rota homogênea alcalina a mais amplamente empregada em escala industrial em razão de seu menor custo e maior velocidade de reação frente a outras alternativas catalíticas (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009). Industrialmente, esse processo é organizado em quatro grandes etapas de controle — pré-tratamento do óleo, reação de transesterificação, separação e destilação da glicerina e recuperação do metanol —, conforme sintetizado na Figura 3 e detalhadas nas subseções a seguir.

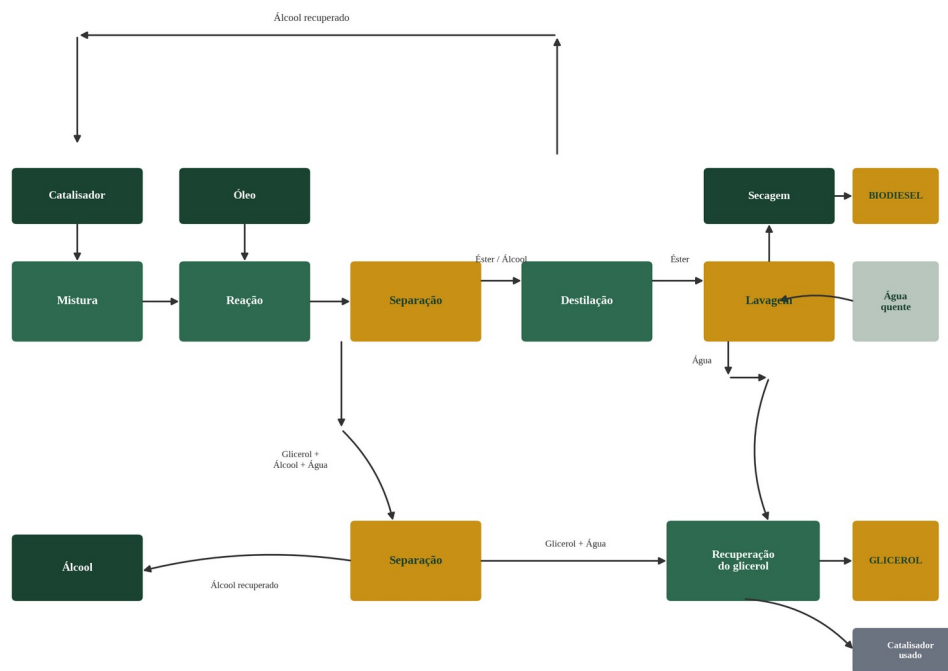


Figura 3 – Fluxograma simplificado do processo produtivo do biodiesel

Fonte: elaborado pelo autor.

3.2.1 Pré-tratamento do óleo (degomagem)

Antes de seguir para a etapa de transesterificação propriamente dita, o óleo bruto passa por uma etapa de pré-tratamento, também conhecida como degomagem, cujo principal objetivo é a remoção de fosfolipídeos e de outras impurezas naturalmente presentes no óleo vegetal. No caso do óleo de soja, os fosfolipídeos constituem uma classe de compostos que, quando não removidos adequadamente, tendem a formar géis e emulsões estáveis na presença de água, dificultando as etapas posteriores de processamento e reduzindo a eficiência da reação de transesterificação.

A tecnologia de degomagem ácida, amplamente empregada na indústria, consiste na adição de um ácido — comumente o ácido fosfórico ou o ácido cítrico — ao óleo bruto, promovendo a hidratação dos fosfolipídeos não hidratáveis e sua consequente precipitação, o que facilita sua remoção por centrifugação antes da etapa de reação (SCHUCK, 2004). Alternativamente, ou de forma complementar à degomagem ácida, algumas usinas empregam a degomagem enzimática, na qual uma fosfolipase específica — como a enzima comercial Lecitase Ultra — é adicionada ao óleo para hidrolisar os fosfolipídeos não hidratáveis, tornando-os mais facilmente removíveis por centrifugação, com a vantagem de reduzir a formação de efluentes ácidos e a perda de óleo neutro associada ao processo convencional. A eficiência dessa etapa, seja ela conduzida por via ácida ou enzimática, depende diretamente da dosagem do agente utilizado, que deve ser ajustada conforme o teor de fosfolipídeos

identificado em cada lote de óleo recebido — tema retomado com maior detalhe no relato da experiência apresentado no Capítulo 5.

3.2.2 Reação de transesterificação: rota metílica x etílica

A reação pode ser conduzida com metanol (rota metílica) ou etanol (rota etílica). A rota metílica é predominante na indústria brasileira e mundial por apresentar maior reatividade do álcool, menor custo do insumo e processo de separação de fases mais simples entre o biodiesel e a glicerina. A rota etílica, embora mais alinhada à matriz de biocombustíveis brasileira por utilizar o etanol nacional, encontra menor adoção industrial em razão da maior dificuldade de separação de fases e do maior consumo de álcool exigido pela reação. Em ambas as rotas, o álcool é adicionado em excesso em relação à proporção estequiométrica da reação, de modo a deslocar o equilíbrio químico no sentido da formação de ésteres — excesso esse que será posteriormente recuperado, conforme discutido na subseção 3.2.5.

3.2.3 Papel do catalisador (metilato de sódio/potássio)

O catalisador mais utilizado na rota metílica é o metilato de sódio (ou, em algumas usinas, o metilato de potássio), um catalisador básico homogêneo que acelera significativamente a velocidade da reação de transesterificação. A dosagem de metilato tem relação direta com a eficiência da conversão dos triglicerídeos em ésteres: dosagens insuficientes tendem a resultar em conversão incompleta, elevando o teor de mono, di e triglicerídeos residuais no produto final, o que compromete parâmetros como o teor de éster; já dosagens excessivas aumentam o custo do insumo e podem favorecer a formação de sabões, dificultando a separação da glicerina e aumentando a necessidade de lavagem e neutralização posteriores.

3.2.4 Etapas de neutralização e lavagem (papel do ácido)

Após a separação da glicerina, o biodiesel bruto ainda contém resíduos de catalisador, sabões formados durante a reação e traços de glicerina livre. A etapa de neutralização, realizada com adição de ácido (geralmente ácido fosfórico, cítrico ou clorídrico, a depender da tecnologia empregada pela usina), tem como objetivo neutralizar o catalisador residual e romper os sabões formados, facilitando sua remoção nas etapas subsequentes de lavagem. Não deve ser confundida com a etapa de pré-tratamento (degomagem) descrita na subseção 3.2.1: enquanto a degomagem atua sobre o óleo bruto, antes da reação, a neutralização atua sobre o biodiesel bruto, já após a transesterificação, com o objetivo de remover resíduos do

próprio processo reacional. A dosagem correta de ácido nesta etapa é determinante para a qualidade final: quantidade insuficiente pode deixar resíduos de sabão e catalisador no produto, afetando parâmetros como o índice de acidez e a massa específica; já o excesso de ácido eleva o custo do processo e pode gerar corrosão em equipamentos e efluentes mais difíceis de tratar.

3.2.5 Separação e destilação da glicerina

A glicerina bruta, coproduto da transesterificação, é inicialmente separada do biodiesel por diferença de densidade, decantando na parte inferior dos vasos de separação. Essa glicerina bruta ainda contém impurezas, como metanol residual, sabões, sais do catalisador neutralizado e água. Para reduzir o teor de sabões e favorecer a separação de fases, muitas usinas realizam uma etapa adicional de acidificação, conhecida como cisão da glicerina, na qual um ácido é adicionado para romper as emulsões formadas pelos sabões, liberando os ácidos graxos livres e facilitando a decantação. Após essa etapa, a glicerina é submetida a uma etapa de destilação, que eleva sua pureza a patamares comercializáveis. A glicerina destilada é utilizada por diversos setores industriais, como o cosmético, o farmacêutico e o de alimentos, agregando valor a um coproduto que, de outra forma, teria pouca aplicação comercial. A eficiência da etapa de separação de fases está diretamente relacionada à dosagem de catalisador e à formação de sabões discutida na subseção 3.2.3: quanto maior a formação de emulsões, mais complexa e onerosa se torna tanto a separação quanto a posterior destilação da glicerina.

3.2.6 Recuperação do metanol

Como discutido na subseção 3.2.2, a reação de transesterificação é conduzida com excesso de álcool em relação à proporção estequiométrica, o que faz com que uma fração significativa do metanol utilizado no processo não reaja e permaneça dissolvida tanto na fase de biodiesel quanto na fase de glicerina ao final da reação. Por se tratar de um insumo de custo elevado, e também por razões de segurança operacional — dado o caráter inflamável e tóxico do metanol —, esse excedente é recuperado por meio de colunas de destilação instaladas ao longo do processo, sendo posteriormente desidratado e reincorporado à alimentação de metanol da própria reação de transesterificação.

A eficiência da recuperação do metanol impacta diretamente o custo operacional da usina, uma vez que reduz a necessidade de aquisição de metanol novo no mercado. Essa eficiência está relacionada às condições de temperatura e pressão mantidas nas colunas de

destilação, bem como ao teor de água presente no metanol recuperado, que deve ser controlado para não comprometer a eficiência da reação de transesterificação em ciclos subsequentes de produção — reforçando, mais uma vez, a interdependência entre as diferentes etapas do processo produtivo do biodiesel.

3.3 Controle de qualidade do biodiesel

A comercialização do biodiesel no Brasil está condicionada ao atendimento da especificação técnica estabelecida pela ANP, atualmente disciplinada pela Resolução ANP nº 920, de 4 de abril de 2023, que define os parâmetros físico-químicos que devem ser monitorados pelos produtores e agentes de distribuição, bem como a periodicidade das análises (BRASIL, 2026b). Para além da exigência regulatória, a literatura científica reforça que o monitoramento desses parâmetros é determinante para a estabilidade e o desempenho do biodiesel ao longo de toda a cadeia de distribuição e uso, sendo a caracterização físico-química indispensável para garantir a qualidade do combustível desde a produção até o consumidor final (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

3.3.1 Teor de água

O teor de água é um dos parâmetros mais monitorados no controle de qualidade do biodiesel, pois sua presença favorece a hidrólise dos ésteres, elevando o índice de acidez do produto ao longo do tempo, além de facilitar a proliferação de microrganismos que degradam o combustível durante o armazenamento e criar condições propícias à corrosão de tanques e equipamentos. A especificação vigente estabelece um limite máximo de 200 mg/kg de água no biodiesel, sendo admitida uma variação de até 50 mg/kg para o produtor e de até 150 mg/kg para os agentes que realizam a mistura com o óleo diesel (BRASIL, 2026b).

3.3.2 Estabilidade oxidativa

A estabilidade oxidativa mede a resistência do biodiesel à degradação por oxidação quando exposto ao ar, à luz e a temperaturas elevadas durante o armazenamento e transporte. Ésteres metílicos derivados de óleos com maior grau de insaturação — como o óleo de soja — tendem a apresentar menor estabilidade oxidativa natural, o que torna a adição de aditivos antioxidantes obrigatória no Brasil desde setembro de 2019, independentemente da matéria-prima utilizada (BRASIL, 2026b). Atualmente, a especificação exige um mínimo de 13 horas de estabilidade à oxidação a 110°C, medida pelo método Rancimat (normas EN 14112 ou EN 15751), patamar superior ao adotado anteriormente (12 horas), com o objetivo de conferir

maior reserva oxidativa ao produto e reduzir os riscos de degradação ao longo de toda a cadeia de distribuição (BRASIL, 2026b).

3.3.3 Outros parâmetros relevantes

Além do teor de água e da estabilidade oxidativa, a especificação da ANP contempla outros parâmetros relevantes ao processo produtivo, como o índice de acidez (indicador indireto de hidrólise e oxidação), o teor de éster (indicador da eficiência da conversão na transesterificação), a glicerina livre e total (indicadores da eficiência da separação de fases) e a massa específica, todos monitorados rotineiramente pelo laboratório da usina para caracterização de cada batelada produzida.

3.4 Relação entre dosagem de insumos e qualidade final

A análise conjunta dos parâmetros de qualidade permite estabelecer relações de causa e efeito entre a dosagem de insumos e o desempenho do processo. Um teor de éster abaixo do especificado pode indicar dosagem insuficiente de metilato ou tempo de reação inadequado; um índice de acidez elevado pode apontar para neutralização incompleta, sinalizando necessidade de ajuste na dosagem de ácido; e uma estabilidade oxidativa próxima do limite mínimo pode indicar necessidade de revisão na dosagem do aditivo antioxidante ou nas condições de armazenamento do produto. É justamente nessa interpretação cruzada de dados — e não na leitura isolada de cada parâmetro — que reside a possibilidade de propor melhorias de processo com potencial de redução de custos sem comprometer a conformidade regulatória.

3.5 Controle estatístico de processo e uso de dados históricos

O acompanhamento de séries históricas de resultados laboratoriais, por meio de gráficos de tendência e cartas de controle, permite identificar desvios sistemáticos antes que ultrapassem os limites de especificação, antecipando ações corretivas. Essa abordagem, baseada em conceitos de controle estatístico de processo (CEP), é particularmente útil para embasar decisões de redução de insumos: ao invés de ajustes pontuais e reativos, o uso de dados históricos permite identificar margens de segurança reais entre o processo operado e os limites regulatórios, sustentando propostas de otimização com respaldo técnico.

3.6 Logística e expedição de produtos

A etapa de expedição encerra o ciclo de controle de qualidade na usina. Antes da liberação de cada batelada, é necessária a coleta de amostra representativa e a emissão do certificado da qualidade correspondente, documento que acompanha o produto e garante sua rastreabilidade ao longo da cadeia de distribuição. Os agentes responsáveis pela mistura do biodiesel ao óleo diesel também têm a obrigação de coletar amostras periódicas para verificação da estabilidade oxidativa, o que reforça a importância de o produto sair da usina com margem de segurança adequada em relação aos limites mínimos exigidos, e não apenas no limite estrito da especificação (BRASIL, 2026b).

4 METODOLOGIA

4.1 Natureza do trabalho

Este trabalho caracteriza-se como um relato de experiência, de natureza qualitativa e descritiva, que tem como objetivo sistematizar e refletir sobre uma vivência profissional à luz da fundamentação teórica da engenharia química. Diferentemente de uma pesquisa experimental, o relato de experiência não busca testar hipóteses por meio de métodos estatísticos formais, mas sim organizar, interpretar e discutir criticamente uma prática profissional real, relacionando-a com conceitos técnicos e científicos da área.

A abordagem adotada baseia-se na observação participante, uma vez que o autor não é um observador externo à realidade relatada, mas parte ativa dela, atuando diretamente na análise dos resultados laboratoriais e na proposição de melhorias de processo objeto deste relato.

4.2 Caracterização da usina e do setor de atuação

A experiência relatada foi desenvolvida em uma usina de biodiesel localizada no estado de Goiás, região que, conforme discutido na Introdução deste trabalho, figura entre os principais polos produtores do país. O autor atua na interface entre o laboratório de controle de qualidade e o processo produtivo, sendo responsável por analisar os resultados das análises físico-químicas realizadas pelo laboratório e por propor ajustes operacionais com base nessa análise, com foco na otimização do consumo de insumos e na garantia da conformidade do produto final até sua expedição.

4.3 Período e forma de coleta das informações

O relato abrange um período de aproximadamente um a dois anos de atuação profissional do autor na função descrita. As informações que fundamentam este trabalho foram coletadas ao longo da rotina diária de trabalho, por meio do acompanhamento contínuo dos indicadores de qualidade do biodiesel produzido e das decisões de processo tomadas a partir dessa análise, não tendo sido criado, portanto, nenhum instrumento de coleta de dados específico para fins deste trabalho — as informações decorrem da própria prática profissional do autor.

4.4 Instrumentos utilizados

A principal fonte de informação utilizada neste relato é o sistema de gestão (ERP) da usina, no qual são registrados os resultados das análises laboratoriais de cada batelada produzida, bem como o histórico de consumo de insumos do processo. Esse sistema permite o acompanhamento de séries históricas de indicadores como teor de água, estabilidade oxidativa e demais parâmetros de qualidade, possibilitando a identificação de tendências e desvios ao longo do tempo. Complementarmente, foram utilizados os boletins de análise emitidos pelo laboratório da usina, que documentam formalmente a conformidade de cada batelada com a especificação vigente da ANP.

4.5 Critérios éticos e de confidencialidade

Em respeito à confidencialidade das informações da empresa, os dados apresentados neste trabalho, quando de natureza sensível, são tratados de forma anonimizada ou expressos em termos relativos (percentuais de variação, por exemplo), sem a divulgação de valores absolutos ou informações estratégicas da usina. Da mesma forma, informações que possam identificar clientes, fornecedores ou detalhes comerciais não são mencionadas neste relato.

5 RELATO DA EXPERIÊNCIA

5.1 Rotina de análise dos resultados do laboratório

A usina opera em regime contínuo, 24 horas por dia, com a produção organizada em três turnos de trabalho que se revezam ao longo do dia. Esse regime de operação exige que o acompanhamento da qualidade do processo também ocorra de forma contínua, por meio de um roteiro de análises que contempla os principais pontos de controle da produção: o pré-tratamento do óleo, a transesterificação propriamente dita, a destilação da glicerina e a recuperação do metanol. Esse roteiro é seguido em cada turno, permitindo o acompanhamento de indicadores específicos de cada etapa do processo ao longo de toda a operação, e não apenas na análise do produto final.

Os resultados dessas análises, referentes a cada uma dessas etapas, são registrados no sistema de gestão (ERP) da empresa, ficando disponíveis para acompanhamento contínuo entre os turnos. A partir desses registros, o autor realiza a interpretação dos indicadores de qualidade de cada etapa e de cada batelada produzida, comparando os resultados obtidos com os limites estabelecidos pela especificação vigente da ANP e com o histórico de produção, de modo a identificar tendências, desvios incipientes e oportunidades de ajuste no processo antes que eventuais problemas se propaguem entre turnos ou se tornem não conformidades no produto final.

Essa rotina de análise não se limita, portanto, à verificação pontual de conformidade de cada lote ao final do processo: ela envolve o acompanhamento de indicadores ao longo de todas as etapas produtivas — do pré-tratamento à recuperação do metanol —, e de séries históricas de parâmetros como teor de água e estabilidade oxidativa, permitindo distinguir variações normais do processo, inclusive entre turnos diferentes, de desvios sistemáticos que demandam intervenção. É a partir dessa análise contínua e multietapas que surgem as propostas de melhoria discutidas a seguir.

5.2 Casos de melhoria a partir da análise de dados

5.2.1 Caso 1 — Redução do consumo de antioxidante a partir do monitoramento da estabilidade oxidativa

Como discutido na Fundamentação Teórica, a legislação brasileira exige a adição obrigatória de aditivo antioxidante ao biodiesel, com o objetivo de garantir uma estabilidade oxidativa mínima de 13 horas, medida pelo método Rancimat a 110°C. A dosagem inicialmente adotada pela usina seguia a recomendação do fabricante do aditivo, patamar

considerado conservador e que buscava assegurar ampla margem de segurança em relação ao limite mínimo exigido.

A partir do acompanhamento sistemático dos resultados de estabilidade oxidativa de cada batelada produzida, observou-se que o processo operava consistentemente acima do limite mínimo de 13 horas, mesmo com folgas consideráveis em relação à dosagem recomendada. Essa constatação, obtida por meio da análise de séries históricas do parâmetro no sistema de gestão da usina, indicou a existência de uma margem de segurança maior do que a estritamente necessária, abrindo espaço para uma reavaliação criteriosa da dosagem do aditivo.

Com base nessa análise, foi conduzido um processo gradual de redução da dosagem de antioxidante, com ajustes incrementais acompanhados, a cada etapa, pela verificação dos resultados de estabilidade oxidativa das bateladas subsequentes, de modo a garantir que o parâmetro se mantivesse de forma consistente acima do limite mínimo de 13 horas, preservando uma margem de segurança adequada. Esse processo de ajuste incremental, sustentado por dados históricos, é coerente com a lógica de controle estatístico de processo discutida na Fundamentação Teórica: em vez de uma redução abrupta, optou-se por uma abordagem conservadora, testando cada novo patamar de dosagem antes de avançar para o seguinte.

Como resultado desse processo, a dosagem de antioxidante foi reduzida em aproximadamente 17% em relação ao patamar inicialmente adotado, mantendo-se a estabilidade oxidativa do biodiesel produzido consistentemente dentro da especificação vigente. Esse caso ilustra de forma direta a relação discutida na Fundamentação Teórica entre a análise de parâmetros de qualidade e a otimização do consumo de insumos: a decisão de reduzir a dosagem não partiu de uma tentativa isolada, mas da interpretação de dados históricos que evidenciavam uma folga real de processo, o que confere segurança técnica à medida adotada.

5.2.2 Caso 2 — Ajuste da dosagem de ácido cítrico em função da qualidade da matéria-prima

A usina em que a experiência relatada neste trabalho foi desenvolvida produz biodiesel a partir de óleo de soja proveniente de suas próprias plantas de esmagamento, contando atualmente com duas unidades esmagadoras que fornecem a matéria-prima utilizada no processo de transesterificação. Uma característica relevante do óleo de soja bruto é a presença de fosfolipídeos, substâncias naturalmente presentes na oleaginosa e cuja concentração pode

variar conforme a qualidade do grão processado e as condições operacionais do próprio esmagamento.

Quando os fosfolipídeos não são adequadamente removidos na etapa de tratamento do óleo, anterior à transesterificação, eles interferem na reação, favorecendo a formação de emulsões e dificultando o contato entre o óleo, o catalisador e o álcool. Esse efeito reduz a eficiência da conversão dos triglicerídeos em ésteres, o que, na prática, exige um aumento na dosagem de metilato para compensar a perda de rendimento da reação — impacto especialmente relevante, uma vez que o metilato está entre os insumos de maior custo do processo produtivo.

A partir do acompanhamento do teor de fosfolipídeos presentes no óleo recebido do esmagamento, tornou-se possível antecipar esse tipo de interferência e propor um ajuste preventivo na receita do tratamento: o aumento da dosagem de ácido cítrico utilizado nessa etapa, de modo a promover a hidratação e a remoção mais eficiente dos fosfolipídeos antes da transesterificação. Esse ajuste, realizado de forma proporcional ao teor identificado nas análises, permite preservar a eficiência da reação de transesterificação e evitar o consumo adicional de metilato que ocorreria caso os fosfolipídeos residuais permanecessem no óleo.

Esse caso ilustra uma lógica de ajuste preventivo, e não apenas corretivo: em vez de reagir a um desvio já ocorrido no processo de transesterificação, a análise da qualidade da matéria-prima permite antecipar o problema e ajustar a dosagem de um insumo mais barato (ácido cítrico) para evitar o consumo desnecessário de um insumo mais caro (metilato), evidenciando de forma direta a relação entre a qualidade da matéria-prima, a dosagem de insumos e o custo do processo produtivo discutida na Fundamentação Teórica deste trabalho.

5.2.3 Caso 3 — Substituição emergencial do ácido clorídrico por ácido cítrico na cisão da glicerina

Além dos ajustes de processo motivados pela análise rotineira de dados, a experiência relatada neste trabalho também envolveu a necessidade de resposta a um problema de origem externa, relacionado à disponibilidade de um insumo no mercado. A usina utilizava tradicionalmente o ácido clorídrico (HCl) na etapa de cisão da glicerina, processo que consiste na quebra dos sabões e das emulsões presentes na glicerina bruta por meio da acidificação do meio, favorecendo a separação de fases e a liberação dos ácidos graxos livres antes da etapa de destilação.

Em um período recente, o mercado nacional de ácido clorídrico enfrentou uma escassez motivada pela parada da principal planta produtora do insumo no país, o que

provocou uma forte elevação do preço do produto: de um patamar histórico de aproximadamente R\$ 3,50 por quilograma, o HCl passou a ser cotado a valores próximos de R\$ 30,00 por quilograma, a depender do fornecedor — um aumento de quase dez vezes no custo do insumo. Diante desse cenário, e da incerteza quanto à regularização do fornecimento, tornou-se inviável manter o consumo de HCl nos patamares habituais, o que levou a usina a adotar, de forma emergencial, a substituição do ácido clorídrico pelo ácido cítrico na etapa de cisão da glicerina.

Embora essa substituição tenha permitido a continuidade da operação sem interrupção da produção, os resultados obtidos com o ácido cítrico não se mostraram tão satisfatórios quanto os obtidos com o HCl, particularmente no que se refere à pureza final da glicerina. Por se tratar de um ácido mais fraco que o ácido clorídrico, o ácido cítrico apresenta menor capacidade de acidificação do meio nas condições de processo utilizadas, o que resulta em uma quebra menos completa dos sabões e das emulsões presentes na glicerina bruta, refletindo-se em maior teor de impurezas residuais na glicerina obtida e, conseqüentemente, em um produto de menor valor comercial em comparação ao processo conduzido com HCl.

Esse caso ilustra uma dimensão distinta dos Casos 1 e 2 apresentados anteriormente: enquanto aqueles resultaram de decisões proativas e preventivas fundamentadas na análise de dados internos de processo, este terceiro caso decorreu de um fator de risco externo à usina — a volatilidade do mercado de insumos químicos —, exigindo uma resposta rápida que envolveu, necessariamente, uma escolha entre a continuidade operacional e a manutenção do padrão de qualidade previamente alcançado. Esse tipo de situação reforça que a atuação do engenheiro químico na indústria não se limita à otimização de processos em condições estáveis, mas também exige capacidade de resposta a cenários de restrição de insumos, avaliando criticamente as alternativas técnicas disponíveis e seus respectivos custos e benefícios.

5.3 Garantia de qualidade na expedição do produto

A expedição do biodiesel produzido é realizada por meio de caminhões-tanque, e todo o processo de carregamento é condicionado à emissão prévia do laudo de qualidade referente ao tanque de origem: antes do início do embarque, o tanque deve estar devidamente laudado, e cada caminhão carregado sai da usina acompanhado do laudo correspondente àquele lote e àquele tanque específico, garantindo a rastreabilidade do produto ao longo de toda a cadeia de distribuição.

Antes do início do carregamento, os caminhões passam por uma vistoria, na qual são verificados aspectos como limpeza do tanque e presença das identificações exigidas, de modo a evitar contaminação do produto durante o transporte. Nesse contexto, um dos parâmetros de maior atenção por parte da usina — e também de órgãos fiscalizadores, como a própria ANP — é a contaminação total do biodiesel, cujo limite máximo estabelecido pela legislação vigente é de 24 mg/kg (BRASIL, 2023). O monitoramento rigoroso desse parâmetro, tanto na saída do produto do tanque de armazenamento quanto na condição dos veículos de transporte, é essencial para assegurar que o biodiesel chegue ao destino dentro da especificação, evitando autuações e devoluções de carga.

5.4 Discussão geral

Os três casos apresentados neste relato, embora tratem de insumos e mecanismos distintos, ilustram diferentes dimensões da atuação do engenheiro químico na rotina de uma usina de biodiesel. No Caso 1, a análise de uma série histórica de estabilidade oxidativa permitiu identificar uma margem de segurança real do processo, possibilitando a redução gradual e segura da dosagem de antioxidante — uma decisão proativa fundamentada em dados internos de qualidade. No Caso 2, o monitoramento do teor de fosfolípidos da matéria-prima permitiu antecipar um problema de eficiência da transesterificação antes que ele se manifestasse como consumo excessivo de metilato, caracterizando também uma atuação preventiva. Já o Caso 3 partiu de um fator externo à usina — a escassez de ácido clorídrico no mercado nacional —, exigindo uma resposta emergencial que envolveu uma escolha entre a continuidade da produção e a manutenção integral do padrão de qualidade da glicerina obtida.

Em conjunto, os três casos evidenciam que a otimização de processos em uma usina de biodiesel não depende apenas da interpretação de dados internos de qualidade, mas também da capacidade de responder a fatores externos, como a volatilidade do mercado de insumos químicos. Verifica-se, em todos os casos, a aplicação prática de conceitos discutidos na Fundamentação Teórica deste trabalho, como a relação entre a dosagem de insumos e a qualidade final do biodiesel e da glicerina, e o uso de dados — históricos ou emergenciais — como base para a tomada de decisão, o que reforça a relevância do controle estatístico de processo e da análise técnica criteriosa como ferramentas de apoio à rotina de uma usina de biodiesel.

5.5 Dificuldades encontradas

Uma dificuldade recorrente na rotina de trabalho relatada neste estudo está relacionada ao controle do teor de água do biodiesel, parâmetro bastante sensível às condições climáticas. Dependendo da umidade relativa do ar e das condições de temperatura ambiente, o biodiesel armazenado tende a absorver mais umidade, o que exige um controle rigoroso ao longo de todo o processo produtivo, e não apenas na análise final do produto.

Um fator identificado como especialmente relevante para esse desafio é a temperatura de saída do biodiesel do processo, mantida dentro de uma faixa-alvo definida internamente com base em boas práticas operacionais: temperaturas acima dessa faixa favorecem uma maior absorção de umidade pelo produto já no tanque final de armazenamento. Em razão disso, os trocadores de calor da usina, responsáveis por resfriar o biodiesel até a temperatura adequada, precisam passar por limpeza constante, uma vez que a incrustação nesses equipamentos reduz sua eficiência de troca térmica e compromete o controle da temperatura de saída do produto. Essa rotina de manutenção preventiva, embora represente um desafio operacional constante, é fundamental para manter o teor de água do biodiesel dentro da especificação exigida, especialmente em períodos de maior variação climática.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Retomada dos objetivos e principais aprendizados

Este trabalho teve como objetivo relatar a experiência profissional do autor em uma usina de biodiesel, relacionando as atividades de análise de resultados laboratoriais e de proposição de melhorias de processo com os fundamentos teóricos da engenharia química. Ao longo do relato, buscou-se evidenciar como a interpretação de parâmetros de qualidade — como estabilidade oxidativa, teor de água e teor de fosfolipídeos da matéria-prima — pode orientar decisões concretas de otimização do consumo de insumos, sem comprometer a conformidade do biodiesel produzido com a especificação vigente da ANP.

Os três casos apresentados no Capítulo 5 confirmam a viabilidade prática dessa relação, ainda que sob diferentes circunstâncias: a redução gradual da dosagem de antioxidante e o ajuste preventivo da dosagem de ácido cítrico em função do teor de fosfolipídeos da matéria-prima demonstram que decisões de processo bem fundamentadas em dados podem gerar economia de insumos sem prejuízo à qualidade do produto final; já a substituição emergencial do ácido clorídrico por ácido cítrico na cisão da glicerina, motivada pela escassez desse insumo no mercado nacional, evidencia que nem sempre a decisão técnica mais adequada está disponível, exigindo do profissional a capacidade de avaliar criticamente soluções alternativas e seus efeitos sobre a qualidade final do produto. Esses casos, somados à discussão sobre o controle na expedição e às dificuldades relacionadas ao teor de água, evidenciam que a rotina de trabalho do autor mobiliza, cotidianamente, conceitos centrais da engenharia química, como cinética de reação, balanço de massa e controle estatístico de processo, ainda que esses conceitos nem sempre sejam nomeados explicitamente no dia a dia da usina.

6.2 Contribuições da experiência para a formação do autor

A sistematização dessa experiência profissional em um relato estruturado permitiu ao autor reconhecer, de forma mais consciente, a aplicação prática de conceitos estudados ao longo da graduação em Engenharia Química. A rotina de interpretar dados de laboratório e propor ajustes de processo, antes vivenciada de forma predominantemente operacional, ganhou, com este trabalho, uma camada adicional de reflexão teórica, o que reforça a compreensão do papel do engenheiro químico não apenas como executor de procedimentos, mas como profissional capaz de interpretar dados técnicos e propor soluções fundamentadas para problemas reais de processo industrial.

Além disso, a elaboração deste relato contribuiu para o desenvolvimento de habilidades de comunicação técnica, na medida em que exigiu do autor a tradução de práticas cotidianas de trabalho em uma narrativa estruturada e fundamentada teoricamente, habilidade relevante para a atuação profissional futura do engenheiro químico em contextos que exigem justificativa técnica de decisões perante equipes multidisciplinares, órgãos reguladores e clientes.

6.3 Sugestões de melhorias futuras

A partir da experiência relatada, algumas sugestões podem ser apontadas para o aprimoramento contínuo do processo produtivo da usina. Primeiramente, recomenda-se a formalização de um sistema estruturado de controle estatístico de processo, com cartas de controle específicas para os principais parâmetros de qualidade monitorados (estabilidade oxidativa, teor de água e teor de fosfolipídeos da matéria-prima), de modo a tornar ainda mais sistemática a identificação de tendências e margens de segurança do processo, para além da análise já realizada pelo autor em sua rotina.

Em segundo lugar, sugere-se a ampliação do monitoramento do teor de fosfolipídeos para etapas ainda mais anteriores da cadeia produtiva, incluindo o próprio processo de esmagamento da soja, de modo a antecipar eventuais ajustes na dosagem de ácido cítrico com ainda mais antecedência. Em terceiro lugar, diante do episódio de escassez de ácido clorídrico relatado neste trabalho, recomenda-se a estruturação de um plano de contingência para insumos críticos do processo, incluindo a qualificação prévia de fornecedores alternativos e de rotas técnicas substitutas, de modo a reduzir o impacto de eventuais interrupções de fornecimento sobre a qualidade do produto final, e não apenas sobre a continuidade da produção. Por fim, no que se refere ao desafio da absorção de umidade discutido neste relato, recomenda-se a avaliação de um programa preventivo de manutenção dos trocadores de calor, com periodicidade definida a partir de dados históricos de eficiência térmica, de modo a reduzir a variabilidade da temperatura de saída do biodiesel e, consequentemente, do teor de água do produto final.

6.4 Limitações do relato

Este trabalho apresenta como principal limitação o fato de se basear na vivência individual do autor em uma única usina, o que restringe a generalização das conclusões para outras plantas produtoras de biodiesel, ainda que operem sob a mesma especificação regulatória da ANP. Além disso, por razões de confidencialidade, alguns dados apresentados

neste relato foram expressos em termos relativos ou aproximados, o que, embora necessário, limita a profundidade de algumas análises quantitativas que poderiam ser realizadas com acesso a valores absolutos.

6.5 Considerações sobre a relevância do tema para o setor de biodiesel

Por fim, cabe destacar que, em um contexto de mistura obrigatória de biodiesel ao diesel em trajetória de crescimento contínuo — e de discussões já em curso sobre novos aumentos desse percentual —, a busca por eficiência produtiva e otimização de insumos, sem prejuízo da qualidade regulatória, tende a se tornar cada vez mais relevante para a competitividade das usinas brasileiras. Nesse sentido, relatos de experiência como o apresentado neste trabalho, embora de escopo individual, contribuem para a construção de um conhecimento técnico aplicado que pode ser útil a outros profissionais que atuam na interface entre laboratório e processo produtivo em usinas de biodiesel, especialmente em um estado como Goiás, que segue consolidando sua relevância nesse setor.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. *Mistura de biodiesel ao diesel passa a ser de 12% a partir de abril*. Agência Brasil, Brasília, DF, 17 mar. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-03/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-ser-de-12-partir-de-abril>. Acesso em: 9 jul. 2026.
- BIODIESELBRASIL.COM. *Demanda por biodiesel deve crescer 6,3% em 2026 e impulsionar cadeia da soja*. Biodiesel Brasil, [S. l.], 17 out. 2025. Disponível em: <https://biodieselbrasil.com.br/demanda-por-biodiesel-deve-crescer-63-em-2026-e-impulsionar-cadeia-da-soja/>. Acesso em: 10 jul. 2026.
- BIODIESELBR.COM. *Produção de biodiesel se mantém acima da demanda pelo 2º mês*. BiodieselBR, [S. l.], 28 maio 2025. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/producao/producao-de-biodiesel-se-mantem-acima-da-demanda-pelo-2-mes-280525>. Acesso em: 9 jul. 2026.
- BIODIESELBR.COM. *Usina Binatural GO (Formosa - Goiás)*. BiodieselBR, [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.biodieselbr.com/usinas_brasil/fabrica/binatural-go. Acesso em: 9 jul. 2026.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2024*. Rio de Janeiro: ANP, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2024>. Acesso em: 3 ago. 2026.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). *Biodiesel*. Brasília, DF: ANP, 2026a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 9 jul. 2026.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). *Especificação do biodiesel*. Brasília, DF: ANP, 2026b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>. Acesso em: 9 jul. 2026.
- BRASIL. Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 out. 2024b. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14993-8-outubro-2024-796443-norma-pl.html>. Acesso em: 3 ago. 2026.
- BRASIL. Resolução ANP nº 920, de 4 de abril de 2023. Estabelece a especificação do biodiesel e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializem o produto em território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 abr. 2023. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-920-2023>. Acesso em: 9 jul. 2026.
- BRASIL247. *Governo quer aprovar aumento do biodiesel no diesel até o fim de 2026*. Brasil247, [S. l.], 8 maio 2026. Disponível em: <https://www.brasil247.com/economia/governo-quer-aprovar-aumento-do-biodiesel-no-diesel-ate-o-fim-de-2026-6374dcw4>. Acesso em: 9 jul. 2026.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). *Estagnado, programa de biodiesel compromete campo e indústria*. CNA Brasil, [S. l.], 2026. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/estagnado-programa-de-biodiesel-compromete-campo-e-industria>. Acesso em: 10 jul. 2026.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300021>. Acesso em: 5 ago. 2026.

EMBRAPA. *Livro discute a disponibilidade de matérias-primas e o desafio de produzir biodiesel no Brasil*. Portal Embrapa, Brasília, DF, 18 jul. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/101944002/disponibilidade-de-materias-primas-vegetais-e-o-desafio-de-produzir-biodiesel-no-brasil>. Acesso em: 10 jul. 2026.

HONÓRIO, G. G. Panorama da produção de biodiesel no Brasil: situação atual e perspectivas. *Dataset Reports*, v. 3, n. 1, p. 257-263, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.58951/dataset.2024.041>. Acesso em: 3 ago. 2026.

KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. *Manual do biodiesel*. São Paulo: Blucher, 2006.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600044>. Acesso em: 3 ago. 2026.

MOODY'S LOCAL. *Setor de biodiesel no Brasil: incerteza do nível*. [S. l.]: Moody's Local, 19 mar. 2025. Disponível em: <https://moodylocal.com.br/wp-content/uploads/2025/03/Comentario-Setorial-Biodiesel-1.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2026.

O POPULAR. *Goiás se torna 2º produtor de biodiesel do País em 2022*. O Popular, Goiânia, 25 mar. 2023. Disponível em: <https://opopular.com.br/economia/goias-se-torna-2-produtor-de-biodiesel-do-pais-em-2022-1.3012193>. Acesso em: 9 jul. 2026.

SCHUCK, M. Degomagem de óleo de soja por ultrafiltração. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TEMPO.COM. *Biodiesel mais barato que diesel importado: a virada que recoloca a soja no centro do debate energético*. Tempo.com, [S. l.], 18 mar. 2026. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/plantas/biodiesel-mais-barato-que-diesel-importado-a-virada-que-recoloca-a-soja-no-centro-do-debate-energetico.html>. Acesso em: 10 jul. 2026.