

Bioenergia em Revista: Diálogos

ano 14/vol. 14 | n. 1 | jan.2024 /jun. 2024 | ISSN: 2236-9171



Bioenergia em Revista: Diálogos

ISSN: 2236-9171

Bioenergia em Revista: Diálogos | publicação semestral | Piracicaba
ano 14/vol. 14 | n. 1 | jan. / jun. 2024

Governador do Estado de São Paulo

Tarcísio de Freitas

Secretário de Ciência, Tecnologia e Inovação

Vahan Agopyan

Diretora Superintendente do Centro “Paula Souza”

Laura Laganá

Diretor do CESU

Rafael Ferreira Alves

Diretor da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”

José Alberto Florentino Rodrigues Filho

Editoria

Filomena Maria Formaggio

Editores de Seção

Filomena Maria Formaggio – Fatec Piracicaba

Paulo Cesar Doimo Mendes – Fatecs de Piracicaba e Itapetininga, EEP

Fabio Augusto Pacano – Fatec Piracicaba, CNEC Capivari-SP

Luciana Fischer – Fatec Piracicaba e PUCCampinas-SP

Érika Gutierrez – Fatec Piracicaba

Angela de F. Kanesaki Correia – Fatec Piracicaba, UNIMEP

Comissão Editorial

Filomena Maria Formaggio – Fatec Piracicaba

Vanessa de Cillos Silva – Fatec Piracicaba

Paulo Cesar Doimo Mendes – Fatec Piracicaba

Marcia Nalesso Costa Medina – Fatec Piracicaba

Fabio Augusto Pacano – Fatec Piracicaba

Maria Helena Bernardo – Fatec Piracicaba

Amanda Andrade Vilela da Silva – Fatec Piracicaba

Bioenergia em Revista: Diálogos • Rua Diácono Jair de Oliveira, 651 • Bairro Santa Rosa

CEP: 13.414-155 • Piracicaba / SP • Telefone: [+55 19] 3413-1702

e-mail: bionergia.r.dialogos@gmail.com

www.fatecpiracicaba.edu.br/revista

Conselho Editorial

José Alberto Florentino Rodrigues Filho – Fatec Piracicaba
Daniela Russo Leite – Fatec Araraquara
Gisele Gonçalves Bortoleto - Fatec Piracicaba
Eliana Maria G. Rodrigues – Fatec Piracicaba
Daniela Defavari do Nascimento – Fatec Piracicaba
Regina Movio de Lara – IESCAMP/SP
Siu Mui Tsai Saito - Cena – USP
Raffaella Rossetto - APTA - polo regional Centro-Sul
Ada Camolesi - FIMI Mogi Mirim
Marly T. Pereira - ESALQ-USP
Vitor Machado – UNESP Bauru
Adolfo Castillo Moran - Cordoba, Ver. Mexico
Gregorio M. Katz - San Miguel de Tucuman Argentina
Guilherme A. Malagolli - Fatec Taquaritinga
Murilo Melo - ESALQ-USP
Angelo Luis Bortolazzo – Centro Paula Souza
Jorge Corbera Gorotiza - San Jose de Las Lajas - La Habana - Cuba

Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN 2236-9171) é uma publicação eletrônica semestral vinculada a Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Dep. Roque Trevisan”

Objetivo: publicar estudos inéditos, na forma de artigos e resenhas, nacionais e internacionais, que contribuam ao debate acadêmico-científico, além de estimular a produção acadêmica nos níveis da graduação e pós-graduação.

Os artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitida sua reprodução, total ou parcial, desde que seja citada a fonte.

Bioenergia em Revista: Diálogos / Fatec - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba /
Faculdade de Tecnologia de - - Piracicaba / SP: Instituição, desde 2011.
v. Semestral - ISSN 2236-9171
1. Ciências Aplicadas / Tecnologia- periódico I.
Bioenergia em Revista: Diálogos II. Fatec -
Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Dep. Roque Trevisan”

Bioenergia em Revista: Diálogos • Rua Diácono Jair de Oliveira, 651 • Bairro Santa Rosa
CEP: 13.414-155 • Piracicaba / SP • Telefone: [+55 19] 3413-1702
E-mail: bionergia.r.dialogos@gmail.com
www.fatecpiracicaba.edu.br/revista

Sumário

06 Apresentação

07 Chamada de Artigos

08 Recuperação de amilase produzida pela malteação do milho através do sistema de duas fases aquosas

RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves

22 Rum production: elaboration and chemical characteristics

ALMEIDA, Lara Solange Bastos de; OLAYA, Rafaela Conto; NASCIMENTO, Daniela Defavari do

34 Aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS

FRANCHINI, Ana Paula; ROTH, Joyce Cristina Gonçalves; CARDOSO André de Lima; BORDIN, Silvia Santin

51 Limoneno: avaliação do potencial antibacteriano na fermentação alcoólica

GAZIOLA, Matheus de Andrade; MENEZES, Aline Malosso; RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves.

66 Combustível Renovável: Automóveis Movidos por Hidrogênio

FERRO, Emily Maria de Lima; PATROCINIO, Alexei Barban

86 Síntese do biodiesel: pensando processos mais verdes para a produção de energia renovável

MELO, Jocelene Reis de; STADLER, João Paulo; CHENDYNSKI, Leticia Thaís; SANDRI, Marilei Casturina Mendes; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes

114 Mulheres em cargo de liderança: estudo de caso em uma indústria metalúrgica da região de Piracicaba-SP

MORAES, Ana Beatriz de; SCUDELER, Valéria Cristina; SILVA, Vanessa de Cillos

130 Fatores que impactam a comunicação em empresas familiares: revisão

PONTEDURA, Vanessa Moreno.; FORMAGGIO, Filomena Maria

Apresentação

Bioenergia em Revista: Diálogos, publicação da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” oferece à comunidade acadêmico-científica mais um número objetivando a apresentação e discussão de temas atinentes à pesquisa, inovação e ao diálogo com todas as áreas do conhecimento, elementos imprescindíveis e constituidores à formação científico-tecnológica.

A Revista está classificada como B4 no sistema Qualis/CAPES e encontra-se associada aos indexadores Latindex, IBICT, Sumários.org e CNEN60.

A presente edição conta com as seções de *ALIMENTOS* e apresenta o artigo “Recuperação de amilase produzida pela malteação do milho através do sistema de duas fases aquosas” e “Rum production: elaboration and chemical characteristics”.

A seção *AMBIENTE* apresenta o artigo “Aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS”.

A seção *ENERGIA* apresenta os artigos “Limoneno: avaliação do potencial antibacteriano na fermentação alcoólica”; “Combustível Renovável: Automóveis Movidos por Hidrogênio” e “Síntese do biodiesel: pensando processos mais verdes para a produção de energia renovável”.

A seção de *GESTÃO* apresenta os artigos “Mulheres em cargo de liderança: estudo de caso em uma indústria metalúrgica da região de Piracicaba-SP ” e “Fatores que impactam a comunicação em empresas familiares: revisão”.

Ressalte-se que um dos nossos objetivos é a disseminação do conhecimento. Para tanto, o periódico Bioenergia em Revista: Diálogos possui inserção nacional e internacional e conta com a participação de pesquisadores de diversas instituições de ensino e pesquisa. O recebimento dos artigos é pelo sistema de fluxo contínuo e a periodicidade é semestral.

Chamada de artigos

A Revista Bioenergia em Revista: Diálogos convida pesquisadores, docentes e demais interessados das áreas de Bioenergia, Gestão Empresarial, Agroindústria, Alimentos e áreas afins, a colaborarem com artigos científicos, de revisão e/ou resenhas para a próxima edição deste periódico.

As normas de submissão e análise estão disponíveis em nosso site – www.fatecpiracicaba.edu.br/revista. Os trabalhos serão recebidos por via eletrônica em **fluxo contínuo**, e os autores poderão acompanhar o progresso de sua submissão através do sistema eletrônico da revista.

Os dados apresentados, bem como a organização do texto em termos de formulação e encadeamento dos enunciados, das regras de funcionamento da escrita, das versões em língua **inglesa e espanhola** dos respectivos resumos, bem como o respeito às Normas da ABNT são de **inteira responsabilidade dos articulistas**.

Recuperação de amilase produzida pela malteação do milho através do sistema de duas fases aquosas

RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves

Resumo

O sistema de duas fases aquosa, é uma alternativa viável para a recuperação de biomoléculas, uma vez que a produção e recuperação de enzimas provenientes de fontes renováveis tem se tornado uma das áreas de maior interesse na indústria biotecnológica, tornando a tecnologia enzimática uma das áreas mais promissoras dentro das novas tecnologias para síntese de compostos de alto valor agregado. Entretanto, um dos grandes desafios consiste em utilizar as enzimas em diferentes setores da indústria sem que seja necessário empregar métodos com custos elevados na sua produção e recuperação, uma vez que, os métodos convencionais para purificar biomoléculas geralmente incluem etapas muito complexas. É neste sentido, que o presente trabalho tem o intuito de propor um método de recuperação para a enzima amilase a partir da utilização de um sistema de duas fases aquosa, tendo em vista simplicidade de execução, baixo custo e a alta seletividade. Além disso, as enzimas permanecem estáveis no sistema, devido à alta concentração de água e à utilização de reagentes não desnaturantes. A metodologia proposta se baseia na utilização do sistema de duas fases aquosa formada por PEG/água/sulfato de amônio, na determinação da atividade enzimática amilolítica pelo método de Okolo e análise dos resultados através do Programa Statistix Trial10. Os resultados demonstram que o modelo é significativo a um linear, quando se utiliza o PEG 4000. Entretanto, ao se utilizar o PEG 6000, foi constatado uma falta de ajuste significativa no modelo. Os melhores resultados para a recuperação em atividade enzimática para amilase foram obtidos quando se trabalhou com a concentração de PEG4000/(NH₄)₂SO₄ na proporção de 20/20 (p/p) e pH 6,5, alcançando um valor máximo de 57%.

Palavras-chave: Enzima. Germinação. Sulfato de Amônio. Polietileno Glicol (PEG). Extração Líquido-Líquido

Abstract

The aqueous two-phase system is a viable alternative for the recovery of biomolecules, since the production and recovery of enzymes from renewable sources has become one of the areas of greatest interest in the biotechnology industry, making enzyme technology one of the areas most promising new technologies for the synthesis of high-value-added compounds. However, one of the biggest challenges is to use enzymes in different sectors of industry without having to employ high-cost methods in their production and recovery, since conventional methods for purifying biomolecules generally include very complex steps. It is in this sense that the present work aims to propose a recovery method for the amylase enzyme using an aqueous two-phase system, taking into account simplicity of execution, low cost and high selectivity. Furthermore, the enzymes remain stable in the system, due to the high concentration of water and the use of non-denaturing reagents. The proposed methodology is based on the use of a two-phase aqueous system formed by PEG/water/ammonium sulfate, determining amylolytic enzymatic activity using the Okolo method and analyzing the results using the Statistix Trial Program10. The results demonstrate that the model is linearly significant when using PEG 4000. However, when using PEG 6000, a significant lack of fit in the model was found. The best results for the recovery of enzymatic activity for amylase were obtained when working with a concentration of PEG4000/(NH₄)₂SO₄ in the proportion of 20/20 (w/w) and pH 6.5, reaching a maximum value of 57%.

Keywords: Enzyme. Germination. Ammonium sulfate. Polyethylene Glycol (PEG). Liquid-Liquid Extraction

Resumen

El sistema bifásico acuoso es una alternativa viable para la recuperación de biomoléculas, ya que la producción y recuperación de enzimas a partir de fuentes renovables se ha convertido en una de las áreas de mayor interés en la industria biotecnológica, convirtiendo a la tecnología enzimática en una de las nuevas áreas más prometedoras. Tecnologías para la síntesis de compuestos de alto valor añadido. Sin embargo, uno de los mayores desafíos es utilizar enzimas en diferentes sectores de la industria sin tener que emplear métodos de alto costo en su producción y recuperación, ya que los métodos convencionales para purificar biomoléculas generalmente incluyen pasos muy complejos. Es en este sentido que el presente trabajo tiene como objetivo proponer un método de recuperación de la enzima amilasa mediante un sistema bifásico acuoso, teniendo en cuenta la simplicidad de ejecución, el bajo costo y la alta selectividad. Además, las enzimas permanecen estables en el sistema debido a la alta concentración de agua y al uso de reactivos no desnaturalizantes. La metodología propuesta se basa en el uso de un sistema acuoso bifásico formado por PEG/agua/sulfato de amonio, determinando la actividad enzimática amilolítica mediante el método Okolo y analizando los resultados mediante el Programa de Ensayo Statistix10. Los resultados demuestran que el modelo es linealmente significativo cuando se usa PEG 4000. Sin embargo, cuando se usa PEG 6000, se encontró una falta significativa de ajuste en el modelo. Los mejores resultados para la recuperación de la actividad enzimática de la amilasa se obtuvieron al trabajar con una concentración de PEG4000/(NH₄)₂SO₄ en la proporción de 20/20 (p/p) y pH 6,5, alcanzando un valor máximo de 57%.

Palabras clave: Enzima. Germinación. Sulfato de amonio. Polietilenglicol (PEG). Extracción líquido-líquido

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento eficiente de bioprocessos para a recuperação e purificação de enzimas representa uma grande preocupação para a indústria biotecnológica, além de fatores que otimizem sua produção, para isso, vêm se buscando eficiência e baixo custo nos processos de separação e purificação (Chavez-Santoscoy *et al.*, 2010; Nalinanon *et al.*, 2009).

Enzimas são moléculas capazes de acelerar os processos químicos com grandes vantagens, frente aos catalisadores químicos, principalmente por serem ecologicamente mais viáveis. A cada dia presencia-se mais processos industriais que utilizam enzimas como catalisadores, dentre as quais se destacam enzimas na área de alimentos, saúde humana e animal e bens como papel e indústria têxtil (Monteiro e Silva, 2009). Embora as enzimas sejam utilizadas na indústria de alimentos por terem as propriedades de inocuidade, eficiência e adequação às matérias-primas utilizadas, apenas poucas variedades de enzimas, na maioria hidrolases, são usadas em grande escala.

Amilases pertencem ao grupo das hidrolases e são mundialmente conhecidas representando a maior parte do mercado mundial de enzimas. Podem ser obtidas de fontes vegetais, animais e de microrganismos. Das produzidas a partir de origem vegetal destacam-se as proteases, como a papaína, bromelina e ficina, e o complexo amilolítico, malte de cereais que é utilizado na indústria cervejeira (Maity *et al.*, 2011). As α -amilase (EC 3.3.1.1; α -1,4 glicano, 4-glicanohidroxilase) e β -amilase (EC 3.2.1.1, α -1,4, glicanomaltoidrolase) são obtidas geralmente por microrganismos ou por malte de cevada (embora qualquer cereal germinado as contenha), suas temperaturas e seus pHs ótimos variam entre 75 e 55 °C e 4,8 e 6,5; respectivamente, embora estas faixas dependam da origem destas enzimas (Silva *et al.*, 2008).

As amilases estão entre as enzimas de maior importância para a biotecnologia, encontrando demanda industrial crescente e destaca-se por suas aplicações na indústria de celulose, durante a finalização do papel, na produção de pães, melhorando a cor e a maciez, e na produção de cervejas claras. Podem ser obtidas de diferentes fontes, incluindo plantas, animais e microrganismos, sendo os fungos filamentosos e as bactérias os principais produtores (Santana *et al.*, 2012; Selvan *et al.*, 2016).

O milho (*Zea mays*) é um produto agrícola muito difundido no Brasil, comercializado *in natura* ou processado a baixo valor econômico. Tem sido utilizado em diferentes tipos de bebidas, como adjunto no preparo de diferentes formulações. A maltagem deste cereal pode ser usada como uma fonte de enzimas hidrolíticas, as quais são requeridas em proporções importantes na produção de álcool para a indústria química, farmacêutica e de alimentos (Uriyo; Eigel, 1999).

Portanto, a obtenção das enzimas α e β -amilases de malte de milho geraria um produto de alto valor agregado.

O processo de obtenção do malte ou malteação consiste nas etapas de maceração, germinação e secagem. A maceração consiste no fornecimento de oxigênio e água ao grão, despertando sua dormência, levando-o para a etapa seguinte. Na germinação, ocorrem as modificações físicas e química, que estimulam a produção de enzimas amilolíticas, α -amilases e β -amilases, que hidrolisam o amido (Morado, 2009). E na secagem ocorre a eliminação da umidade. O produto obtido denomina-se malte e caracteriza-se por seu alto poder diastásico (capacidade para hidrolisar o amido) e pelo conteúdo de substâncias tais como: açúcares, aminoácidos e peptídeos (Georg-Kraemer *et al.*, 2001) que posteriormente servirão de substrato para as leveduras no processo de fermentação. O processo de malteação é sempre similar independente do gênero alimentício que o malte será empregado.

Entre às técnicas tradicionais de extração líquido-líquido, o sistema de duas fases aquosa tem sido aplicado com sucesso na separação e purificação de biomoléculas, são formados pela combinação de dois diferentes compostos em meio aquoso que, de acordo com certas concentrações, podem formar duas fases líquidas que se mantêm em equilíbrio (Pereira *et al.*, 2015). Das várias vantagens, pode-se citar o elevado conteúdo de água nas fases, permitindo a separação de biomoléculas em condições não desnaturantes; favorável seletividade podendo ser manipulados para uma adequada purificação e baixo custo, devido ao uso de constituintes menos onerosos e simplicidade no aparato tecnológico, além da possibilidade de reutilização de seus constituintes (Silva, 2019; Alvarenga *et al.* 2015; Ventura *et al.* 2013).

A utilização eficiente do sistema de duas fases aquosa depende das propriedades dos compostos a serem extraídos ou purificados, além dos constituintes que formam o sistema. A capacidade em manipular as propriedades das fases é dependente dos constituintes, pelo qual é determinante para se obter alta seletividade e uma separação adequada. Os constituintes devem ser cuidadosamente selecionados, considerando a capacidade em formar duas fases aquosas imiscíveis, promovida pela adição de compostos solúveis em água. Uma série de compostos, tais como os polímeros, sais orgânicos e inorgânicos, solventes orgânicos, açúcares e líquidos iônicos estão disponíveis para sua utilização (Baghlani; Sadeghi, 2018).

O sistema de duas fases aquosa é formado pela incompatibilidade de dois polímeros hidrofílicos ou um polímero e um sal. Por apresentarem alto teor de água em ambas as fases constituem um meio adequado para extração de biomoléculas, uma vez que preservam sua estabilidade molecular (Ali *et al.*, 2014; Reschke *et al.*, 2014). Os componentes do sistema quando se separam favorecem a separação da enzima para uma das fases sendo possível definir os

parâmetros que levam a uma separação ideal através de ensaios experimentais. Com isso, a simplicidade da técnica faz do sistema de duas fases aquosa um processo atrativo e de fácil reprodução em larga escala para extrair enzimas de interesse comercial (Tang *et al.*, 2014). Pode ser selecionado de acordo com as principais características da molécula a ser extraída de forma a alcançar altos rendimentos de extração e/ou purificação, uma vez que cada sistema pode ser preparado para ter uma maior interação com a biomolécula através de interações iônicas e hidrofóbicas, ligações de hidrogênio e/ou outras interações não covalentes (Benavides *et al.*, 2011).

Após a homogeneização, cada componente do sistema é concentrado em uma das fases, favorecendo, deste modo, a partição de biomoléculas, tais como proteínas, células, fragmentos celulares ou ácidos nucléicos. A estratégia básica de separação por sistema de duas fases aquosa baseia-se predominante na partição da molécula de interesse para uma das fases do sistema e as contaminantes para a fase oposta. Neste sistema, as proteínas são divididas entre as duas fases com um coeficiente de partição que pode ser modificado se as condições experimentais do meio como pH, sais, força iônica e outros, forem alterados (Bassani *et al.*, 2010). O particionamento no sistema de duas fases aquosa depende das propriedades da biomolécula produzida, tais como, massa molecular, ponto isoeletrico e hidrofobicidade, mas também das características físico-químicas de ambas as fases do sistema, que por sua vez são influenciados por fatores que compõem o sistema, tais como, massa molecular do polímero utilizado, concentração e o tipo de polímero e sal utilizados, além da temperatura e do pH estabelecidos para o sistema (Sales *et al.* 2013; Pericin *et al.*, 2009).

O polietileno glicol (PEG) é um polímero amplamente utilizado no sistema de duas fases aquosa por ser uma molécula inerte e de carga neutra que dificilmente causa a desnaturação em proteínas (Pereira *et al.*, 2012). Sistemas formados por PEG e um sal são intensamente empregados por apresentarem rápida separação das fases, baixo custo e, principalmente, elevada seletividade na separação de moléculas com base na solubilidade (Kilikian; Pessoa Jr., 2020). Geralmente quase todas as biomoléculas menores tendem migrar para a fase inferior (fase sal) que é mais polar e as proteínas permanecem na fase superior (fase PEG) menos polar. O PEG é um polímero sintético, não carregado, de cadeia linear de unidades de oxietileno que apresenta alta solubilidade em água, baixa pressão de vapor, não inflamável, não corrosivo e nem tóxico, além de ser aprovado pela FDA para uso em fármacos e alimentos (LIU *et al.*, 2014). Além, do sistema de duas fases aquosa, poder atuar como um processo de pré-purificação, uma vez que promove a redução substancial de grande quantidade de contaminantes, auxiliando no aumento do rendimento em processos mais onerosos de purificação (Phong *et al.* 2018). A purificação é

resultado de uma partição diferenciada da molécula alvo e impurezas entre as duas fases líquidas. O elevado teor de água, 75 a 80%, garante a manutenção das propriedades biológicas das proteínas (Kilikian; Pessoa Jr., 2020).

Sendo assim, no presente trabalho, foram realizados ensaios com o intuito de se estudar a recuperação da enzima amilase, obtida pela malteação do grão de milho, mediante a utilização de um sistema de duas fases aquosas composto por PEG/água/sulfato de amônio.

1. METODOLOGIA

1.1 Obtenção do malte

O malte de milho foi obtido de acordo com Santana (2003).

1.2 Extração da enzima amilolítica

A extração foi realizada a partir de uma solução 4% de malte de milho em pH determinado pelo planejamento fatorial em tampão acetato de sódio 0,1 M. Essa solução foi triturada com pistilo em gral de porcelana e filtrada para determinação da atividade amilolítica, conforme Okolo *et al.* (1995).

1.3 Determinação da atividade amilolítica

A atividade da amilase foi determinada como descrito por Okolo *et al.* (1995) e os açúcares redutores liberados foram estimados pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS) conforme Miller (1959).

1.4 Delineamento Experimental da recuperação da amilase através do S DFA

O delineamento experimental para verificação das variáveis sobre a recuperação da amilase através do sistema de duas fases aquosas composto por PEG/água/sulfato de amônio foi realizado segundo um esquema fatorial completo do tipo 2² com 2 ensaios no ponto central. As variáveis utilizadas foram: concentração de PEG/(NH₄)₂SO₄ (A), pH (B). A matriz utilizada está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz do planejamento fatorial completo 2² com 2 ensaios no ponto central.

Ensaio	A	B
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
5	0	0

6	0	0
---	---	---

A = Concentração de PEG/(NH₄)₂SO₄ (%) (-1=25/15; 0=22,5/17,5; 1=20/20); B = pH (-1=5,5; 0=6,0; 1=6,5)

1.5 Planejamento Experimental

A análise estatística dos resultados foi realizada através do Programa Statistix Trial 10, onde foram feitas estimativas dos efeitos das variáveis, considerando um nível de significância de 95%. Os resultados foram expressos em tabelas de estimativa de efeitos, teste t de “Student” e ainda em tabelas de análise de variância.

1.6 Metodologia de análise dos resultados

Para a avaliação do processo de recuperação de enzimas amilolíticas foi analisado o parâmetro recuperação em atividade enzimática (R_{AE}).

$$R_{AE} = A_2/A_1 \times 100$$

A₂ = atividade da enzima na fase extraída

A₁ = atividade da enzima antes da extração

As atividades A₁ e A₂ correspondem à atividade enzimática multiplicada pelo volume da fase considerada.

2.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visando a recuperação da amilase, por meio de um sistema de duas fases aquosas, utilizou-se o polietilenoglicol (PEG), sua escolha se deve à boa eficiência do mesmo de formar fases em meio aquoso e não provocar a diminuição da atividade enzimática, além de ser biodegradável e atóxico. Além do PEG foi utilizado o sulfato de amônio, foi realizado um planejamento experimental, com as seguintes variáveis: porcentagem de PEG/(NH₄)₂SO₄ e pH. As condições experimentais de cada ensaio, juntamente com os resultados de recuperação em atividade enzimática, são apresentadas na Tabela 2

Tabela 2: Resultado da Recuperação em Atividade Enzimática da Amilase obtido pela matriz do planejamento fatorial completo 2² com 2 ensaios no ponto central

Ensaio	A	B	R _{AE} (%) PEG 4000	R _{AE} (%) PEG 6000
1	-1	-1	27,6	24,4
2	+1	-1	47,0	19,8

3	-1	+1	37,2	32,6
4	+1	+1	55,3	48,0
5	0	0	44,7	14,4
6	0	0	45,6	14,6

A = Concentração de PEG/(NH₄)₂SO₄ (%) (-1=25/15; 0=22,5/17,5; 1 = 20/20); B = pH (-1 = 5,5; 0 = 6,0; 1 = 6,5); R_{AE} = Recuperação em Atividade Enzimática

Ao comparar, os ensaios 1 e 4 (Tabela 2), onde temos todas as variáveis no menor e maior nível, respectivamente, pode se observar que houve um aumento da recuperação em atividade enzimática em torno de 50% quando se trabalhou no maior nível das variáveis, sendo o mesmo resultado tanto para o PEG 4000, quanto PEG 6000. Estes resultados indicam que as variáveis concentração de PEG/(NH₄)₂SO₄ e pH podem ser significativas. Estas observações podem ser comprovadas pela análise estatística dos resultados, apresentadas na Tabela 3. Os resultados comprovam as observações anteriores, ou seja, as variáveis concentração de PEG/(NH₄)₂SO₄ e pH apresentam realmente efeitos significativos, quando se utiliza o PEG 4000. Entretanto, os resultados com o PEG 6000 não apresentam variáveis significativas (Tabela 4).

Tabela 3: Efeitos estimados, valores do teste t de “Student” obtidos no planejamento fatorial completo 2² com 2 ensaios no ponto central, utilizando PEG 4000

Efeitos e interações	Estimativas	T	P
Média	42,9	-	-
A	9,375	8,115	0,0035*
B	4,475	3,874	0,0305*

A = Concentração PEG/(NH₄)₂SO₄ (%); B = pH; *Significativos

Tabela 4: Efeitos estimados, valores do teste t de “Student” obtidos no planejamento fatorial completo 2² com 2 ensaios no ponto central, utilizando PEG 6000:

Efeitos e interações	Estimativas	T	P
Média	25,6	-	-
A	2,700	0,430	0,6958
B	9,100	1,450	0,2426

A = Concentração PEG/(NH₄)₂SO₄ (%); B = pH

Tabela 5: Análise da variância para o estudo da recuperação de amilase por sistema de duas fases aquosas, no planejamento fatorial completo 2² com 2 ensaios no ponto central, utilizando PEG 4000

	SQ	Df	MQ	F	P
Modelo	431,665	2	215,832	40,43	0,0068*
Resíduo	16,015	3			
Total	447,68	5			
Falta de ajuste	15,610	2	7,805	19,27	0,1590

R² = 0,964; SQ = Soma Quadrática; QM = Média Quadrática; *Significativos ao nível de 95% de confiança

Tabela 6: Análise da variância para o estudo da recuperação de amilase por sistema de duas fases aquosas, no planejamento fatorial completo 2² com 2 ensaios no ponto central, utilizando PEG 6000

	SQ	Df	MQ	F	P
Modelo	360,400	2	180,200	1,15	0,4269
Resíduo	471,873	3			
Total	832,273	5			
Falta de ajuste	471,853	2	235,927	11796,33	0,0065*

R² = 0,433; SQ = Soma Quadrática; QM = Média Quadrática; *Significativos ao nível de 95% de confiança

Os resultados das análises demonstram que o modelo é significativo a um linear, mas somente quando se utiliza o PEG 4000 (Tabela 5) e não para o PEG 6000 (Tabela 6), além disso ao utilizar o PEG 6000 é constatado uma falta de ajuste significativa no modelo. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos (2018) que ao utilizar o PEG 4000, concluiu que o sistema de duas fases aquosa pode ser uma alternativa para a concentração das enzimas, principalmente para o sistema formado por (NH₄)₂SO₄ e PEG 4000, por proporcionar eficiência no processo de separação das amilases.

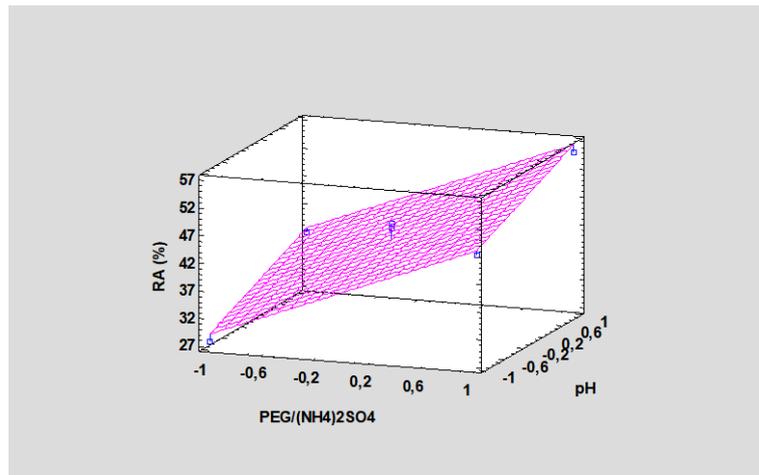
Sendo assim, podemos representar o processo de recuperação de amilase por um sistema de duas fases aquosas, considerando os termos que realmente influenciam no rendimento em atividade, pela Equação 1:

$$Y = 42,9 + 9,375A + 4,475B \quad (1)$$

Sendo que Y representa o recuperação em atividade enzimática, A a concentração do PEG/ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e B o pH.

A superfície de resposta do modelo e as linhas de contorno estão apresentadas na Figura 1. Sendo possível observar que o rendimento máximo obtido para este modelo pode ser de 57%.

Figura 1: Superfície de resposta descrita pelo modelo da Equação 1, que representa a recuperação da amilase por um sistema de duas fases aquosas, utilizando PEG 4000



CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, dentro dos limites estipulados, pode-se concluir que através da utilização do planejamento experimental, foi possível demonstrar que o modelo é significativo a um linear, quando se utiliza o PEG 4000. Entretanto, ao se utilizar o PEG 6000, foi constatada uma falta de ajuste significativa no modelo. As melhores condições para a recuperação da amilase foram obtidas quando se trabalhou com a concentração de PEG4000/ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ na proporção de 20/20 (p/p) e pH 6,5, alcançando um valor máximo de 57%. Portanto, mesmo não sendo suficientemente seletivo para purificação total de enzimas, o sistema de duas fases aquosa, deve ser levado em consideração nas etapas iniciais de concentração.

REFERÊNCIAS

ALI, S. M. et al. Recovery and partial purification of fibrinolytic enzymes of *Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc by an aqueous two-phase system. *Separation and Purification Technology*, v. 122, n. 359–366. 2014.

ALVARENGA, J. M.; FIDELES, R. A.; SILVA, M. V.; MURARI, G. F.; TAYLOR, J. G.; LEMOS, L. R.; RODRIGUES, G. D.; MAGESTE, A. B. Partition study of textile dye remazol yellow gold RNL in aqueous two-phase systems. *Fluid Phase Equilibria*, v. 391, p. 1-8, 2015.

BAGHLANI, M.; SADEGHI, R. The Capability of Tetra Alkyl Ammonium Bromides for Aqueous Biphasic Systems Formation with Both Polymers and Electrolytes in Aqueous Solutions. *Fluid Phase Equilibria*, v. 465, p. 34-47, 2018.

BASSANI, G. et al. *Candida rugosa* lipase Lip1–polyethyleneglycol interaction and the relation with its partition in aqueous two-phase systems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 75, p. 532-537. 2010.

BENAVIDES, J.; RITO- PALOMARES, M.; ASENJO, J.A. Aqueous two-phase systems. *Downstream Proces and Product Recovery*, p. 697- 713, 2011

CHAVEZ-SANTOSCOY, A.; BENAVIDES, J.; VERMAAS, W.; RITO-PALOMARES, M. Application of aqueous two-phase systems for the potencial extractive fermentation of cifanobacterial products. *Chem. Eng. Technol.*, v. 33, p. 177-182, 2010.

GEORG-KRAEMER, J.E. et al. Developmental expression of amylases during barley malting. *Journal of Cereal Science*, London, v. 33, p. 279-288, 2001.

KILIKIAN, B. V. PESSOA Jr., A. *Purificação de produtos biotecnológicos: operações e processos com aplicação industrial*. 2. ed., São Paulo: Blucher, 2020. 760p.

LIU, W.; LIU, J.P.; ZOU, L.Q.; ZHANG, Z-Q.; LIU, C-M.; LIANG, R-H.; XIE, M-Y.; WAN, J. Stability and conformational change of methoxypolyethylene glycol modification for native and unfolded trypsin. *Food Chemistry*, v. 146, p. 278-283, 2014.

MATTY, C., SAMANTA, S., HALDER, S.K., DAS MOHAPATRA, P.K., PATI, B.R., MONDAL, K.C. Isozymes of α -amylases from newly isolated *Bacillus thuringiensis* CKB19: Production from immobilized cells. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, v. 16, p. 312–319, 2011.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MONTEIRO, V.N., SILVA, R.N. Aplicações Industriais da Biotecnologia Enzimática. *Revista Processos Químicos*, v. 3, n. 5, p. 9-23, 2009.

MORADO, R. *Larousse da cerveja*. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. 357p.

NALINANON, S.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; KISHIMURA, H. Partitioning of protease from stomach of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) by aqueous two-phase systems. *Process Biochem*, v. 44, p. 471-476, 2009.

OKOLO, B. N.; EZEUGU, L. I.; MBA, C. N. Production of raw starch digestive amylase by *Aspergillus niger* grown on native starch sources. *Journal of Science of Food and Agriculture*, v. 69, p. 109-115, 1995.

PEREIRA, J. F. B.; KURNIA, K. A.; FREIRE, M. G.; COUTINHO, J. A. P.; ROGERS, R. D. Controlling the formation of ionic-liquid-based aqueous biphasic systems by changing the

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 08-21

Recuperação de amilase produzida pela malteação do milho através do sistema de duas fases aquosas

RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves

hydrogen-bonding ability of polyethylene glycol end groups. *ChemPhysChem*, v. 16, n. 10, p. 2219-2225, 2015.

PEREIRA, J. F. B. et al. A stable liquid–liquid extraction system for clavulanic acid using polymer-based aqueous two-phase systems. *Separation and Purification Technology*, v. 98, p. 441-450. 2012.

PERICIN, D. M.; MADAREV-POPOVIC, S. V. and RADULOVIC-POPOVIC, L. M. Optimization of conditions for acid protease partitioning and purification in aqueous two-phase systems using response surface methodology. *Biotechnology Letters*, v. 31, p. 43-47, 2009.

PHONG, W. N.; SHOW, P. L.; CHOW, Y. H.; LING, T. C. Recovery of biotechnological products using aqueous two-phase systems. *Journal of bioscience and bioengineering*, v. 126, n.3, p. 273-281, 2018.

RESCHKE, T.; BRANDENBUSCH, C.; SADOWSKI, G. Modeling aqueous two-phase systems: I. Polyethylene glycol and inorganic salts as ATPS former. *Fluid Phase Equilibria*, v. 368, p. 91–103, 2014.

SALES, A. E., et al. Integrated Process Production and Extraction of the Fibrinolytic Protease from *Bacillus* sp. UFPEDA 485. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, p. 1676–1688, 2013.

SANTANA, R. S. M. et al. Produção de amiloglucosidase utilizando como substrato a palma forrageira. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 188-193, 2012.

SANTANA, J. C. C. *Recuperação das enzimas α -amilases em sistema bifásico aquoso PEG/CaCl₂ para uso como biocatalizador amiláceos*. Campinas SP, FEQ/UNICAMP, 2003.

SANTOS, K. A. *Sistemas aquosos bifásicos para a partição de amilases produzidas por *Aspergillus niger* ATCC 10535 usando fermentação em estado sólido do resíduo de mandioca*. Itapetinga Ba, UESB/Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, 2018. 58p.

SELVAM K. et al. Enhanced production of amylase from *Bacillus* sp. using groundnut shell and cassava waste as a substrate under process optimization: waste to wealth approach. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 7, p. 250–256, 2016.

SILVA, K. C. R. *Sistemas aquosos bifásicos, princípios teóricos e aplicações: Revisão Bibliográfica*, 2019, 38p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de tecnologia de Alimentos – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

SILVA, R.L.F.O.B., SOUZA, R.R., SANTANA, J.C.C., TAMBOURGI, E.B. Imobilização de enzimas de milho maltado em gel. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, n. 31, p. 642-648, Jul-Set, 2008.

TANG, M. S.Y. et al. Separation of single-walled carbon nanotubes using aqueous two-phase System. *Separation and Purification Technology*, v. 125, p. 136–141. 2014.

URIYO, M.; EIGEL, W. E. Duration of kilning treatment on α -amylase, β -amylase and endo-(1,3)- β -D-glucanase activity of malted sorghum (*Sorghum bicolor*). *Process Biochemistry*. v. 35, p. 433-436, 1999.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 08-21

Recuperação de amilase produzida pela malteação do milho através do sistema de duas fases aquosas

RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves

VENTURA, S. P. M.; SANTOS-EBINUMA, V. C.; PEREIRA, J. F. B.; TEIXEIRA, M. F. S.; PESSOA, A.; COUTINHO, J. A. P. Isolation of natural red colorants from fermented broth using ionic liquid-based aqueous two-phase systems. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, v. 40, n. 5, p. 507-516, 2013.

RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves. Possui graduação em Engenharia Industrial Química pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Mestrado em Biotecnologia Industrial pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena na área de Microbiologia Aplicada e Genética de Microrganismos, Doutorado em Engenharia Química na área de Processos Biotecnológicos pela Universidade Estadual de Campinas e Pós-Doutorado pela USP. Atualmente é Professor Ensino Superior, Referência III, da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Deputado Roque Trevisan”. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Purificação de Enzimas, atuando principalmente nos seguintes temas: microrganismos, enzimas, fermentação e extração líquidos – líquido.

Rum production: elaboration and chemical characteristics

ALMEIDA, Lara Solange Bastos de
OLAYA, Rafaela Couto
NASCIMENTO, Daniela Defavri do

Abstract

Among the beverages produced based on alcoholic fermentation and distillation, Rum stands out. The distillate is produced from the fermentation of sugarcane molasses, going through two distillation processes, and proceeding to the aging stage. In this project, production was carried out followed by chromatographic, microbiological analyzes and a market research analysis. Through Chromatographic analysis the presence of alcohol content, acetaldehyde, ethyl acetate, N-propanol, isoamyl alcohol and isobutanol were quantified, presenting variable results when compared to the literature. Cell viability of the yeast used in fermentation process was carried out using a Neubauer chamber, totaling a percentage of 84.2% of viable cells, which potentiates the microorganism. The market research presented information where it is observed that the issue of alcoholic beverage consumption is well divided between beers, distillates and mixed drinks, which shows the change in consumer habits over time.

Keywords: physicochemical analysis, fermentation, distillation and market research.

Resumo

Dentre as bebidas produzidas a partir da fermentação alcoólica e destilação, destaca-se o rum. O destilado é produzido a partir da fermentação do melão de cana-de-açúcar, passando por dois processos de destilação e seguindo para a etapa de envelhecimento. Neste projeto, a produção foi realizada seguida de análises cromatográficas, microbiológicas e uma análise de pesquisa de mercado. Através da análise cromatográfica foram quantificados a presença do teor alcoólico, acetaldeído, acetato de etila, N-propanol, álcool isoamílico e isobutanol, apresentando resultados variáveis quando comparados à literatura. A viabilidade celular da levedura utilizada no processo fermentativo foi realizada utilizando-se câmara de Neubauer, totalizando um percentual de 84,2% de células viáveis, o que potencializa o microrganismo. A pesquisa de mercado apresentou informações onde se observa que a questão do consumo de bebidas alcoólicas está bem dividida entre cervejas, destilados e bebidas mistas, o que mostra a mudança nos hábitos de consumo ao longo do tempo.

Palavras chave: Análise físico-química, fermentação, destilação e pesquisa de mercado.

Resumen

Entre las bebidas producidas a partir de la fermentación alcohólica y la destilación, destaca el ron. El destilado se produce a partir de la fermentación de la melaza de caña de azúcar, pasando por dos procesos de destilación y pasando a la etapa de envejecimiento. En este proyecto, la producción se llevó a cabo seguida de análisis cromatográficos y microbiológicos y un análisis de investigación de mercado. Mediante análisis cromatográfico se cuantificó la presencia de contenido alcohólico, acetaldehído, acetato de etilo, N-propanol, alcohol isoamílico e isobutanol, presentando resultados variables en comparación con la literatura. La viabilidad celular de la levadura utilizada en el proceso de fermentación se realizó utilizando una cámara de Neubauer, totalizando un porcentaje del 84,2% de células viables, lo que potencia el microorganismo. La investigación de mercado presentó información donde se observa que el tema del consumo de alcohol está bien dividido entre cervezas, licores y combinados, lo que muestra el cambio en los hábitos de consumo a lo largo del tiempo.

Palabras clave: Análisis físicoquímico, fermentación, destilación e investigación de mercados.

INTRODUCTION

Among the beverages that can be produced based on alcoholic fermentation, rum is particularly interested, a simple distillate produced from the alcoholic fermentation of molasses, the mixture of sugarcane and molasses broth, aged in whole or in part, in an oak container or equivalent wood, preserving its peculiar sensory characteristics (Brasil, 2020).

It is worth remembering that the drink originated in the West Indies and was first recognized in Barbados, around 1650. As for its industrial production, it dates back to the 17th century, in the context of the expansion of sugar production in America promoted by the West India Company. The origin of the word rum is uncertain. Possibly, it could derive: (1) from the Latin word "saccharum" (sugar), (2) from the Spanish word "rumbullion", which means great turmoil, as well as the word "rumbostion", both used by vendors from Eastern countries for the Caribbean and (3) from the Spanish "ron", distillate produced by the Spanish in the Indies, previously the arrival of the English in the Caribbean (Nicol, 2003 quoted by Souza, 2006 p. 16). In this period, rum did not have a good reputation due to the effects that alcohol had on its connoisseurs.

Rum is a drink known for having refined characteristics and mild aroma, which should have an alcohol content of 35% to 54% and sweet taste (Brasil, 2020). The drink is more than 500 years old, having as the largest rum consumer Jamaica, with 90% sales. In addition, rum has molasses as its main raw material, while cachaça uses sugarcane as a fundamental ingredient. Another characteristic of rum is to be a distilled beverage whose fermentation was spontaneous and distillation performed in stills, where several distillations were made before the product was commercialized, being carried out in Jamaica, Barbados, Virgin Islands and São Domingos (Clutton, 1974 cited by Magnani, 2009).

In the production of rum, the result will depend on the fermentation time of the molasses. If it is white, it takes between 24 and 48h of fermentation, while for a darker color this procedure takes about weeks. It is worth remembering that according to Brazilian legislation, the main types of rum are: Light, Heavy and Aged (Brazil, 2020).

It is called Light Rum when you have a coefficient of congeners of the drink of less than 200 mg/100 mL in anhydrous alcohol, while Heavy Rum has a range of 200 to 500 mg/100 mL, obtained exclusively from molasses. And if stored for a period of at least 2 years, it becomes Aged Rum (Brasil, 2020).

The reason for the use of molasses as raw material, is that the product of easy access has

a low cost, in addition to its residues, after fermentation processes can without discarded in nature and of great abundance in our region.

The objective of the work was to produce rum, a by-product derived from sugar cane, in which the parameters evaluated referred to microbiological, physical-chemical analyzes and also the consumer profile in relation to data collection from reserch on market realized.

MATERIAL AND METHODS

Rum was produced from an exclusive base of cane molasses. Molasses acquired from molasses Brasileiros (Saltinho-SP) in buckets of food polypropylene previously sanitized and sanitized with 70% ethanol and peracetic acid.

As molasses is normally acquired in a concentrated form (70-80 °Bx), it was diluted with heated filtered water (50°C) for the preparation of the must at a volume of 20 liters, standardizing it at 18 °Bx (using a digital Brix refractometer), in addition to having been transferred to a polypropylene fermenting bucket.

The liquid yeasts acquired from the company Smart Yeast (Piracicaba - SP) were used to inoculate the must to be fermented, using the strain *Saccharomyces cerevisiae* SYL-200 at a final inoculation rate of approximately 1×10^7 cells/mL (corresponding to 4×10^{11} total cells in 20 L) and there was the use of capsules that serve as nutrients for yeasts, which aids in their best performance.

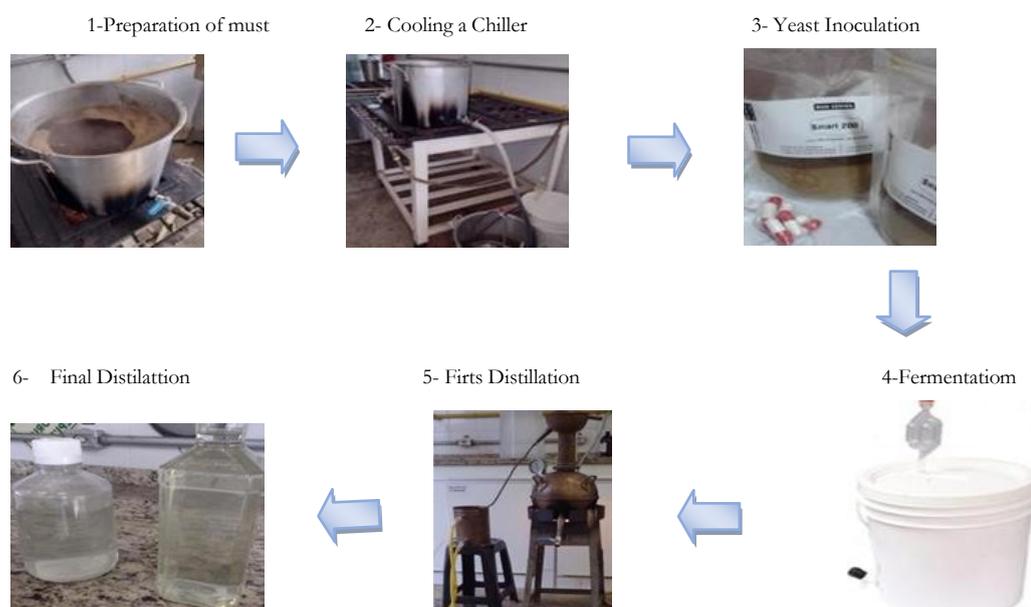
Fermentation was conducted in a polypropylene fermenting bucket and accompanied by brix measurement at the beginning of the fermentation process, using a refractometer to accompany sugar attenuation. The end of fermentation was weighted when it was noticed that there was no more bubble formation in the must, thus considering that the brix measurement was close to zero and no activity was observed in the system (detachment of gases or agitation of the must).

The clarified wine went into the copper still with deflegmador. The system is heated directly to the fire link and the controlled temperature between 90-92°C. The distilled product was obtained by two sequential distillations:

- a) Distillation A: the wine was styled with phase separation, following the steps: 'Head' (1% of the total volume, to be discarded), 'heart' (product obtained after the separation of the 'head' and until the distillate presents an alcoholic graduation between 36 and 38 % v/v) and 'tail' (product obtained after the separation of the head and which was also discarded).

The validated distilled product is the 'heart' fraction. A sample was taken to determine the alcohol content by densitometry in AntoonPaar densimeter after distillation of the sample in an alcohol microdistiller.

- b) Distillation B: In this second stage, the product obtained in distillation "A" was fully distilled, and with this, there being the elimination of congeners that do not add essential characteristics to the beverage.



Chromatographic analysis

After distillation, a chromatographic analysis was performed in the perkin elmer equipment, Clarus 600, chromatograph gas that has an ELITE WAX capillary chromatographic column ($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$) and flame ionization detector (FID). The automatic sampler employed is combipal brand, CTC Analytics model, Pal System, with the oven for headspace. The drag gas used was N_2 , with flow of 1.2 mL min^{-1} , hydrogen was 45 mL min^{-1} and synthetic air was 450 mL min^{-1} , all with a high purity (99.999%). The injector temperature was $150\text{ }^\circ\text{C}$ and the column temperature was programmed to $45\text{ }^\circ\text{C}$ for 1.5 min, with heating at a rate of $9\text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$, up to $153\text{ }^\circ\text{C}$, remaining at this temperature for 1.5 min. The temperature of the detector was $300\text{ }^\circ\text{C}$. The optimized conditions of the headspace were: volume of the decarbonated sample in the vial = 5 mL, heating time = 5 minutes, oven temperature = $80\text{ }^\circ\text{C}$ and volume of collection and injection = 1.5 mL at a speed of $250\text{ }\mu\text{L s}^{-1}$, using the "split" of 50:1 (Bortoleto; Gomes, 2021).

For this, 3 tubes were separated, determined as Ethanol, VOC A and VOC B, and VOC (A and B) are two duplicate samples containing volatile compounds. Respectively, in the first one, 1mL of the sample and 10mL of water were placed, and in the other two, 50uL of acetone and 5 mL of the sample were placed, and then inserted in the chromatograph, where the results of alcohol content; upper alcohols, presence of acetaldehyde and ethyl acetate were obtained.

Microbiological Analysis

To perform the syl-090 yeast cell viability count, a serial dilution was prepared in ten times of the sample, representing 100 uL in a total of 900 uL of distilled water. Then, this same genetic content along with the methylene blue dye, which aims to mark the dead strains, were placed in the Neubauer chamber.

The method performed by this chamber consists of counting the four lateral quadrants and the cells present in the central quadrant, a procedure used by Lucarani; Silva and Bianchi (2011).

The equipment used was the Zeiss Axioskop 40 ergonomic trinocular microscope with 1.25x - 4x - 10x - 40x - 100x, with camera output for documentation; 23 mm wide-plane eyepieces. Zeiss lenses have the following planes: 1.25x NEOFLUAR; 4x ACHROPLAN; 10x ACHROPLAN; 100x NEOFLUAR with Condenser Zeiss 0.9 NA; 35 W halogen lighting, with filter support on the base.

Market Research

Exploratory market research was conducted on Google Forms, a tool provided by Microsoft, in which the choice of this type of data survey was due to the best understanding of the consumer profile, and obtaining insights and ideas that can contribute to the study.

The questions contained in this form aimed to collect information about the Rum drink through the six questions asked, obtaining 121 answers at the end of the research (it is attached at the end of the paper).

RESULTS AND DISCUSSION

From molasses were produced 20 liters of fermented, resulting in a yield of 2 liters of Rum.

Chromatographic Analysis

The values found in the determination of alcohol and distillate volatiles are presented in Table 1, being performed in gas chromatography with the method according to Bortoletto *et al* (2021).

Table 1. Ethanol determination and volatiles

Analyte	Concentration in % (v/v) andmg/L
Ethanol	39,2%
Acetaldehyde	162,5 mg/l
Ethyl acetate	121,6 mg/l
N. Propanol	148,5 mg/l
Isobutanol	255,8 mg/l
Isoamílico alcohol	982,5 mg/l

Source: Author.

According to mapa regulations, the parameters for alcohol content is 35 to 54%, so the rum produced is in accordance with current legislation.

According to the data presented in the previous table, there is a comparison of the compounds in relation to the values shown by Lea and Pigott (2009) in the book *Fermented Beverage Production*, where variations in the results can be observed.

Acetaldehyde values; Ethyl acetate and isoamyl alcohol found in the table are higher when compared to the literature, respectively: 95 mg/L; 39 mg/L; 479 mg/L. On the other hand, the isobutanol content presented by Lea and Pigott (2009) reaches 445 mg/L, being lower than that of the analysis performed, and the authors do not determine the presence of N-propanol. For this reason, it is hypothesized that the difference in the contents of chromatographic analysis and the authors' information is related to the aging of the beverage.

The importance of superior alcohols besides giving aroma and flavor are solvents on other aromatic substances, such as isobutanol (Moreira *et al.*, 1912).

The concentration of acetaldehyde depends on the strain used during the fermentation

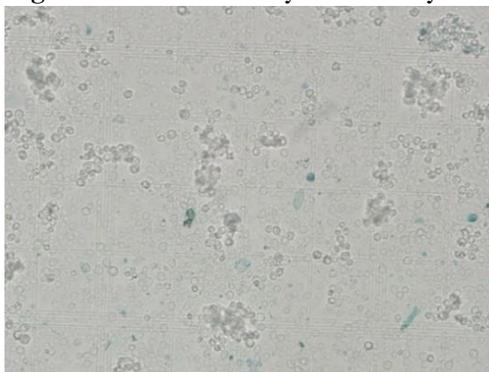
process and ethyl acetate is the main congener found in distilled beverages, giving pleasant flavor and aroma (Nascimento, 2007).

In question of isoamyl alcohol, it is characterized by providing sweetness and fruity aroma, however, these aspects will depend on its volatile fraction. (Moreira *et al.*; 2012).

N-propanol distills during the first distillation due to its characteristics with a high degree of uniformity (Almeida *et al.*, 1984 cited by Moreira *et al.* 2012).

Microbiological Analysis

Figure 1. Observation of yeast viability



Source: author.

The viability of live yeast cells is one of the essential parameters for analyzing a fermentation process, since the yeast strains used can be reused. In the literature by Garcia (2016), viability values were 80.18-84.78 for unclarified musts at the beginning and end of the fermentation process. In the present work, live cells resulted in 84.2%, in which the quadrants counted to carry out this survey were R1, R5, R13, R21, R25, presenting the number of viable cells respectively: 65,43,52,54 and 58, this contributes to the similarity in the fermentation process and performance of the strains for both works.

Market Research

The Google Forms search resulted in 121 responses to Rum. The following are the graphs of some questions.

Figure 2. Rum Knowledge Chart

- Do you know the Rum drink?

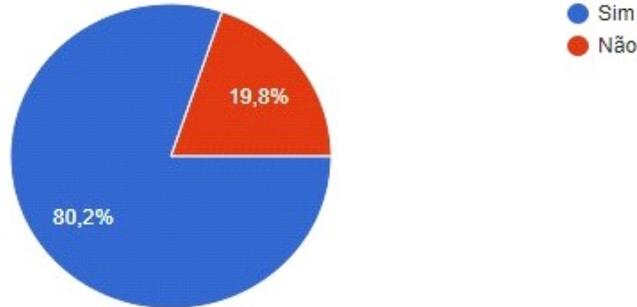


Figure 3. Beverage consumption

- What kind of alcoholic beverage do you consume the most?

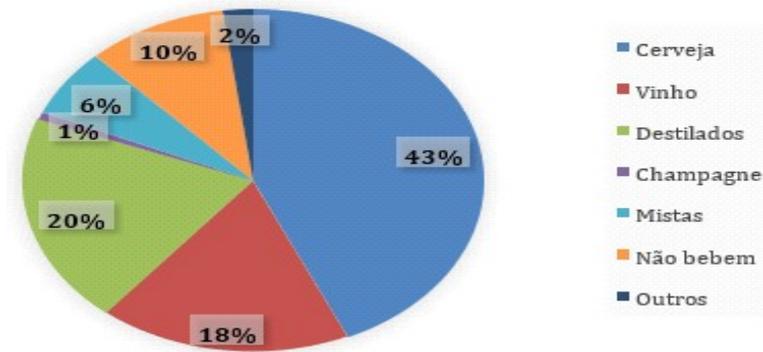


Figure 4. curious to try the rum drink

- If you had the opportunity to taste the handmade Rum, would you prove it?

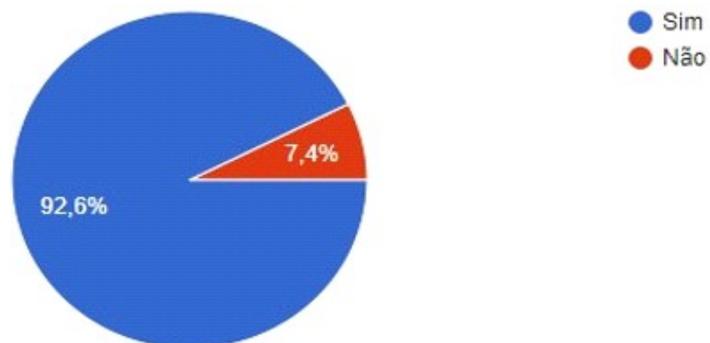


Figure 5. Graph representing the percentage of how many people know the difference between rum and cachaça

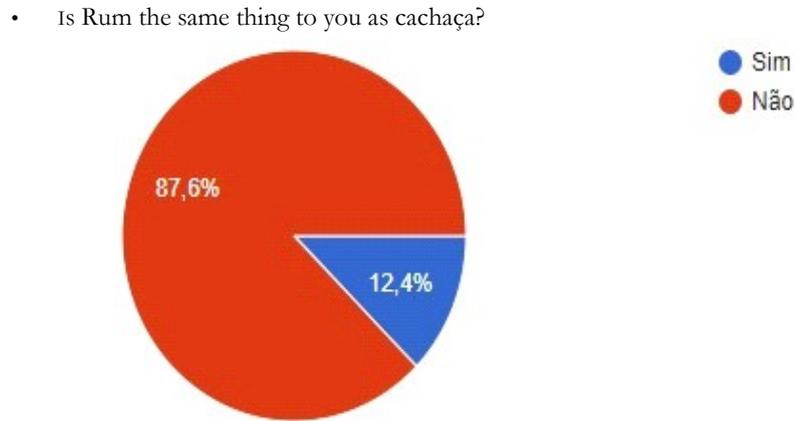


Figure 6. Graph showing the percentage of how many people think Rum is a sweet and bitter drink

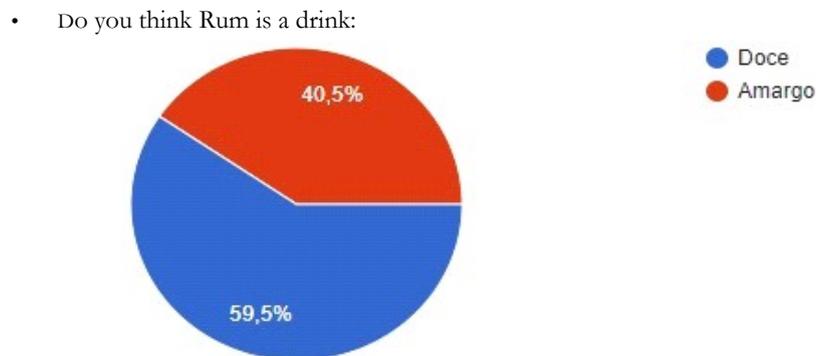
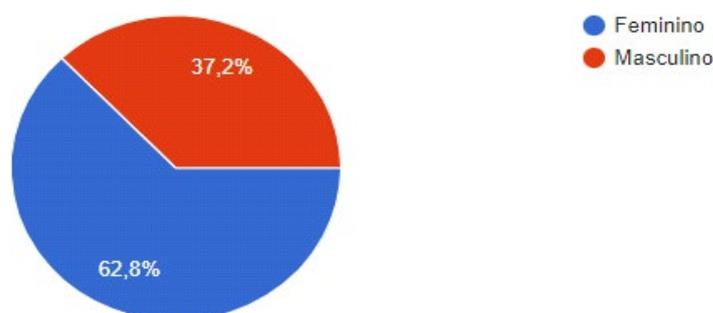


Figure 7. Gender of people interviewed

- What's your gender?



In the research parameter of alcohol consumption, we reached the following results: of the 121 people, 28 of them consume distilled beverages such as cachaça, whisky and vodka, in relation to wines and beers, respectively, were a total of 25 and 61 people. Mixed drinks such as gines, beats, consumption was 9 people; for champagne only one person consumes and finally, 14 people do not consume alcoholic beverages. The category "others" was due to answers that did not provide specified drink. It is worth remembering that rum is presented in the spirits category in the alcoholic beverage parameters.

It is important to mention that about 62.8% of the people who responded to the survey are female, which can be related to the consumption of beverages other than beer. It is worth remembering that some people answered more than one drink, so this generated a higher result in all people who responded to the survey.

CONCLUSION

Through the methodology used in this rum production project, it can be concluded that the beverage produced presented alcohol content according to the legislation.

In the microbiological analysis, the result obtained from yeast cells was expected, presenting a viability of 84.2% of live strains.

According to the data of the market research conducted, about 80.2% know the distillate and 92.6% would prove it if they had the opportunity. In question of the consumption of alcoholic beverages, the public consumes beer more, totaling about 43%, in addition, it is worth mentioning that 87.6% know the difference between Rum and cachaça, however 12.4% think they are the same thing, due to the fact that Rum is not frequently consumed in Brazil, which suggests a better

dissemination of the drink to grow its market potential.

REFERENCES

BERRY, D.R.; SLAUGHTER, J.C. Alcoholic Beverage fermentations. In *Fermented Beverage Production*; Lea, A. G. H., Piggott, J. R., Eds.; Springer: Boston, MA, USA, 2009; pp. 25–39.

BORTOLETO, G. G.; GOMES, W. P. C. Determination of volatile organic compounds in craft beers by gas chromatography and headspace sampling. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, eXX, 2021 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.XX>.

BRAZIL, Decree 6.871/2009, art. 54, IN MAPA 15/2011, Resolution RDC 05/2013, item 16.1.1.3, amended by Resolution RDC GARCIA, Graciany. Tratamento de caldo e tipos de fermentos sobre os componentes secundários e qualidade da cachaça de alambique. 2016.

LUCARINI, A.C.; SILVA, L.A.; BIANCHI R. A. C. A system for semi-automatic counting of microorganisms. *RESEARCH & FEI TECHNOLOGY* - No. 26, 2011, p 36-40. Available in <http://fei.edu.br/~rbianchi/publications/RevistaFEI2004-a.pdf> accessed on October 20, 2022.

MAGNANI, B. D. *Comparative study of the sensory characteristics of rum and cachaça*. Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho" Faculty of Pharmaceutical Sciences, 2009.

MOREIRA, R. F. A.; NETTO, C. C.; MARIA, C. A. B. The volatile fraction of sugarcane spirits produced in Brazil. Department of Biochemistry, Biomedical Institute, Federal University of the State of Rio de Janeiro, Rua Frei Caneca, 94, 20211-040 Rio de Janeiro - RJ, Brazil. *Quim. Nova*, Vol. 35, No. 9, 1819-1826, 2012.

NASCIMENTO, E. S. P. *Ésteres em aguardante de cana: seu perfil*. São Carlos, 2007.

SOUZA, Maria Djiliah Camargo Alvarenga de. *Identification, quantification and comparison of chemical substances responsible for the aromas of still cachaça and commercial rum treated by the irradiation process*. 2006. Doctoral thesis. University of São Paulo.

ALMEIDA, Lara Solange Bastos de. Graduada em Tecnologia dos Alimentos pela Faculdade de Tecnologia (FATEC), campus Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. Durante 16 (dezesseis) meses atuou como estagiária produzindo meios de culturas, preparando mostos de melaço para propagar leveduras, assim como análises Físico-Químicas de bebidas alcóolicas na startup Smart Yeast incubada na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP). Atualmente atua como mestranda em Química na Agricultura e no Ambiente no Centro Nuclear na Agricultura (CENA/USP), no qual está sendo desenvolvido um projeto que visa no reaproveitamento de cascas de café como carga de reforço no desenvolvimento de filmes biodegradáveis, além de possuir licenciatura em Química R2. Faculdade de tecnologia (FATEC) de Piracicaba Deputado Roque Trevisan, Tecnologia em Alimentos, Av. Diácono Jair de Oliveira, 651 - Santa Rosa Ipês, 13414-141 Piracicaba, São Paulo, 551934131702: larabastosalmeida@gmail.com

OLAYA, Rafaela Couto. Acadêmica do Curso Superior em Tecnologia em Alimentos pela FATEC Piracicaba Dep. "Roque Trevisan" e Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Açúcar e álcool, Av. Pádua Dias, 11 - Agronomia, 13418-900 Piracicaba, São Paulo. rcoutoolaya@gmail.com

NASCIMENTO, Daniela Defavri do. Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade de São Paulo (1997), graduação em Licenciatura Em Ciências Agrárias pela ESALQ/USP (1998), mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela ESALQ/USP (2000) e doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela ESALQ/USP (2005). Especialista (MBA) em Agronegócios pelo PECEGE/ESALQ/USP (2012). Tem experiência na área de Agronomia e Fermentações, com ênfase em Bioquímica e Biologia Molecular, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento e análise de cervejas especiais, cultura de tecidos, micropropagação de plantas, clonagem gênica, transformação genética de plantas (Tabaco, Arabidopsis, Eucalipto e cana-de-açúcar), análises moleculares. Desde 2010 é professora concursada por prazo indeterminado para as disciplinas: Biotecnologia e Bioetanol do curso de Graduação em Biocombustíveis; e Biotecnologia e Bioquímica de Alimentos do curso de Graduação em Alimentos, todos da FATEC Piracicaba "Deputado Roque Trevisan".

Aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS

FRANCHINI, Ana Paula
ROTH, Joyce Cristina Gonçalves
CARDOSO André de Lima
BORDIN, Silvia Santin

Resumo

A suinocultura é uma atividade de grande destaque na economia brasileira e vem se intensificando cada vez mais na região sul do país. No entanto, dada a natureza poluidora dessa atividade, se faz necessário o emprego de um sistema eficiente de gestão aos resíduos gerados evitando impactos ambientais negativos. O uso do biodigestor aparece como uma alternativa para o tratamento desses dejetos, representando importância ambiental e econômica. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi o de avaliar os aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS através de uma (i) pesquisa bibliográfica acerca da temática envolvida; (ii) caracterização e levantamento do perfil das propriedades no município junto a Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente de Itatiba do Sul e (iii) avaliação dos aspectos econômicos e ambientais do processo de biodigestão, utilizando a metodologia de Kunz e Oliveira (2006) e UFCCC (2004) (Protocolo de Kyoto). Foi estimada a produção diária de metano e os aspectos ambientais e econômicos da geração de biogás, considerando o sistema de lagoas e biodigestores. Para as 24 propriedades analisadas, estimou-se a produção diária de energia em 6.968,627 kWh e que as lagoas seriam capazes de lançar cerca de 6 vezes mais gases de efeito estufa. Os biodigestores são uma alternativa de tratamento pelos ganhos ambientais e pela capacidade de conversão energética. Entretanto, o custo de implementação e a falta de alcance dos incentivos legais e financeiros acabam dificultando a adoção dessa prática no município.

Palavras-chave: Biodigestores. Metano. Suínos.

Abstract

Pig farming is an activity that stands out in the Brazilian economy and has been increasingly in the southern region of the country. However, due to its pollutant nature, it is necessary to employ a efficient management system for the waste generated to avoid negative environmental impacts. The use of the biodigester appears as an alternative for treating this waste, representing environmental and economic importance. Thus, the objective of this work was to evaluate the environmental and economic aspects associated with the treatment of pig farming waste in the municipality of Itatiba do Sul, RS through (i) bibliographical research on the topic involved; (ii) characterization and survey of the profile of the municipality's properties with the Municipal Department of Agriculture, Livestock and Environment of Itatiba do Sul and (iii) evaluation of the economic and environmental aspects of the biodigestion process, using the Kunz and Oliveira methodology (2006) and UFCCC (2004) (Kyoto Protocol). The daily methane production and the environmental and economic aspects of biogas generation were estimated, considering the system of lagoons and biodigesters. For the 24 properties analyzed, daily energy production was estimated at 6,968,627 kWh and that the lagoons would be capable of releasing around 6 times more greenhouse gases. Biodigesters are a treatment alternative due to their environmental gains and energy conversion capacity. However, the cost of implementation and the lack of coverage of legal and financial incentives end up making it difficult to adopt this practice in the municipality.

Keywords: Biodigesters. Methane. Pigs.

RESUMEN

La cría de cerdos es una actividad destacada en la economía brasileña y se ha intensificado cada vez más en la región sur del país. Sin embargo, dado el carácter contaminante de esta actividad, es necesario emplear un sistema de gestión eficiente de los residuos generados, evitando impactos ambientales negativos. El uso del biodigestor aparece como una alternativa para el tratamiento de estos residuos, que representan importancia ambiental y económica. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar los aspectos ambientales y económicos asociados al tratamiento de residuos de la cría de cerdos en el municipio de Itatiba do Sul, RS a través de (i) investigación bibliográfica sobre el tema involucrado; (ii) caracterización y levantamiento del perfil de propiedades del municipio con la Secretaría Municipal de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Itatiba do Sul y (iii) evaluación de los aspectos económicos y ambientales del proceso de biodigestión, utilizando la metodología de Kunz y Oliveira (2006) y UFCCC (2004) (Protocolo de Kyoto). Se estimó la producción diaria de metano y los aspectos ambientales y económicos de la generación de biogás, considerando el sistema de lagunas y biodigestores. Para las 24 propiedades analizadas, la producción energética diaria se estimó en 6.968,627 kWh y que las lagunas serían capaces de liberar alrededor de 6 veces más gases de efecto invernadero. Los biodigestores son una alternativa de tratamiento por su beneficio ambiental y capacidad de conversión de energía. Sin embargo, el costo de implementación y la falta de alcance de incentivos legales y financieros terminan dificultando la adopción de esta práctica en el municipio.

Palabras clave: Biodigestores. Metano. Cerdos.

INTRODUÇÃO

A suinocultura é reconhecida como uma atividade de grande importância econômica para o Brasil e ocupa a quarta posição na produção de suínos ficando atrás somente dos Estados Unidos, União Europeia e da China (EMBRAPA, 2022). Em 2022, a produção de suínos foi de 4,983 milhões de toneladas, das quais 22,78% foi exportada e 77,52% serviram ao mercado interno, gerando um valor bruto de 31,946 bilhões de reais (ABPA, 2023).

Para a região sul do país esta atividade também se destaca. O Estado do Rio Grande do Sul ocupou a terceira posição nacional em termos de produção no primeiro semestre de 2022, o que representa 4.793.865 cabeças de suínos (ABCS, 2022).

De acordo com Habas *et al.* (2016) a atividade suinícola assume um papel importante na economia dos municípios possibilitando a geração de emprego e renda. Ela é desenvolvida especialmente em pequenas propriedades rurais onde a mão-de-obra familiar é empregada nas práticas produtivas (Ito *et al.*, 2016).

Até a década de 1970 os dejetos suínos não caracterizavam um grave problema ambiental, pois o número de animais era relativamente pequeno e os dejetos eram destinados ao solo com finalidade de adubação orgânica. Desde então, essa atividade se intensificou e a gestão inadequada dos resíduos resultantes desses sistemas de produção passaram a gerar agressões ambientais (Ito *et al.*, 2016).

A intensificação das atividades de suinocultura provoca também o aumento na produção de dejetos suínos que precisam de um sistema de gestão adequado a fim de evitar significativos impactos negativos sobre o meio ambiente. Estima-se que os dejetos de suínos apresentam potencial poluente de cerca de 260 vezes ao esgoto doméstico (Alcócer *et al.*, 2020), revelando seu grande potencial poluidor.

Por esta razão, normas legais e recomendações técnicas foram elaboradas a fim de tentar minimizar os impactos ambientais inerentes a essa prática. Nessa perspectiva, a produção de suínos está condicionada ao licenciamento ambiental, procedimento administrativo conduzido pelo órgão ambiental competente e que avalia a localização das instalações, técnicas de tratamento e destinação final dos dejetos produzidos pela atividade e que são passíveis de degradação ambiental (Bezerra *et al.*, 2014).

Considerando a natureza dos impactos negativos desta atividade, somado ao aumento de animais em confinamento, a obtenção da licença ambiental está condicionada a apresentação de

alternativas dentro dos princípios ambientais que possam minimizar os efeitos danosos dessa prática sobre o meio ambiente (CONAMA, 1997). Diante disso, algumas opções são apresentadas para mitigar os problemas causados pela atividade.

Os biodigestores consolidam-se como uma opção valiosa para o aproveitamento de dejetos e demais resíduos orgânicos dessa cultura, contribuindo no saneamento ambiental e na diminuição de custos no setor rural (Milanez *et al.*, 2018). Desse modo, os resíduos podem ser revertidos em solução energética e ambiental pela a minimização dos impactos ambientais, geração do biogás e do biocomposto e consequente a valorização da propriedade rural (Pinto *et al.*, 2014; Perossi *et al.*, 2017; Alcócer *et al.*, 2020; Mazzonetto *et al.*, 2023).

O município de Itatiba do Sul, RS, possui 24 propriedades rurais exercendo atividade de criação de suínos exclusivamente no regime de terminação em sistema de produção intensivo (Itatiba do Sul, 2023). Estima-se que o número aproximado seja de 22.200 mil animais, o que representa cerca de 99 m³ de dejetos produzidos diariamente, considerando que cada animal produz 4,46 L de dejetos diários (Kunz; Oliveira 2006). Esses dejetos são armazenados em esterqueiras onde permanecem 120 dias e, após, são depositados em terras agricultáveis.

A fim de alavancar a economia no município de Itatiba do Sul, em 16 de outubro de 2017 foi publicada a Lei Municipal nº 2833, que trouxe entre outras providências, o programa de incentivo a regularização sanitária de pocilgas (Itatiba do Sul, 2017). No município supracitado, as atividades de suinocultura são desenvolvidas pela mão-de-obra familiar, gerando renda e permitindo que permaneçam no campo.

Segundo dados da Associação de Criadores de Suínos do Rio Grande do Sul (ACSURS, 2023), no ano de 2021 foram abatidos 54.589 suínos criados no município de Itatiba do Sul, ocupando o 62º lugar na classificação do Estado. Já em 2022 o município ocupou a 68º posição na classificação do Estado, sendo abatidos 55.715 suínos, contabilizando um acréscimo de 1.126 animais abatidos de um ano para o outro.

Diante do exposto e observando o grande volume de resíduos gerados e as expectativas de crescimento dessa atividade, o objetivo desse trabalho é o de avaliar os aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS.

1. METODOLOGIA

Este estudo tem natureza exploratória descritiva conforme define Gil (2007) e foi dividido em diferentes etapas (Quadro 1).

Quadro 1: Sequência Metodológica do Estudo

Etapa	Atividade
I	Pesquisa bibliográfica acerca da temática
II	Caracterização e levantamento do perfil das propriedades rurais no município de Itatiba do Sul, RS.
III	Organização e análise dos dados coletados

Fonte: Autores (2023).

Para a pesquisa realizada na Etapa I, foram utilizadas como fonte de consulta artigos científicos (acesso pelos bancos de dados como *Scielo*, *Scopus*, Google Acadêmico), normas legais de âmbito federal, estadual e município disponíveis em sites e órgãos vinculados a atividade de suinocultura.

Para a Etapa II, as informações foram obtidas por meio do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), disponibilizado pela Secretaria de Meio Ambiente do Município (Itatiba do Sul, 2023). Esse documento, de acesso público, contém informações sobre os impactos ambientais de projetos e atividades potencialmente prejudiciais à saúde e à estabilidade do meio ambiente. Foram incluídas nessa consulta as propriedades que são caracterizadas como empreendimentos suínolas, os quais foram mapeados (sem a identificação do proprietário).

Na Etapa III, foram avaliados a potencialidade econômica e ambiental vinculado ao processo de biodigestão, como alternativa de tratamento e disposição final de dejetos de suínos. Para a avaliação do potencial econômico, foi estimado a produção de metano vinculado às propriedades, adotando-se a metodologia de Kunz e Oliveira (2006).

Estes autores propõem o uso da Equação 1 como forma de calcular o volume dos efluentes gerados diariamente, onde N° é o número de animais e PD é o volume de dejetos produzidos por animal ao dia ($m^3_{\text{dejeito}} \text{ dia}^{-1}$) e da Equação 2 para determinação da produção teórica de gás metano diária, onde β_0 é capacidade de produção de metano pelo dejeito, SV os sólidos voláteis presentes no dejeito e Q o volume de dejetos gerados ao dia ($m^3 \text{ dia}^{-1}$).

$$Q = N^{\circ} \times PD \quad (1)$$

$$\text{Produção teórica } (m^3 \text{ CH}_4 \text{ dia}^{-1}) = \beta_0 \times SV \times Q \quad (2)$$

Aliado a estimativa produção teórica foi necessário avaliar a capacidade de conversão energética, e nesse sentido, salienta-se que a combustão de combustíveis gasosos ocorre após a compressão deles a alta pressão, o que gera energia térmica que é convertida em energia mecânica.

Considerando os motores de combustão interna, cujo rendimento equivale a 25% (Nishimura *et al.*, 2009), a relação de equivalência de energia elétrica e biogás é de 1,62 kWh para cada m³.

Para a avaliação da variável ambiental, foram considerados dois cenários: (I) tratamento dos dejetos de suínos em lagoas abertas e (II) tratamento dos dejetos em biodigestores. A estimativa da redução de emissão de carbono, em tCO_{2eq}/ano foi então determinada conforme metodologia proposta por UFCCC (2004) "Redução de emissão de gases de efeito estufa para sistemas de manejo de dejetos" (AM0006) (Equações 3 e 4), dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), instituído pelo Protocolo de Kyoto.

As emissões relacionadas ao biodigestor são estimadas a partir da Equação 4, onde d_{metano} é a densidade do gás metano na temperatura de 20 °C e a 1 atm de pressão (kg m⁻³), FCM é o fator de conversão do metano para o sistema de tratamento de dejetos conforme o clima (adimensional), PAG é o potencial aquecimento global de CH₄ (adimensional).

$$E_{\text{metano}} (\text{tCO}_{2\text{eq}}/\text{ano}) = \text{SV} \cdot \beta_0 \cdot d_{\text{metano}} \cdot \text{FCM}_{\text{biod}} \cdot \text{PAG} \cdot \text{N}^{\circ}_{\text{animais}} \cdot 0,365 \quad (3)$$

As emissões de CH₄ relacionadas à lagoa de armazenamento abertas são estimadas a partir da Equação 4, onde Rsv é a redução relativa de SV na fase de tratamento considerada. Para determinação do valor de Rsv, foi considerado a pesquisa realizada por Sousa *et al.* (2014) considerando os sistemas de lagoas de estabilização em série para avaliar a redução do seu potencial poluidor de resíduos de suínos. Considerou-se o valor de entrada e saída da lagoa anaeróbia obtida na referida pesquisa, atingindo-se o valor de 0,24 (STV_{entrada}/STV_{saída}).

$$E_{\text{metano}} (\text{tCO}_{2\text{eq}}/\text{ano}) = \text{SV} [1-\text{Rsv}] \beta_0 \cdot d_{\text{metano}} \cdot \text{FCM}_{\text{lagoa}} \cdot \text{PAG} \cdot \text{N}^{\circ}_{\text{animais}} \cdot 0,365 \quad (4)$$

Destaca-se que o uso dessas equações envolve o emprego de variáveis padronizadas e de resultados fundamentados em outros trabalhos, e por isso, representam apenas uma estimativa. Acrescenta-se que, para uma avaliação mais precisa, uma avaliação *in loco* seria necessária.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.1 Importância da Suinocultura e Perfil das Propriedades Rurais

A criação de suínos é considerada uma das atividades mais relevantes no Estado do Rio grande do Sul, possuindo uma grande importância social e econômica (Rio Grande do Sul, 2022). Essa atividade intervém diretamente na geração de emprego e renda para inúmeras famílias que empregam a mão de obra e que podem se beneficiar da importância econômica do setor.

A Lei Municipal de Incentivo e ampliação de empreendimentos suínos em Itatiba do Sul (2017), possibilitou que mais produtores aderissem a essa atividade como fonte de renda e permanência no meio rural. A Figura 1, demonstra o crescimento da produção de suínos entre os anos de 2013- 2022.

Através dela, é possível observar o crescente aumento do número de suínos criados no município ao mesmo tempo em que se percebe a oscilação da posição do município de Itatiba do Sul ocupada no *ranking* estadual. Isso ocorre devido o provável aumento no número de animais criados nos demais municípios do Estado do Rio Grande do Sul.

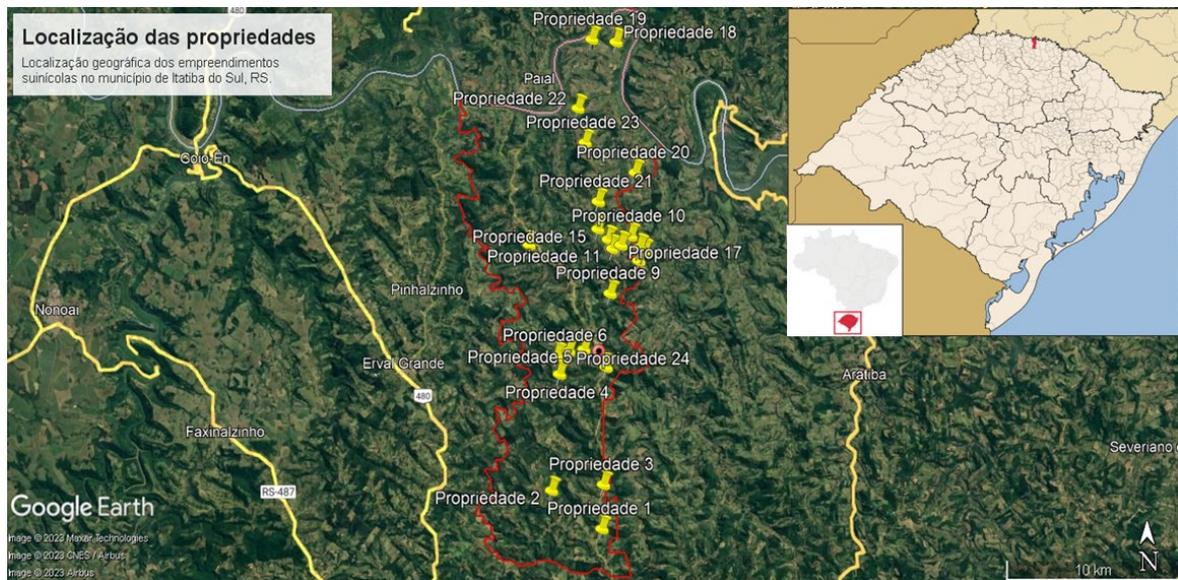
Figura 1: Produção anual de suínos (cabeças) e ranqueamento do município de Itatiba do Sul



Fonte: Adaptado de ACSURS (2022).

As 24 propriedades que desenvolvem a atividade de suinocultura estão distribuídas em toda a extensão territorial do município. Elas são identificadas pela Figura 2.

Figura 2: Localização geográfica das propriedades rurais suinícolas do município de Itatiba do Sul, RS



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2023).

A Tabela 3 apresenta dados obtidos referentes a localidade e quantidade de animais alojados em cada empreendimento. Essa contabilização não levou em conta o sistema de criação, sendo considerado, para todas as propriedades, animais em fase terminação. Esta mesma consideração foi aplicada aos cálculos estimados para as taxas de produção de resíduos, produção de metano e de emissões (tCO_{2eq}/ano) considerando o sistema de biodigestão e de lagoas abertas.

Os dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente (Itatiba do Sul, 2023), fazem referência a um lote de produção de suínos por propriedade, contabilizando 22.200 animais (Tabela 3). Já a Figura 1 apresenta valores anuais de produção e neste caso, o número de animais produzidos no município foi de 55.715 no ano de 2022. Essa diferença é justificada pelo fato de as propriedades alojarem até 3 lotes anuais.

Tabela 3: Número de e quantidade de animais alojados no município de Itatiba do Sul

Propriedade	Localidade	Número de animais alojados
1	Povoado Tozzo	2.000
2	Povoado Parobézinho	1.000
3	Povoado Lagoa Seca	1.000
4	Povoado Rakaloski	1.000
5	Linha Abissinea	500
6	Linha Abissinea	500
7	Bairro Fundeck	500
8	Povoado Sete Lagoas	2.000
9	Linha Picoli	700

10	Povoado Derrubadas	1.000
11	Povoado Derrubadas	500
12	Povoado Derrubadas	500
13	Povoado Derrubadas	500
14	Povoado Derrubadas	1.000
15	Povoado Derrubadas	1.000
16	Povoado Derrubadas	1.000
17	Povoado Derrubadas	500
18	Povoado Saltinho	1.000
19	Povoado Saltinho	1.000
20	Povoado Pitanga Alta	500
21	Povoado Pitanga Alta	1.000
22	Povoado Pitanguinha	1.000
23	Povoado Campo do Açoita	2.000
24	Linha Abissinea	500

Fonte: Adaptado de Itatiba do Sul (2023).

Os animais em fase de crescimento/terminação permanecem no alojamento durante 120 dias, aproximadamente. Após o carregamento o local passa pelo processo de limpeza e desinfecção e no mínimo mais cinco dias de descanso. Esse processo recebe o nome de vazio sanitário e é fundamental para a eliminação de patógenos antes do recebimento do próximo lote de suínos (EMBRAPA, 2003).

2.2 Estimativa de Produção Teórica de Metano

Segundo Ritter *et al.* (2013) a produção de dejetos varia de acordo com o peso e o seu desenvolvimento, além disso a quantidade de dejetos líquidos produzidos pelos suínos depende também do manejo e sistema de limpeza utilizados. Somado a isso, o tipo de alimentação, tecnologia empregada no processo de biodigestão e variáveis climáticas poderão interferir no potencial de produção do biogás (Silva *et al.*, 2015).

Assim, para calcular o volume de dejetos produzidos por animal (Equação 1) e para a estimativa teórica de produção diária de metano (Equação 2) (Kunz; Oliveira, 2006). Em se tratando de dejetos de suínos, foram considerados os valores indicados Kunz e Oliveira (2006), que são: $PD = 4,46 \text{ L animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$; $\beta_0 = 0,45 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}_{sv}^{-1}$ e $SV = 53,1 \text{ kg}_{sv} \text{ m}^3_{\text{dejetos}}^{-1}$. Desse modo, a Tabela 4 traz as estimativas de produção de resíduos ($\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$) e de biogás por número de animais alojados nas 24 propriedades rurais.

Tabela 4: Estimativa diária de dejetos produzidos e produção de metano para as propriedades do município de Itatiba do Sul

Propriedade	Número de animais alojados	Q (m ³ dia ⁻¹) ¹	Produção teórica CH ₄ (m ³ dia ⁻¹) ²
1	2.000	8,920	213,143
2	1.000	4,460	106,572
3	1.000	4,460	106,572
4	1.000	4,460	106,572
5	500	2,230	53,286
6	500	2,230	53,286
7	500	2,230	53,286
8	2.000	8,920	213,143
9	700	3,120	74,600
10	1.000	4,460	106,572
11	500	2,230	53,286
12	500	2,230	53,286
13	500	2,230	53,286
14	1.000	4,460	106,572
15	1.000	4,460	106,572
16	1.000	4,460	106,572
17	500	2,230	53,286
18	1.000	4,460	106,572
19	1.000	4,460	106,572
20	500	2,230	53,286
21	1.000	4,460	106,572
22	1.000	4,460	106,572
23	2.000	8,920	213,143
24	500	2,230	53,286
Total	22.200	99,012	2365,892

1- Calculado pela aplicação da Eq. (1)

2- Calculado pela aplicação da Eq. (2)

Fonte: Autores (2023).

2.3 Aspectos Ambientais e Econômicos da Geração de Biogás

A digestão anaeróbia representa uma opção ambiental interessante quando se pensa nas reduções de gases de efeito estufa (GEE) em comparação a disposição dos dejetos de suínos em lagoas abertas. Nessa última modalidade, há escape para o ambiente dos GEE, sem qualquer possibilidade de aproveitamento energético (Bühning, Silveira, 2016).

Neste sentido, a análise de aspectos ambientais associados foi feita a partir das emissões dos gases de efeito estufa, convertidos em CO₂ equivalente para as propriedades suinícolas de Itatiba do Sul para os dois cenários (por meio da aplicação das Eq. 3 e 4).

As emissões de CH₄ relacionadas ao sistema de biodigestão foram estimadas através da Equação 3 e resultaram em 991,880 tCO_{2eq}/ano. Para estimar as emissões de CH₄ relacionadas à lagoa de armazenamento abertas utilizou-se a Equação 4, resultando em 5.804,482 tCO_{2eq}/ano.

Para emprego nas Equações 3 e 4, os valores considerados de SV e B₀ foram ajustados para 0,3 (kg animais⁻¹dia⁻¹) e 0,29 (m³ CH₄ kg⁻¹), respectivamente, conforme indicado por Foster *et al.*

(2018), para suinocultura. Esse ajuste foi empregado para adequação dos modelos propostos por UFCCC (2004) e cálculo das emissões equivalentes de CO₂.

Segundo IPPC (2006), o valor de FCM para a biodigestão pode variar de 1 – 100%, de acordo com quantidade de recuperação do biogás, queima do biogás, armazenamento após a digestão entre outras variáveis. Para efeitos de cálculos, foi considerado o valor de 0,1 (Bühning; Silveira, 2016; Foster *et al.*, 2018).

Já para os sistemas de lagoas anaeróbicas, o valor empregado foi de 0,77 (Foster *et al.*, 2018) para o FCM, conforme média anual do município (~18 °C) (Itatiba do Sul, 2012). O valor da densidade do metano, para os cenários foi de 0,67 kg m⁻³, conforme indicado por Bühning e Silveira (2016).

Se tratando de potencial poluidor das substâncias presentes no biogás, o gás metano é considerado 21 vezes mais poluente do que o dióxido de Carbono considerando um tempo de 100 anos (Foster *et al.*, 2018), valor esse empregado nas Equações 3 e 4. Após a aplicação dos valores nas fórmulas e obtenção do resultado de emissão equivalente de carbono em biodigestores e lagoas de estabilização, foi possível observar que, a emissão através do sistema de lagoas representa cerca de 5,92 vezes em comparação ao sistema de biodigestão.

Já se esperava um valor de emissão mais alto para o sistema de lagoas abertas, devido ao escape dos GEE para a atmosfera, resultado também comparado ao obtido por Angonese *et al.* (2007) que destacam que por mais vantajosa que seja, a curto prazo a instalação de lagoas anaeróbicas para o tratamento de dejetos de suínos, a médio/longo prazo, os biodigestores trazem benefícios ambientais especialmente voltados a redução das emissões de GEE, e a possibilidade de geração de receita pela negociação dos créditos de carbono (MILANEZ *et al.*, 2018).

Segundo Perdomo *et al.* (2001) estima-se que a implantação de lagoas de estabilização represente 10 vezes menos do que o investimento em sistema de biodigestão. E isso se reflete diretamente nos sistemas de tratamento difundidos no país.

No Brasil, 95% das propriedades que desenvolvem atividade suinícola realizam o manejo dos dejetos dos animais através de lagoas de estabilização, por ser um sistema de baixo custo de implantação. No entanto durante o armazenamento, esses dejetos liberam principalmente gases metano e amônia e a posterior aplicação no solo acrescenta a emissão de dióxido de carbono e óxido nítrico. A substituição desse sistema convencional por biodigestores possibilita a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa (Perossi *et al.*, 2017; EMBRAPA, 2022).

No entanto, a implantação de um biodigestor necessita um investimento financeiro considerável, o que faz com que os produtores percam o interesse por esse tipo de alternativa para

sua propriedade. Nesse sentido, além do incentivo municipal para o crescimento da produção de animais, são necessárias ações que incentivem os produtores a buscarem alternativas, como a implantação de biodigestores para a mitigação de impactos ambientais negativos oriundos a atividade, aliados aos benefícios econômicos que esse sistema pode reverter para a propriedade, (de Menezes *et al.*, 2023).

Isso reforça os dados apresentados por Anis *et al.* (2020) em um estudo de viabilidade econômica de implementação de biodigestores em pequenas propriedades no município de Dourados, MS. Os autores demonstram, a partir de um cenário de investimento 100% próprio e outro 80% financiado, ser economicamente viável com uma taxa de retorno média estimado em 5 anos.

De acordo com USEPA (2020), os gases presentes majoritariamente na composição do biogás são o metano 50-55% e dióxido de carbono 45-50%, seguido por outros componentes gasosos que apresentam concentrações menores como o nitrogênio, hidrogênio, oxigênio, monóxido de carbono e sulfeto de hidrogênio. Para a estimativa de conversão energética foi considerado a composição de 55% de CH₄ para cada m³ de biogás gerado.

A partir da estimativa de produção diária de metano (Tabela 4), para as 24 propriedades suinícolas, foi possível estimar que a produção diária de energia seria de 6.968,627 kWh.

De acordo com a Companhia Rio Grande Energia- RGE (2023), a tarifa rural foi tabelada pela Resolução 3.026/2023 da ANEEL, com vigência a partir de 19 de junho do mesmo ano, em R\$ 0,71 kWh. Esse valor é a soma da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Energia (TE), não estando incluídos demais tributos.

Com base no valor estabelecido, foi possível estimar que 6.968,60 Kwh diários correspondem ao valor de R\$ 4.947,725. Considerando a geração mensal, o valor estimado seria de R\$ 148.431,762.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu compreender a importância dos biodigestores sob a ótica econômica e ambiental relacionada a atividade suinícola. Com base na metodologia utilizada foi possível observar que o tratamento dos dejetos suínos em lagoas de estabilização possui um potencial poluidor cerca de seis vezes maior do que o sistema de tratamento em biodigestores. Além disso as lagoas de estabilização não oferecem nenhum benefício econômico, como a geração de energia.

Apesar de ser uma alternativa positiva para o tratamento dos dejetos, os biodigestores ainda são pouco difundidos na região. No município de Itatiba do Sul, especificamente, não há nenhum

equipamento implantado. Acredita-se que o desestímulo dos produtores em relação a esse sistema seja pela falta de conhecimento técnico e principalmente pela insuficiência e alcance de incentivos governamentais.

Os resultados obtidos demonstram viabilidade do sistema quando são consideradas a produção de dejetos de todas as propriedades, no entanto não é possível concentrar toda quantidade diária de dejetos em um biodigestor visto que as propriedades são distribuídas em toda extensão territorial de Itatiba do Sul.

Para o município em questão, poderia ser proposto a implantação de um biodigestor para uso conjunto das propriedades 14,15 e 16 devido à proximidade geográfica entre elas, considerando que cada uma delas tem capacidade de 1000 animais por lote. Estima-se que a produção diária de dejetos seria 13,38 m³, com produção diária de cerca de 320 m³ CH₄. Isso representaria a geração de 941,716 Kwh de energia, contabilizando R\$ 668,618 diários, R\$ 20.060,43 mensais e R\$ 240.725,16 anuais.

O custo de implantação somado as dificuldades na aquisição de incentivos para essa implantação, e o desconhecimento dos benefícios ambientais e econômicos, podem contribuir para a ausência desse tipo de processo no município. Diante desse contexto, entende-se que o poder municipal poderia criar meios para disseminação desse sistema de tratamento aliado a incentivos na forma de Lei para que os produtores possam aderir a essa alternativa e diminuir consideravelmente o impacto negativo da atividade suinícola sobre o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABCS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS. *Dados de mercado de suínos*. 2022. Disponível em: [Dados-de-Mercado-Primeiro-Semestre-2022.pdf](#). Acesso em: 23 nov. 2022.

ABPA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. *Relatório anual*. 2023. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2023.

ACSURS. ASSOCIAÇÃO DE CRIADORES DE SUÍNOS DO RIO GRANDE DO SUL. *Abate de Suínos*. 2021. Disponível em: https://acsurs.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Abates-Suinos-RS-2021__.pdf. Acesso em: 23 nov. 2022.

ALCÓCER, J. C. A. *et al.* Uso do biodigestor na suinocultura: uma alternativa a sustentabilidade ambiental na região do Maciço de Baturite, Ceará. R. *Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 783-818, 2020.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 34-50

Aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS

FRANCHINI, Ana Paula; ROTH, Joyce Cristina Gonçalves; CARDOSO André de Lima; BORDIN, Silvia Santin

ANGONESE, R.C; CAMPOS, A.T; WELTER, R.A. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor, *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 648-657, 2007.

ANIS, C.F. *et al.* Viabilidade econômica para implantação de um biodigestor: uma alternativa para o pequeno produtor rural suinocultor. *Multitemas*, p. 147-168, 2020.

BEZERRA, K. L. *et al.* Uso de biodigestores na suinocultura. *R. Eletrônica nutri-me.* v. 11, p. 3714-3722. 2014.

BÜHRING, G.M.B; SILVEIRA, V.C.P. O biogás e a produção de suínos do sul do Brasil. *R. Brasileira de Energias Renováveis*, Paraná, v. 5, n. 2, p. 222-237, 2016.

COMPANHIA RIO GRANDE DE ENERGIA, CEE. *Taxas e Tarifas*, 2023. Disponível em: <https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas>. Acesso em: 27 jun.2023.

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA 237 de 19 de dezembro de 1997*. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.

DE MENEZES, F.G. *et al.* O papel dos biodigestores na agropecuária para mitigação das mudanças climáticas: uma análise dos benefícios ambientais. *In: PACHECO, C.S.G.R (org.) Mudanças climáticas e seus impactos socioambientais: concepções, fundamentos, teorias e práticas mitigadoras. Guarujá: Científica Digital*, 2023, cap. 18, p. 276-289.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Estatísticas | Mundo | Suínos*. Concórdia: EMBRAPA, 2022. Disponível: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/mundo>. Acesso em: 10 de jun.2023.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Produção de Suínos*. Planejamento da Produção. Concórdia: EMBRAPA, 2003. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/planejamento.html>. Acesso em 25 jun. 2003.

FOSTER *et al.* IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOOGLE EARTH. Itatiba do Sul, RS (2023). Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 03 maio 2023.

HABAS R.F; BARICHELO, R; ZANELLA, C. A importância das instituições para o desenvolvimento sustentável da suinocultura: caso no Estado de Santa Catarina. Encontro de Sustentabilidade em Projeto, IV, 2016, Florianópolis. *Anais- ENSUS- completo*, 2016. p. 285 – 296.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Emissions from livestock and manure management*. 2006. V. 4. Disponível em:

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 34-50

Aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS

FRANCHINI, Ana Paula; ROTH, Joyce Cristina Gonçalves; CARDOSO André de Lima; BORDIN, Silvia Santin

https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf. Acesso em: 25 jun.2023.

ITATIBA DO SUL. Lei municipal n. 2.421 de 31 de maio de 2012. Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Itatiba do Sul destinado a organizar a gestão e estabelecer as condições para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico e a promover a melhoria da saúde pública e da salubridade ambiental no município. Disponível em:

<https://www.itatibadosul.rs.gov.br/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

ITATIBA DO SUL. Lei municipal n. 2.833 de 16 de outubro de 2017. Institui o programa de incentivo a regularização sanitária de pocilgas e dá outras providências. Disponível em:

<https://www.itatibadosul.rs.gov.br/>. Acesso em: 10 maio de jun. 2024.

ITATIBA DO SUL. *Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente*, 2023. Disponível em: <https://www.itatibadosul.rs.gov.br/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

ITO, M; GUIMARÃES, D; AMARAL, D. Impactos ambientais da suinocultura. *BNDS Setorial*, v. 44. p. 125-156, 2016. Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9974/2/BS%2044%20Impactos%20ambientais%20da%20suinocultura_P.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.A.V. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. *R. Brasileira de Política Agrícola*, Brasília, v. 15, n. 3 p.28-35, 2006.

MAZZONETTO, A.W. *et al.* Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais. *Bioenergia em revista: diálogos*, v. 13, n. 1, 2023. p. 22-41.

MILANEZ, A. Y. *et al.* Biogás resíduos agroindustriais: panorama e perspectiva. *BNDES Setorial*, v. 47, p. 221-276, 2018. Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15384/1/BS47__Biogas__FECHADO.pdf. Acesso em: 03 jun. 2023.

NISHIMURA, R. *Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional*. 2009, 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

PERDOMO, C.C. *et al.* Suinocultura e estratégias para a redução de gases e poluentes. *In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (ed.) Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*. Jaguariúna: EMBRAPA/CNPMA, 2001. cap. 16, p.325-45.

PEROSSO, I. F. *et al.* Manejo e destinação ambientalmente adequados de resíduos da suinocultura: revisão de literatura. *R. Unimar Ciências*. v. 26, p. 142-154, 2017.

PINTO, L.P. *et al.* Levantamento de dados sobre os dejetos suínos e suas características. *R. Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, p. 179-187, 2014.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 34-50

Aspectos ambientais e econômicos associados ao tratamento de resíduos provenientes da suinocultura no município de Itatiba do Sul, RS

FRANCHINI, Ana Paula; ROTH, Joyce Cristina Gonçalves; CARDOSO André de Lima; BORDIN, Silvia Santin

RIO GRANDE DO SUL. *Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul*. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 7. ed., 2022. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/suinos>. Acesso: 16 jun.2023.

RITTER, C. M. *et al.* Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. *Rev. Tópos*, v.7, n. 1, p. 32 – 40, 2013.

SILVA, J.L.G. *et al.* Estimativa do potencial de produção de biogás no Brasil a partir de dejetos suínos. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais-SIGER, 4. 2015, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sbera, 2015.

SOUSA F.A. *et al.* Redução do Potencial Poluidor de Dejetos de Suínos em Lagoas de Estabilização em Série. R. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 65-73, 2014.

UFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. *GHG emission reductions from manure management systems 2004*. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>. Acesso em: 29 out. 2005.

USEPA. United States Environmental Protection. *LFG Energy Project Development Handbook*. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/pdh_full.pdf

FRANCHINI, Ana Paula. Gestora Ambiental graduada pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, UERGS.

ROTH, Joyce Cristina Gonçalves. Possui graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS) (2008) e mestrado em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) (2010). Doutora em Tecnologia Ambiental (UNISC) na área de microbiologia aplicada a tecnologia ambiental. Especialista em Direito Ambiental, Agrícola e Urbanístico (2021). É Professora Adjunta em Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). Integrante do Comitê de Ética e Pesquisa da mesma instituição. Atua com Editora Executiva da Revista Eletrônica Científica da UERGS (área Ciências da Vida e Meio Ambiente).

CARDOSO, André de Lima. Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria (2002), mestrado em Química Analítica pela Universidade Federal de Santa Maria (2004) e Doutorado em Química Analítica pela Universidade Federal de Santa Maria (2009). Atua como professor de ciências químicas na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Área das Ciências Exatas e das Engenharias.

BORDIN, Silvia Santin. Dra. em Agronomia e Professora Adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, UERGS. Possui graduação em Licenciatura Plena Em História pela Universidade Federal de Santa Maria (1985), graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Santa Maria (1993), mestrado em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (1996) e doutorado em Agronomia (Proteção de Plantas) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2002). Atualmente é Professora Adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul na área de ciências agrárias.

Limoneno: avaliação do potencial antibacteriano na fermentação alcoólica

GAZIOLA, Matheus de Andrade;
MENEZES, Aline Malosso;
RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves

Resumo

A fermentação alcoólica é um processo no qual ocorre a transformação de açúcares em etanol e gás carbônico, essa transformação ocorre em três fases diferentes, sendo elas a pré-fermentação, fermentação e pós fermentação, sendo influenciada por diversos fatores como pH, temperatura e presença de bactérias, as quais reduzem a eficiência da fermentação. Para o controle da contaminação microbiana, atualmente podem ser utilizados antibióticos sintéticos. O limoneno pode se tornar uma alternativa natural, caso comprovada sua eficácia. Ele é encontrado nas cascas de frutas cítricas, apresenta atividade antibacteriana (*in vitro*) e pode atuar como um substituto aos atuais meios utilizados pela indústria. O limoneno por possuir características hidrofóbicas, pode romper as membranas celulares das bactérias causando diminuição das atividades fisiológicas da célula, comprometendo assim sua replicação e podendo levar a morte celular, este fato leva a dúvida de ocorrência similar nas leveduras, apesar destas possuírem a parede celular como revestimento protetor. Este trabalho foi elaborado com o intuito de verificar a capacidade antibacteriana do limoneno, avaliando seu potencial como alternativa aos antibióticos utilizados na indústria sucroalcooleira durante a fermentação alcoólica e observar a interação com as leveduras fermentativas. Foi utilizado o método Kirby-Bauer em três concentrações de limoneno 100%, 30% e 10% (v/v) para aferir sua capacidade antimicrobiana, juntamente ao teste de viabilidade celular das leveduras presentes no caldo, para identificar possíveis danos. Os resultados obtidos confirmam a capacidade antibacteriana do limoneno quando utilizou a concentração de 100%, mas com pouca eficiência quando utilizado 10 e 30%, com a vantagem de não afetar as leveduras presentes no mosto. Salienta-se a importância da realização de mais testes com a substância, para poder verificar sua eficiência em processos fermentativos.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, sucroalcooleira, combustível, álcool, leveduras.

Abstract

Alcoholic fermentation is a process in which sugars are transformed into ethanol and carbon dioxide. This transformation occurs in three different phases, namely pre-fermentation, fermentation and post-fermentation, being influenced by several factors such as pH, temperature and presence of bacteria, which reduce the efficiency of fermentation. To control microbial contamination, synthetic antibiotics can currently be used. Limonene could become a natural alternative if its effectiveness is proven. It is found in citrus fruit peels, has antibacterial activity (*in vitro*) and can act as a substitute for the current media used by the industry. Limonene, due to its hydrophobic characteristics, can rupture the cell membranes of bacteria, causing a decrease in the physiological activities of the cell, thus compromising its replication and potentially leading to cell death. This fact leads to doubts about a similar occurrence in yeast, despite these having a cell wall as a protective coating. This work was carried out with the aim of verifying the antibacterial capacity of limonene, evaluating its potential as an alternative to antibiotics used in the sugar and alcohol industry during alcoholic fermentation and observing the interaction with fermentative yeasts. The Kirby-Bauer method was used in three concentrations of limonene 100%, 30% and 10% (v/v) to assess its antimicrobial capacity, together with the cell viability test of the yeasts present in the broth, to identify possible damage. The results obtained confirm the antibacterial capacity of limonene when using a concentration of 100%, but with little efficiency when using 10 and 30%, with the advantage of not affecting the yeasts present in the must. The importance of carrying out more tests with the substance is highlighted, in order to verify its efficiency in fermentative processes.

Keywords: sugar cane, sugar and alcohol, fuel, alcohol, yeast.

Resumen

La fermentación alcohólica es un proceso en el que los azúcares se transforman en etanol y dióxido de carbono. Esta transformación se produce en tres fases diferentes, a saber, prefermentación, fermentación y postfermentación, estando influenciada por varios factores como el pH, la temperatura y la presencia de bacterias que reducen la eficiencia de la fermentación. Para controlar la contaminación microbiana, actualmente se pueden utilizar antibióticos sintéticos. El limoneno podría convertirse en una alternativa natural si se demuestra su eficacia. Se encuentra en la cáscara de los cítricos, tiene actividad antibacteriana (*in vitro*) y puede actuar como sustituto de los medios actuales utilizados por la industria. El limoneno, debido a sus características hidrofóbicas, puede romper las membranas celulares de las bacterias, provocando una disminución de las actividades fisiológicas de la célula, comprometiendo así su replicación y potencialmente provocando la muerte celular. Este hecho genera dudas sobre una ocurrencia similar en las levaduras. a pesar de que estos tienen una pared celular como capa protectora. Este trabajo se realizó con el objetivo de verificar la capacidad antibacteriana del limoneno, evaluar su potencial como alternativa a los antibióticos utilizados en la industria azucarera y alcohólica durante la fermentación alcohólica y observar la interacción con levaduras fermentativas. Se utilizó el método de Kirby-Bauer en tres concentraciones de limoneno 100%, 30% y 10% (v/v) para evaluar su capacidad antimicrobiana, junto con la prueba de viabilidad celular de las levaduras presentes en el caldo, para identificar posibles daños. Los resultados obtenidos confirman la capacidad antibacteriana del limoneno al utilizar una concentración del 100%, pero con poca eficacia al utilizar el 10 y 30%, con la ventaja de no afectar las levaduras presentes en el mosto. Se destaca la importancia de realizar más pruebas con la sustancia, con el fin de verificar su eficiencia en procesos fermentativos.

Palabras clave: caña de azúcar, azúcar y alcohol, combustible, alcohol, levadura.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar pode apresentar contaminação, tanto no sistema vascular, como em sua camada periférica, além de mais bactérias serem adicionadas ao caldo no momento da moagem. O número total de bactérias presentes no caldo bruto de cana-de-açúcar aumenta sensivelmente tanto por períodos prolongados entre o corte e a moagem da planta, como pela falta de assepsia na moenda, filtros, bombas e tubulações que entram em contato direto com o referido material (Carvalho, 2001).

Cherubin (2003) salienta que nos processos industriais, de produção de álcool existentes no Brasil, se reutilizam o fermento em ciclos fermentativos consecutivos. Durante o processo de centrifugação os microrganismos contaminantes também são reciclados juntamente com o fermento e agravam os problemas associados com a contaminação bacteriana.

A infecção bacteriana na fermentação pode causar diversos danos ao processo, além do citado anteriormente, tais como: consumo de açúcar, formação de goma, floculação do fermento, inibição e queda da viabilidade das leveduras devido as toxinas e ácidos orgânicos excretados no meio (Nobre, 2005).

Ainda de acordo com Nobre (2005), certos tratamentos para controle e combate das infecções bacterianas, como calor, radiação e antibióticos podem afetar a viabilidade celular das leveduras sendo importante observar a influência dos produtos metabólicos das bactérias sob as leveduras.

Os principais contaminantes do processo industrial de fermentação alcoólica são bactérias Gram-positiva e em forma de bastonetes com destaque para os gêneros *Bacillus* e *Lactobacillus* e as espécies *L. fermentum* e *L. helveticus* (Naves *et al.*, 2010).

As práticas usualmente utilizadas nas indústrias para reduzir a contaminação bacteriana são tratamento ácido e a aplicação de antibiótico. Porém, foram detectados altos níveis de resíduos de antibióticos e seu uso está sendo condenado pela comunidade internacional. Com isso, a indústria brasileira tem buscado alternativas aos antibióticos para o controle da contaminação bacteriana (Viégas, 2011).

Tendo em vista o alto grau de contaminação e o elevado custo do uso de antibióticos no tratamento do caldo de cana-de-açúcar destinado a fermentação alcoólica, uma saída é o uso de antibióticos naturais, tais como o limoneno que é extraído do óleo essencial presente na casca dos citros, um resíduo da indústria de suco de laranja, usada para fins de adubação do solo, ração animal entre outros (Novacosk; Torres, 2006).

Nos últimos anos os avanços e novas pesquisas têm chamado à atenção do setor energético, a corrida para desacelerar a degradação do meio ambiente e frear o aquecimento global provocado por gases que formam o efeito estufa, levaram ao surgimento do biocombustível como alternativa nesse combate (Milanez *et al.*, 2010).

Nesse contexto, o bioetanol surge como biocombustível potencial, podendo ser obtido através de várias matérias-primas, tais como, cana-de-açúcar, milho, arroz, trigo, mandioca e até a beterraba. O Brasil utiliza a cana-de-açúcar, que tem sua eficiência energética superior, isso é cinco vezes maior que outras matérias-primas, porque demanda menos energia fóssil para a produção de bioetanol (Viégas, 2011).

Segundo Amorim (2005), a fermentação é um processo no qual ocorre a transformação de açúcares em álcool e gás carbônico, essa transformação ocorre em três fases diferentes, sendo elas a pré-fermentação, fermentação e pós fermentação. Todo esse processo ocorre através da ação de leveduras, sendo a principal espécie que participa desse processo a *Saccharomyces cerevisiae*.

A pré-fermentação caracteriza-se como sendo o início do processo fermentativo onde ocorre a adição das leveduras e a multiplicação das mesmas, tendo duração aproximada de cinco ou seis horas. O processo fermentativo principal é onde ocorre a transformação dos açúcares em bioetanol e tem duração de nove a dez horas. A pós-fermentação é a fase final do processo, em que ocorre a diminuição da temperatura e encerramento do processo fermentativo, a mesma tem duração de seis a oito horas (Antonini, 2012).

De acordo com Viegás (2011) na produção de bioetanol os principais fatores que afetam sua produção são: pH, oxigênio, concentração de substrato, temperatura, viabilidade e contaminação.

Segundo Souza e Monteiro (2012), a temperatura ideal para se realizar o processo de fermentação se encontra na faixa de 26 a 35°C. Conforme essa temperatura aumentar favorecerá a atividade microbiológica na fermentação, bem como deixar à levedura mais suscetível a intoxicação pelo bioetanol. Uma vez suscetível a essa intoxicação as leveduras em resposta irão liberar metabolitos os quais irão conferir tolerância ao bioetanol, porém essa ação afeta de maneira negativa o rendimento da fermentação (Viegás, 2011).

A temperatura também pode afetar a permeabilidade da membrana das leveduras. Se a temperatura durante a fermentação estiver muito baixa, isso irá afetar o sistema de absorção dos nutrientes da levedura, ocasionando em um aumento do tempo de fermentação (Pereira *et al.*, 2020).

Segundo Amaral (2009) outro fator relevante é o pH, pois é um fator que influencia diretamente na produção de bioetanol e saúde das leveduras, sendo assim de extrema importância para a indústria. A fermentação acontece em uma ampla faixa de pH, se iniciando com valores mais

baixos e finalizando em torno de 3,5 a 4,0, porém valores abaixo desse teto resultam na perda de nutrientes e aumento da sensibilidade ao bioetanol.

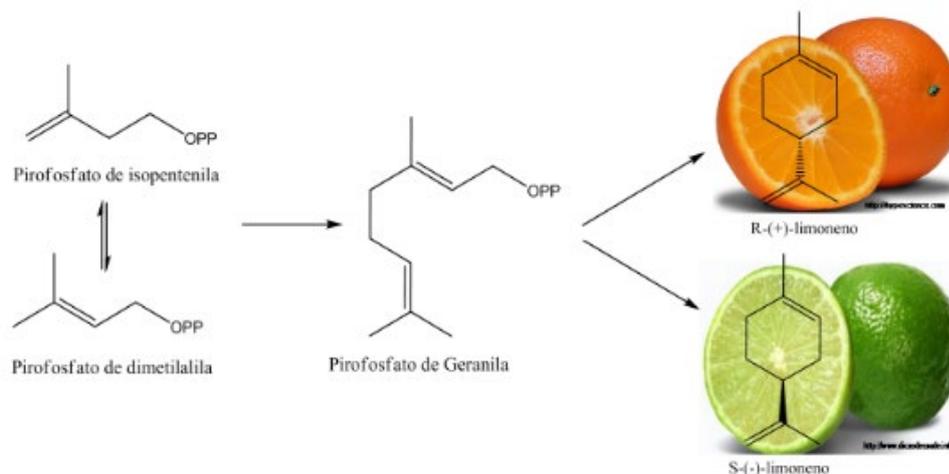
Além dos fatores apresentados, que podem afetar a produção de bioetanol, deve se levar em consideração também as leveduras que são acrescentadas ao caldo, além dos vários microrganismos, os quais são oriundos do caldo de cana. Esses microrganismos mais especificamente falando, as bactérias em grande parte do gênero *Lactobacillus* e *Bacillus*, são responsáveis por perdas de rendimento na fermentação (Naves *et al.*, 2010).

O óleo essencial é uma mistura complexa de compostos voláteis, constituído pelo monoterpeno formado somente por átomos de carbono e hidrogênio (o principal composto é o limoneno, concentração de 70% a 96%) e pequenas quantidades de sesquiterpeno, hidrocarbonetos e seus derivados oxigenados, incluindo aldeídos, cetonas, ácidos, álcoois e ésteres (Fisher e Phillips, 2008).

Os óleos cítricos são óleos essenciais oriundos de frutas cítricas. O limoneno, de nomenclatura IUPAC 4-isoproprenil-1-metil-ciclo-hexeno, fórmula $C_{10}H_{16}$ - 136,24 g.mol⁻¹ é uma substância líquida aromática nas condições ambiente, é um hidrocarboneto cíclico insaturado que pertence à família dos terpenos, as propriedades do limoneno é consequência de sua afinidade com a membrana lipídica. É uma substância natural, trata-se de um líquido incolor, volátil e oleoso encontrado nas cascas das frutas cítricas. É, inclusive, o responsável pelo forte odor característico dessas frutas (Vieira *et al.*, 2018, Marquezin *et al.*, 2021). Na molécula de limoneno, salienta-se: Ciclo-hexeno, Metila, Ligação dupla formando o radical isopropenila, Carbono quirál. (Fisher; Phillips, 2008).

Segundo Burnham (2006) o limoneno apresenta em seu anel ciclo-hexeno um carbono quirál (está ligado a quatro substituintes diferentes entre si). Esta característica faz com que o limoneno exista na forma de dois isômeros ópticos. Os isômeros ópticos são aqueles em que sua imagem no espelho não se sobrepõe à molécula original. Ainda explica que os carbonos quirais são identificados como R ou S, segundo a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada, 1996). Outras notações também para isômeros ópticos incluem o uso das letras D (dextrogiro, desvia o plano da luz polarizada para a direita) e L (levogiro, desvia o plano da luz polarizada para a esquerda), e os símbolos + e -. Assim, pode-se chamar um isômero de R-(+)-limoneno e o outro de S-(-)-limoneno. Estes dois enantiômeros do limoneno são os mais abundantes monoterpenos na natureza. O R-(+)-limoneno possui um aroma de frutas cítricas, principalmente aroma de laranja, enquanto que o S-(-)-limoneno apresenta aroma semelhante ao do limão. De acordo com a Figura 1 o R-(+)-limoneno, isômero encontrado principalmente nas cascas da laranja, está relacionado à atividade antimicrobiana do óleo essencial da laranja (Burnham, 2006).

Figura 1: Fórmula estrutural limoneno



Fonte: Química Nova Interativa, Sociedade Brasileira de Química (2022).

A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais foi relatada na década de 1940, quando demonstrou exibir atividade antimicrobiana semelhante ao do fenol. Nas décadas seguintes, vários outros estudos também demonstraram a atividade contra vários microrganismos como fungos, leveduras e bactérias formadoras de esporos e envenenando alimentos (Fisher e Phillips, 2008).

O limoneno por ser um monoterpene formado somente por átomos de carbono e hidrogênio possui natureza hidrofóbica, característica que o permite passar pelos lipídios presentes nas membranas celulares e mitocôndrias formando uma ruptura em sua estrutura e permitindo a passagem de íons e outros compostos celulares para fora. Esse processo causa uma diminuição das atividades fisiológicas da célula e promove danos ao DNA o que compromete sua replicação, dependendo da quantidade de compostos celulares perdidos pela bactéria ela também pode sofrer morte celular (Varano, 2021).

Diante do exposto o presente trabalho teve como objetivo analisar as propriedades antibacterianas da substância limoneno e a viabilidade celular da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

1. METODOLOGIA

Foram realizados dois testes, um para verificar a efetividade antimicrobiana do limoneno e outro para verificar a viabilidade celular das leveduras. Os testes foram realizados no Laboratório de Microbiologia da Fatec Piracicaba “Deputado Roque Trevisan”.

1.1 Teste da efetividade antimicrobiana do limoneno nas bactérias do mosto destinado a fermentação.

Para realização do teste de efetividade da capacidade antibacteriana do limoneno no crescimento de bactérias, foi utilizado o método *Kirby-Bauer* adaptado do Livro Práticas de Microbiologia (Vermelho *et al*, 2006).

O teste de verificação é capaz de determinar a suscetibilidade de bactérias diante de vários antimicrobianos. É um método amplamente utilizado, aceito como o método-padrão para a realização dos antibiogramas.

O limoneno utilizado, foi obtido através do contato com o Centro de Citricultura Silvio Moreira Sales em Cordeirópolis/SP, comprado diretamente do fornecedor parceiro Sucorrício Citrus Industrial e Agrícola Ltda.

Para o teste foi realizado o preparo das placas de *petri* com o meio de cultura Nutrient Agar ISO conforme descrito por Barreiros e Takita (2012), sendo esterilizado em autoclave vertical modelo CS da Prismatec a 121° C por 20 minutos. O material analisado foi o mosto destinado a fermentação sem passagem pelo tratamento, possuindo em sua composição todos os microrganismos aderidos durante o processo de transporte e moagem, sendo fornecido por uma usina da região de Piracicaba - SP.

Para realização do teste foram preparadas três diluições do limoneno para averiguar seu poder antimicrobiano, sendo elas 100%, 30% e 10% v/v com água destilada. Para realizar a solubilização do limoneno em água foi utilizado como emulsificante o Tween 80 e as proporções foram feitas conforme descrito por Altizani Jr., Shinozaki e Lima (2018).

Foi utilizado um *swab* esterilizado para semear as bactérias presentes no mosto por toda a superfície do meio de cultura presente na placa de *petri*. Após o processo de semeadura foram colocados pequenos discos de filtro embebidos com o limoneno, pressionados com auxílio de uma pinça e alocados de maneira equidistante um dos outros, o objetivo é verificar se haverá ou não crescimento de bactérias ao redor dos filtros.

Os testes foram realizados em triplicata, juntamente com um controle, onde não foi aplicado os filtros embebidos com o limoneno. Desta forma, foram obtidas 3 placas de cada concentração de limoneno, sendo de 100%, 30%, 10% e 0%, respectivamente.

As placas foram incubadas em estufa Modelo 420-4D da Nova Ética a 29° C pelo período de 3 dias, sendo analisadas diariamente quanto ao crescimento, avaliando a presença ou ausência de colônias de bactérias ao redor dos discos, permitindo aferir a capacidade antimicrobiana do limoneno.

1.2 Viabilidade celular das leveduras presentes no mosto destinado a fermentação

Para realizar o controle da ação do limoneno nas leveduras presentes no mosto em processo de fermentação, foi realizado a contagem das células viáveis e não viáveis de levedura através da coloração diferencial das células pela solução de azul-de-metileno e contagem das células em câmara de *Newbauer* (Oliveira *et al.*, 1996). O procedimento permite verificar se o limoneno não irá prejudicar as leveduras, inviabilizando sua utilização na indústria.

Para os ensaios foram acrescentadas leveduras ao mosto, simulando a mesma proporção utilizada nas usinas durante a fermentação alcoólica. Foi utilizado uma concentração de 10% de leveduras, sendo preparado 300 ml de mosto acrescido de leveduras, sendo que desse volume, 150 ml foram tratados com 3 ml de limoneno.

Foram feitas duas leituras, uma com o mosto sem o tratamento, e outra leitura com o mosto já tratado. A parte experimental foi realizada segundo descrito no *EBC Yeast Group* (1962) e por *Rocken et al.* (1976). Foi misturado a solução corante com um volume igual da amostra, colocando-se uma gota dessa mistura na câmara de *Newbauer* e analisando no microscópio com a objetiva de x40. Foi utilizado o microscópio Biol.trinocular 180iPL da NOVA Optical systems com uma ampliação de 400x, examinando-se aproximadamente 1000 células, ignorando as células filhas com um tamanho inferior a metade do tamanho da célula mãe.

Células vivas produzem uma enzima que é capaz de reduzir o azul-de-metileno fazendo com que ele perca sua coloração. O método consiste em colocar as células em contato com a solução permitindo que seja feita uma contagem das células vivas que estão descoloridas e das células mortas que apresentam coloração, permitindo assim ter uma estimativa da viabilidade celular segundo a Equação (1):

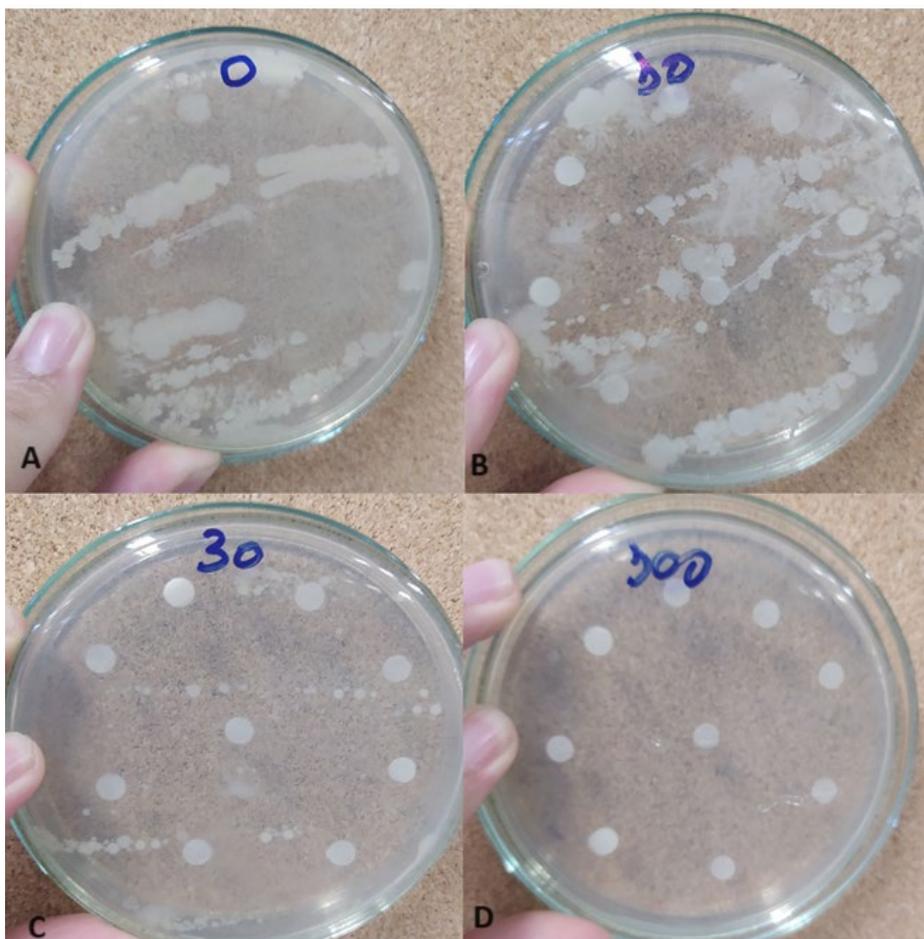
$$\%Viabilidade\ Celular = \frac{N^{\circ}\ de\ células\ vivas}{N^{\circ}\ cel\ vivas + N^{\circ}\ cel\ mortas} \cdot 100 \quad (1)$$

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Teste da efetividade antimicrobiana do limoneno nas bactérias do mosto destinado a fermentação.

Para verificar a efetividade antimicrobiana do limoneno nas bactérias presentes no mosto de fermentação, foi analisado o nível de crescimento bacteriano durante os dias de incubação, sendo a Figura 2, referente ao período de 24 horas de crescimento. As concentrações de limoneno utilizadas nos filtros foram identificadas pelas letras A, B, C e D, sendo A referente a placa controle sem limoneno, B 10% em limoneno, C 30% e D 100%.

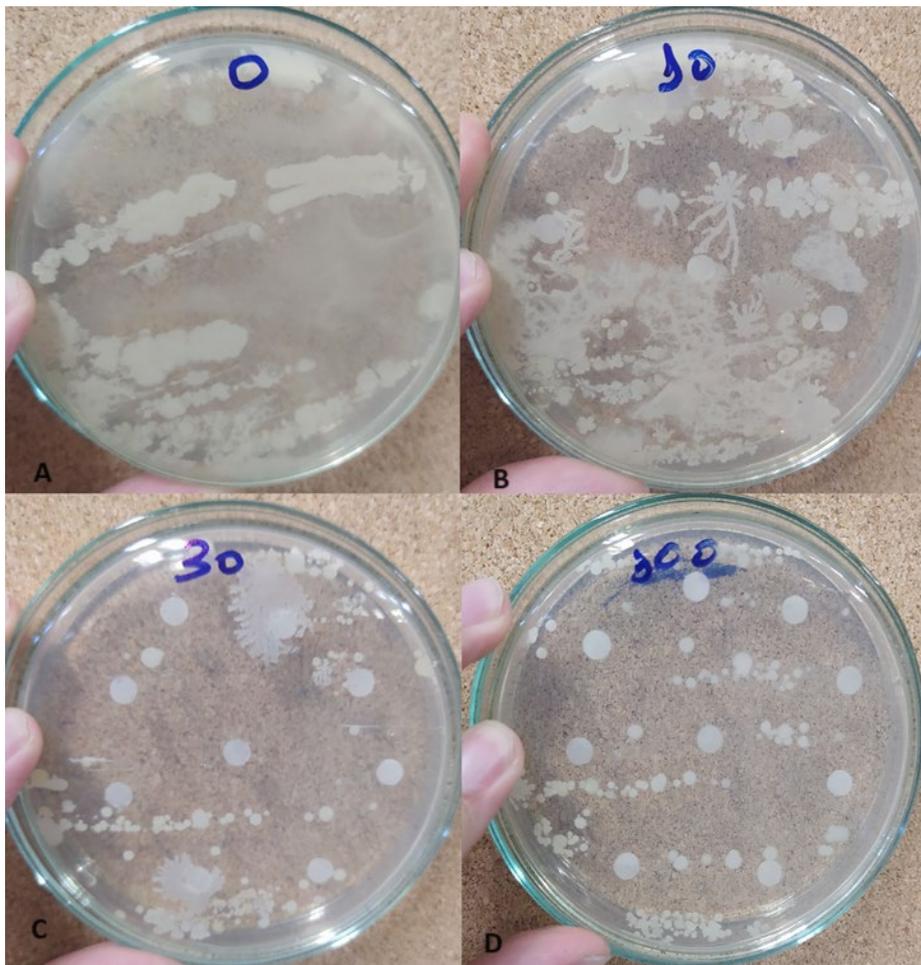
Figura 2: 24 horas incubação (A- 0%; B- 10%; C- 30%; D- 100%)



Fonte: Autores, 2023.

Pode-se observar uma ausência no crescimento bacteriano à medida que a concentração de limoneno nos discos aumenta, ao ponto que o crescimento de bactérias nas placas que continham o limoneno em 10% foi muito alto mostrando baixa efetividade, enquanto nas placas com o limoneno em 100% o crescimento foi praticamente nulo demonstrando alta efetividade.

Figura 3: 48 horas de incubação (A- 0%; B- 10%; C- 30%; D- 100%)

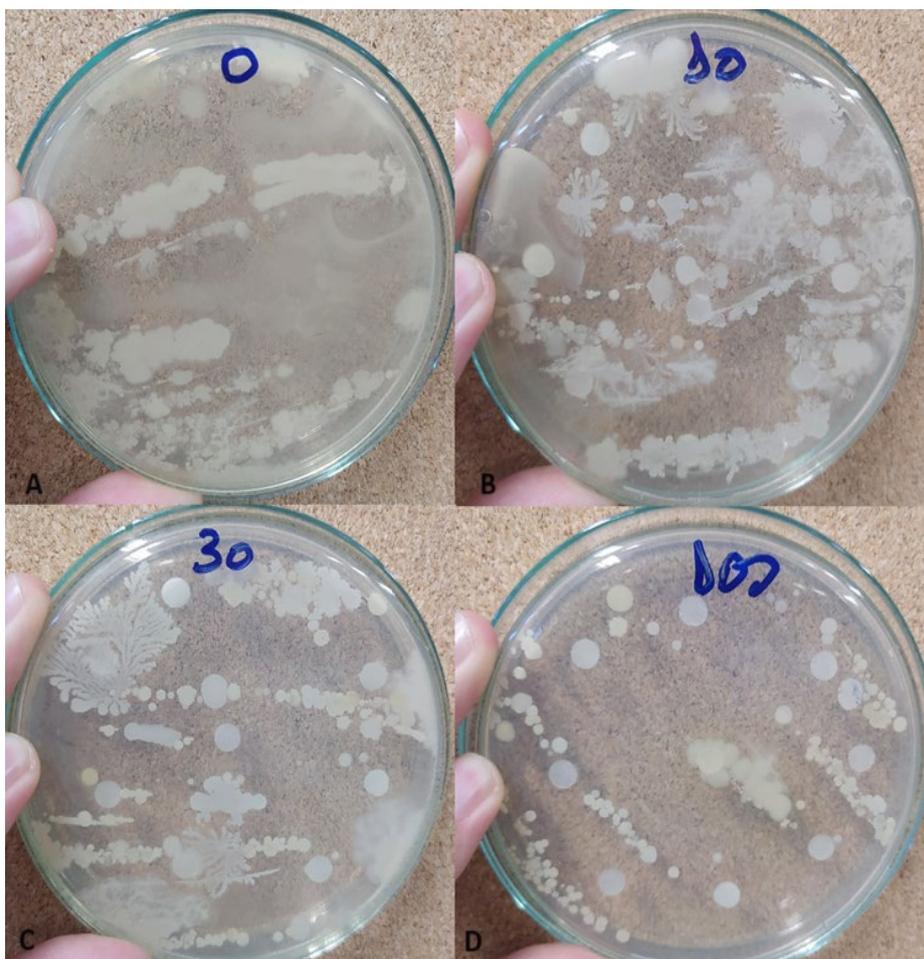


Fonte: Autores, 2023.

Após 48 horas de crescimento (Figura 3), pode-se observar um acelerado crescimento de colônias em todas as placas. As placas de controle com 0% de limoneno e as placas com apenas 10% apresentaram alto crescimento, indicando nenhuma efetividade nessas concentrações. Nas concentrações de 30% observou-se um crescimento menor em relação a 0% e 10%, mas ainda assim, foi um crescimento significativo demonstrando baixa efetividade.

Já para as placas contendo o limoneno 100% foram observado um crescimento reduzido de bactérias, mas ainda demonstrando uma boa efetividade.

Figura 4: 72 horas de incubação (A- 0%; B- 10%; C- 30%; D- 100%)



Fonte: Autores, 2023.

Ao observar as placas com 72 horas de crescimento (Figura 4), assim como constado anteriormente, atesta-se a baixa efetividade antibacteriana do limoneno em baixas concentrações. As placas com limoneno 30% apresentaram alto crescimento e as placas com 100% apesar de em menor quantidade também apresentaram crescimento de colônias nas placas. É fundamental observar que houve crescimento de colônias até mesmo na região na qual os filtros estavam alocados, fato que deve ocorrer em virtude da alta volatilidade do limoneno, fator que pode influenciar os resultados.

2.2 Viabilidade celular das leveduras presentes no mosto destinado a fermentação

Nos ensaios de viabilidade celular, os resultados se mostraram satisfatórios, pois a amostra de mosto que não passou pelo tratamento com limoneno teve uma viabilidade celular de 95,3%. Enquanto, a amostra que foi tratada com o limoneno apresentou uma redução de viabilidade celular de menos de 1%, ficando em 94,8%. Estes resultados sugerem que, apesar da ação antibacteriana

do limoneno, ele não apresenta danos significativos as leveduras, indicando que ele pode ser utilizado em processos fermentativos, pois não reduziu o número de leveduras viáveis para fermentação.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados conclui-se que o limoneno apresentou baixa ação antibacteriana em concentrações de 10 e 30%, porém quando utilizou-se concentração de 100% apresentou melhor inibição bacteriana, indicando que possui potencial para ser utilizado em processos fermentativos no lugar dos antibióticos. Além disso, pode se concluir também que, mesmo apresentando ação antibacteriana, o limoneno não apresentou danos as leveduras, pois não houve alteração na sua viabilidade celular se mantendo em torno de 95%, indicando que pode ser utilizado em processos fermentativos sem reduzir o número de leveduras viáveis. Apesar dos resultados, sugere-se a necessidade da realização de mais testes que considerem a volatilidade do limoneno e que verifiquem o rendimento fermentativo do mosto tratado com a substância.

REFERÊNCIAS

ALTIZANI JUNIOR, Júlio César; SHINOZAKI, Guilherme Augusto; LIMA, Cristina Batista de *Viabilidade do surfactante polissorbato 80 na diluição de óleos essenciais vegetais para tratamento de sementes de hortaliças*. Universidade Estadual do Norte do Paraná. 2018.

AMARAL, Flavia Silvério. *Influência Conjunta do pH, Temperatura e Concentração de Sulfito na Fermentação Alcoólica de Mosto de Sacarose*. Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

AMORIM, Henrique Vianna de. *Fermentação alcoólica – Ciência e tecnologia*. Piracicaba: Fermentec, 2005.

ANTONINI, Sandra *Microbiologia da fermentação alcoólica – A importância do monitoramento microbiológico em destilarias*. 1. Ed. São Carlos: EDUFSCAR, 2010. 105p. 2012.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (BNDES). *BIOETANOL de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável* – Rio de Janeiro, 2008. Disponível em <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2002>. Acesso em 16/04/2022.

BARREIROS, Gabriela M; TAKITA, Marcos A. *Construção de biblioteca genômica de isolado bacteriano capaz de biotransformar limoneno*. Jaguariúna, 6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 2012. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/eventos/2012/ciic/cd_anais/Artigos/RE12103.pdf. Acesso em 23/04/2022.

BURNHAM, P. M., Hillsborough College, Sheffield, UK. *Limoneno: O agente desengordurante industrial encontrado na casca da laranja*. Publicado em: <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/limonene/limonenejm.htm>, 2006. Acesso em 22/04/2022.

CARVALHO, Rodrigo Setem. *Interações entre leveduras e bactérias durante a fermentação alcoólica*. 2001, 18 – 19 p. Dissertação (Mestrado). ESALQ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

CHERUBIN, Rudimar Antônio *Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica*. 2003. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. doi:10.11606/T.11.2003.tde-10092003-144216. Acesso em: 2023-05-03.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), *Clima adverso impacta lavouras de cana e produção chega a 585,2 milhões de toneladas na safra 2021/2022*. Publicado em www.conab.gov.br. Acesso em 04/04/2022.

EBC Yeast group, *Journal of the Institute of Brewing*, 1962.

FISHER, Katie, PHILLIPS, Carol Potential antimicrobial uses of essential oils in food: Is citrus the answer? *Trends in Food Science & Technology*, n. 19, 2008, P 156–164.

MARQUEZIN, Cássia Alessandra et al. The interaction of a thiosemicarbazone derived from R - (+) - limonene with lipid membranes. *Lipids Chem Phys*. 2021 Jan; 234:105018. doi: 10.1016/j.chemphyslip.2020.105018. Epub 2020 Nov 21. PMID: 33232725.

MILANEZ, Artur Yabe et al. *Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros. Sucroenergético: BNDES Setorial*, 2010. Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015/05/Log%E2%94%9C%C2%A1stica-para-o-etanol-situa%E2%94%9C%C2%BA%E2%94%9C%C3%BAo-atual-e-desafios-futuros.-MILANEZ-A.-Y.-NYKO-D.-GARCIA-J.-L.-F.-XAVIER-C.-E.-O.pdf>

NAVEZ, Raquel et al. *Contaminação microbiana nas etapas de processamento e sua influência no rendimento fermentativo em usina alcooleira*, 2010. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/contaminacao%20microbiana.pdf>

NOBRE, Thais de Paula *Viabilidade celular de Saccharomyces cerevisiae em associação com bactérias contaminantes da fermentação alcoólica*. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. 90p.

NOVACOSK, R.; TORRES, R. S. L. A. Atividade antimicrobiana sinérgica entre óleos essenciais de lavanda (*Lavandula officinalis*), melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), cedro (*Juniperus virginiana*), tomilho (*Thymus vulgaris*) e cravo (*Eugenia caryophyllata*). *Revista Analytica*, São Paulo, n. 21, 2006.

OLIVEIRA, A.J. et al. *Curso de treinamento em microbiologia*. Piracicaba: FERMENTEC; ESALQ, 1996. 37p.

PEREIRA, Danilo Aparecido; MACRI, Rita de Cássia Vieira; GIMENEZ, Alex Zerbinatti *Fatores que afetam a fermentação alcoólica*, Ciência & Tecnologia ; [s./l.], v. 12, n. 1, p. 44-55, 2020. DOI : 10.52138/citec.v12i1.113. Disponível em : <http://publicacoes.fatecjaboticabal.edu.br/citec/article/view/113>. Acesso em 06 abril 2022.

ROCKEN, W., STRAUSS, M. *Monatsschrift fur Brauerei*, 5, 209, 1976.

SOUSA, José Luiz U.; MONTEIRO Romilda A.B. *Fatores Interferentes na Fermentação Alcoólica para a Produção de etanol*, 2012. 1library.org/document/y96w530j-fatores-interferentes-na-fermentacao-alcoolica-para-producao-etanol.html. Acesso em 12 abril 2022.

VARANO, Amanda *Efeito do óleo essencial de tangerina 'fremont' no controle de Lactobacillus fermentum na fermentação alcoólica*. Universidade Federal de São Carlos Centro de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados, Araras, 2021.

VERMELHO, Alane Beatriz et al. *Práticas de Microbiologia*. 1.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

VIÉGAS, Ellen Karine Diniz *Propriedade antibacteriana da própolis verde sobre bactérias contaminantes da fermentação etanólica*. Dissertação (Mestrado) 2011, ESALQ, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

VIEIRA, Ana Júlia et al. Limonene: Aroma of innovation in health and disease. *Chem Biol Interact.* 2018 Mar 1;283:97-106. doi: 10.1016/j.cbi.2018.02.007. Epub 2018 Feb 7. PMID: 29427589.

GAZIOLA, Matheus de Andrade. É graduado em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba ‘Deputado Roque Trevisan’.

MENEZES, Aline Malosso. É graduanda em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba ‘Deputado Roque Trevisan’.

RODRIGUES, Eliana Maria Gonçalves. Possui graduação em Engenharia Industrial Química pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Mestrado em Biotecnologia Industrial pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena na área de Microbiologia Aplicada e Genética de Microrganismos, Doutorado em Engenharia Química na área de Processos Biotecnológicos pela Universidade Estadual de Campinas e Pós-Doutorado pela USP. Atualmente é Professor Ensino Superior, Referência III, da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba “Deputado Roque Trevisan”. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Purificação de Enzimas, atuando principalmente nos seguintes temas: microrganismos, enzimas, fermentação e extração líquidos – líquido.

Combustível Renovável: Automóveis Movidos por Hidrogênio

FERRO, Emily Maria de Lima
PATROCINIO, Alexei Barban

Resumo

Esse artigo teve como objetivo mostrar possibilidades de novas fontes alternativas de combustíveis renováveis e mais especificamente do hidrogênio (H_2) através de uma revisão bibliográfica sobre o tema. O H_2 é um combustível que pode ser gerado pela eletrólise da água ou por uma célula de combustível de etanol, que é uma fonte-renovável de energia. Dessa forma, torna-se um combustível, ainda em estudo, de matéria-prima inesgotável, permitindo assim ter sua produção garantida e por isso esse combustível torna-se uma promessa para o futuro próximo. Nesse estudo foram apresentadas cinco tipos de células a combustível a seguir: *Alkaline Fuel Cell – AFC*, *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell – PEMFC*, *Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC*, *Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC* e *Solid Oxide Fuel Cell – SOFC*. As células de eletrólito polimérico – PEMFC possuem uma densidade de corrente e de potência elevadas e sua operação é bem flexível por serem células pequenas e leves; sendo promissora sua aplicação em carros elétricos, chegando a uma eficiência maior do que os carros convencionais movidos a motores de combustão interna. O hidrogênio reaproveitado desse processo é 70 a 90% armazenável e versátil. Como desvantagens possui um custo mais alto, pois a energia é procedente de fontes renováveis, que possui maior custo de energia para a produção de hidrogênio cinza e do verde, em particular requer mais energia que outros combustíveis e deve-se ter atenção à segurança. Pode-se concluir que esse tipo de combustível renovável (hidrogênio verde) veio para ajudar em práticas sustentáveis e melhorar o desenvolvimento mundial na diminuição de dióxido de carbono presente na atmosfera. Para os pesquisadores e ambientalistas ele pode ser uma solução bastante adequada e esperam que no futuro próximo ele possa ser um combustível mais acessível para os consumidores.

Palavras-chave: Produção, Desenvolvimento, Tecnologia, Combustível, Hidrogênio, Etanol.

Abstract

This article aimed to show possibilities for new alternative sources of renewable fuels and more specific to hydrogen (H_2) through a literature review on the topic. H_2 is a fuel that can be generated by the electrolysis of water or by an ethanol fuel cell, which is a renewable source of energy. In this way, it becomes a fuel, still under study, with an inexhaustible raw material, thus allowing its production to be guaranteed and therefore this fuel becomes a promise for the near future. In this study, the following five types of fuel cells were presented: *Alkaline Fuel Cell – AFC*, *Polymer Electrolytic Membrane Fuel Cell – PEMFC*, *Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC*, *Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC* and *Solid Oxide Fuel – SOFC*. Polymeric electrolyte cells – PEMFC have a high current and power density and their operation is very flexible because they are small cells and levels; Its application in electric cars is promising, reaching greater efficiency than cars powered by internal combustion engines. The hydrogen reused from this process is 70 to 90% storable and versatile. As it has a higher cost, as the energy comes from renewable sources, which has a higher energy cost to produce gray hydrogen and green, it requires more energy than other fuels and attention must be paid to safety. We can conclude that this type of renewable fuel (green hydrogen) came to help with sustainable practices and improve global development by reducing carbon dioxide present in the atmosphere. For researchers and experts, it can be a very suitable solution and they hope that soon it can be a more accessible fuel for consumers.

Keywords: Production, Development, Technology, Fuel, Hydrogen, Ethanol.

Resumen

Este artículo tuvo como objetivo mostrar posibilidades para nuevas fuentes alternativas de combustibles renovables y más específicas al hidrógeno (H₂) a través de una revisión de la literatura sobre el tema. El H₂ es un combustible que puede generarse mediante electrólisis de agua o mediante una pila de combustible de etanol, que es una fuente de energía renovable. De esta manera, se convierte en un combustible, aún en estudio, con una materia prima inagotable, lo que permite garantizar su producción y por tanto este combustible se convierte en una promesa para el futuro próximo. En este estudio, se presentaron los siguientes cinco tipos de pilas de combustible: pila de combustible alcalina (AFC), pila de combustible de membrana electrolítica de polímero (PEMFC), pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC), pila de combustible de carbonato fundido (MCFC) y combustible de óxido sólido (SOFC). Celdas de electrolitos poliméricos – PEMFC tienen una alta densidad de corriente y potencia y su funcionamiento es muy flexible porque son celdas y niveles pequeños; Su aplicación en los coches eléctricos es prometedora, alcanzando una mayor eficiencia que los coches propulsados por motores de combustión interna. El hidrógeno reutilizado de este proceso es almacenable y versátil entre un 70 y un 90%. Como tiene un coste mayor, al provenir de fuentes renovables, que tiene un coste energético mayor para la producción de hidrógeno gris y verde, en particular requiere más energía que otros combustibles y hay que prestar atención a la seguridad. Podemos concluir que este tipo de combustible renovable (hidrógeno verde) vino para ayudar con prácticas sustentables y mejorar el desarrollo global al reducir el dióxido de carbono presente en la atmósfera. Para investigadores y expertos puede ser una solución muy adecuada y esperan que en un futuro próximo pueda ser un combustible más accesible para los consumidores.

Palabras clave: Producción, Desarrollo, Tecnología, Combustible, Hidrógeno, Etanol.

INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo na década de 70 e 80 do século XX, os fabricantes de automóveis foram obrigados a encontrar novas tecnologias de combustíveis, como alternativa para substituir os combustíveis de origem fóssil. Devido à essa necessidade, iniciou-se os estudos para a utilização de combustíveis renováveis em seus veículos. No Brasil, os principais estudos se iniciaram com a cana-de-açúcar pela fabricação de etanol hidratado e posteriormente etano anidro, sendo atualmente a principal fonte alternativa de combustível renovável do país. Esse biocombustível pode ser produzir etanol a partir de outras matérias-primas, como exemplo milho e mandioca, bem com o biodiesel proveniente da soja, dendê, girassol, mamona. Porém, esse último em menor escala industrial (D'Almeida, 2015). Muitas dessas matérias-primas ainda estão em fase de estudos e desenvolvimento, inclusive o resíduo da cana-de-açúcar (bagaço), que pode ser utilizado para fabricação do etanol de segunda geração (Rabelo, 2010).

Mais recentemente surgiu o hidrogênio (H_2) a partir do etanol. Por exemplo, o carro produzido pela *Toyota*, conhecido como *Mirai* utiliza a tecnologia de *Toyota Fuel Cell System* (TFCS) e oferece tanto a tecnologia de célula de combustível quanto a típica dos carros elétricos híbridos, sendo desenvolvido com o objetivo de se tornar neutro em termos climáticos até 2050, atendendo a chamada “Aliança para o Hidrogênio Limpo” da Comissão Europeia com a colaboração primordial para a mobilidade sustentável, visto que o vapor d’água é produzido ao final do processo eletroquímico (Emilio, 2020). O autor cita outro carro a hidrogênio, que é o *Honda Clarity Fuel Cell*, sedã japonês que pode percorrer uma distância de 650 km e atingir uma velocidade máxima de 165 km por hora com 177 cv de potência do motor inovador. É citado também o *Audi H Tron*, *BMW i Hydrogen Next* e o *Hyundai NEXO*, que estão entre os carros a hidrogênio.

O abastecimento desse carro não é algo complicado, visto que há uma bomba no local de abastecimento semelhante aos postos de gasolina. O hidrogênio é bombeado e abastecido em tanques de combustível que são reforçados com fibra de carbono e após 5 minutos de abastecimento está pronto para se locomover (Toyota Motor USA, 2022). Dessa forma, haverá a diminuição de os ruídos e as emissões de gases poluentes para as gerações futuras com a eletrificação, que substitui o combustível fóssil, e em paralelo a utilização do hidrogênio como como combustível nos veículos leves (Passos, 2022).

No ano de 2015 começaram a ser comercializados os veículos movidos à hidrogênio nos EUA. Já no ano de 2022, o número de vendas desses veículos foi um pouco mais de 10.000 unidades no mundo para clientes da Califórnia. Nesse estado americano é o único lugar que se encontra postos de abastecimento de hidrogênio, no total de 44 instalados (Nichols, 2022).

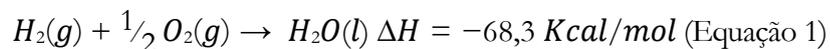
Dessa forma, o objetivo desse artigo foi mostrar possibilidades de novas fontes alternativas de

combustíveis renováveis e mais especificamente do hidrogênio (H₂) através de uma revisão bibliográfica sobre o tema. Atualmente, pode-se ver no mercado automobilístico carros desenvolvidos com tecnologias, híbridas e elétricas. Todavia, o país ainda precisa se reestruturar para receber esses automóveis em escala nacional, assim podendo transformar esse combustível em uma das principais opções no mercado.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

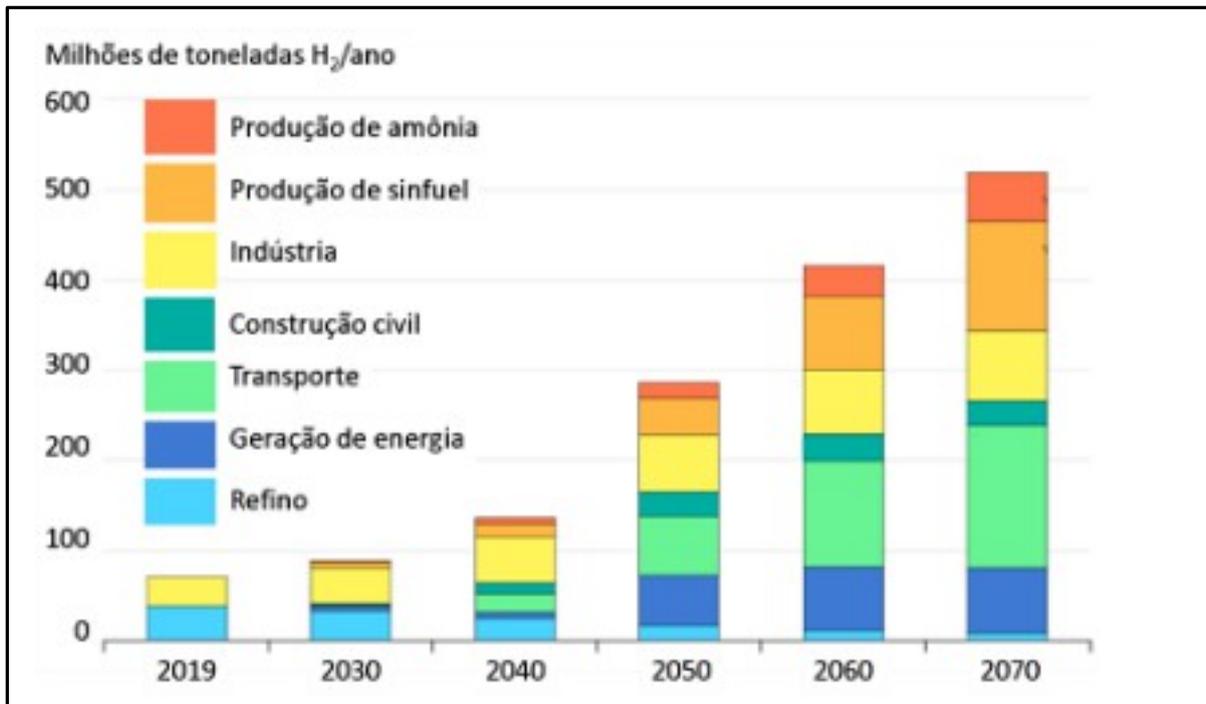
Produção de Hidrogênio

Para que o hidrogênio seja considerado um biocombustível do futuro necessita-se de estudos e pesquisas salientando quais os impactos ambientais que esse combustível pode causar e como pode ser realizada sua produção e armazenamento. O hidrogênio é uma fonte renovável que não se esgota e não é poluente. A reação química do hidrogênio com o oxigênio do ar tem como produtos água e energia elétrica por ser uma reação exotérmica ($\Delta H = -68,3 \text{ Kcal/mol}$), conforme apresentado na Equação 1. Assim umas das melhores opções para o meio ambiente, ele pode ser produzido através da gaseificação do bagaço de cana-de-açúcar, etanol ou de fontes fósseis como o gás natural (ENERGIA, 2020).



Segundo a EPE (2022), Empresa de Pesquisa Energética, o hidrogênio utilizado como uma nova fonte de energia é um ponto positivo para a matriz energética do Brasil. Assim, pode-se transformar eletricidade em energia gerada em células de combustível para a conversão do hidrogênio em energia elétrica. Essa nova fonte de energia pode ser usada em diversas tecnologias e em diferentes setores, conforme é identificado na Figura 1.

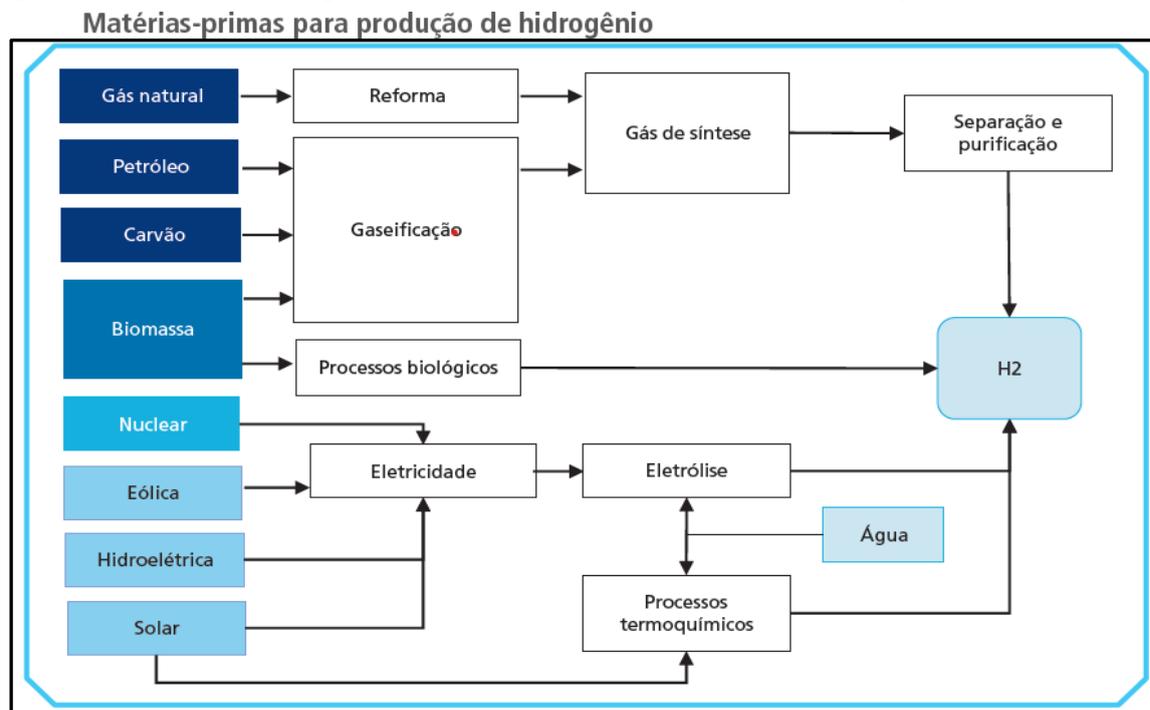
Figura 1 - Projeção da utilização do hidrogênio por uso até 2070



Fonte: EPE, 2022.

Na Figura 2 são apresentadas as diferentes matérias-primas que podem ser utilizadas para produção de hidrogênio:

Figura 2 - Matérias-primas que podem ser utilizadas para produção de hidrogênio



Fonte: Oliveira, 2022, p. 13.

No Brasil, o H₂ possui viabilidade técnica para ser usado inclusive com potencial de geração a partir da reforma do etanol como fonte de energia renovável, gerando assim o hidrogênio verde. Estima-se também que até 2050 a maior parte produzida de hidrogênio, será proveniente da mistura de hidrogênio verde e azul. O hidrogênio verde (H₂V) é produzido pela eletrólise usando energia renovável (etanol, por exemplo) e o hidrogênio azul é extraído do gás natural (Fonseca, 2022). A região Nordeste está se posicionando como um polo produtor de H₂V, pois possui alto potencial para geração de energia eólica e solar e seus portos estão geograficamente bem localizados em relação aos principais mercados da Europa, além do Ceará – estado com o maior número de projetos de H₂V anunciados no Brasil –, Rio Grande do Norte, Bahia, Pernambuco e Piauí também já possuem memorandos de entendimento com a iniciativa privada para produção de H₂V. O Brasil apresenta grande potencial de geração solar fotovoltaica com destaque para as regiões Nordeste e Centro-Oeste (Oliveira, 2022, p. 16).

O hidrogênio pode ser produzido por um processo térmico, 95% de todo o hidrogênio produzido vêm do gás natural, mas é possível produzi-lo também a partir da eletrólise com dois eletrodos ligados a uma fonte de energia e inseridos em um recipiente com água. As barras que passam por água têm a polaridade diferentes e a energia que passa por eles separa o hidrogênio da água. (Energia, 2020).

Conforme explica Grigoriadis e Silva (2022, p. 44), esse processo é relativamente simples para conseguir a extração de hidrogênio com uma pureza alta, podendo chegar até a 99,99% em volume assim a depender da secagem e eliminação do gás, nesse processo é a separação de duas moléculas nos gases hidrogênio e oxigênio por uma passagem de corrente elétrica contínua, a corrente flui entre dois eletrodos separados e imersos em um eletrólito, que tem uma função de aumentar a condutividade iônica do meio, deve-se utilizar um separador ou diafragma para evitar a mistura dos gases gerados nos eletrodos, conforme apresentado na Figura 3.

A estequiometria da reação ocorre através do seguinte processo:



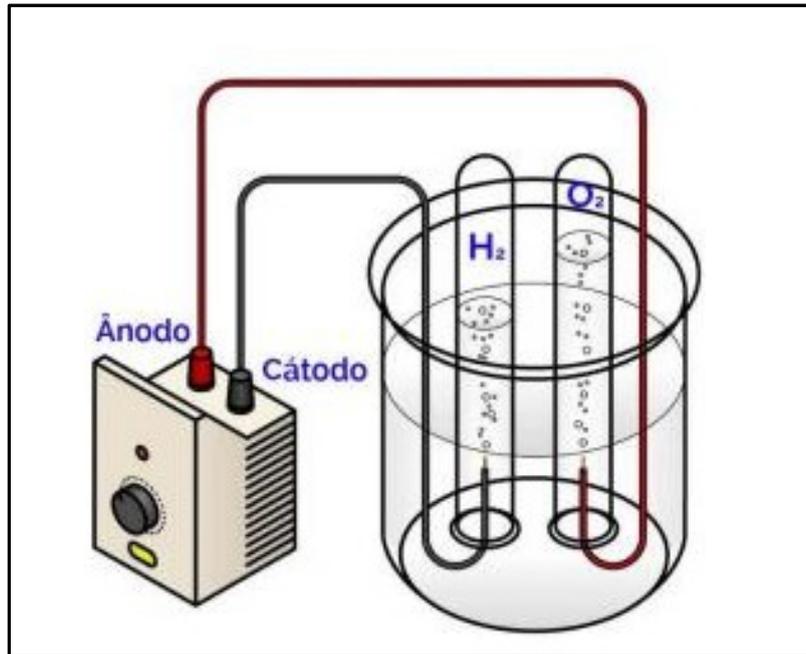
No eletrodo negativo o hidrogênio é formado através da reação (cátodo):



No eletrodo positivo o oxigênio é formado através da reação (ânodo):



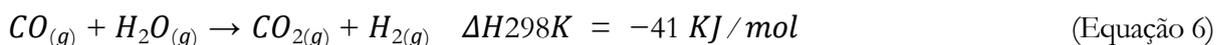
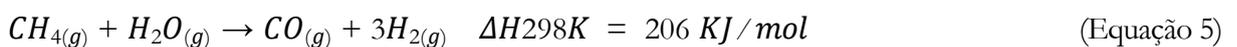
Figura 3 - Desenho esquemático para eletrólise de água e obtenção do gás hidrogênio e oxigênio



Fonte: Santos Júnior, 2004.

Para utilizar o hidrogênio como combustível necessita-se a sua passagem por uma célula de combustível. Nessa célula o processo ocorre o inverso. Assim como na eletrólise contém dois eletrodos, o negativo é alimentado pelo hidrogênio enquanto o positivo recebe ar. No negativo uma substância separa as moléculas de hidrogênio em prótons e elétrons, esses elétrons saem do eletrodo e geram um fluxo de eletricidade e os prótons vão em direção ao ar. Esses prótons se misturam com o oxigênio no caminho contrário da eletrólise gerando água e calor e assim é gerada energia sem combustão e produzindo apenas vapor e água (Além da Energia, 2020).

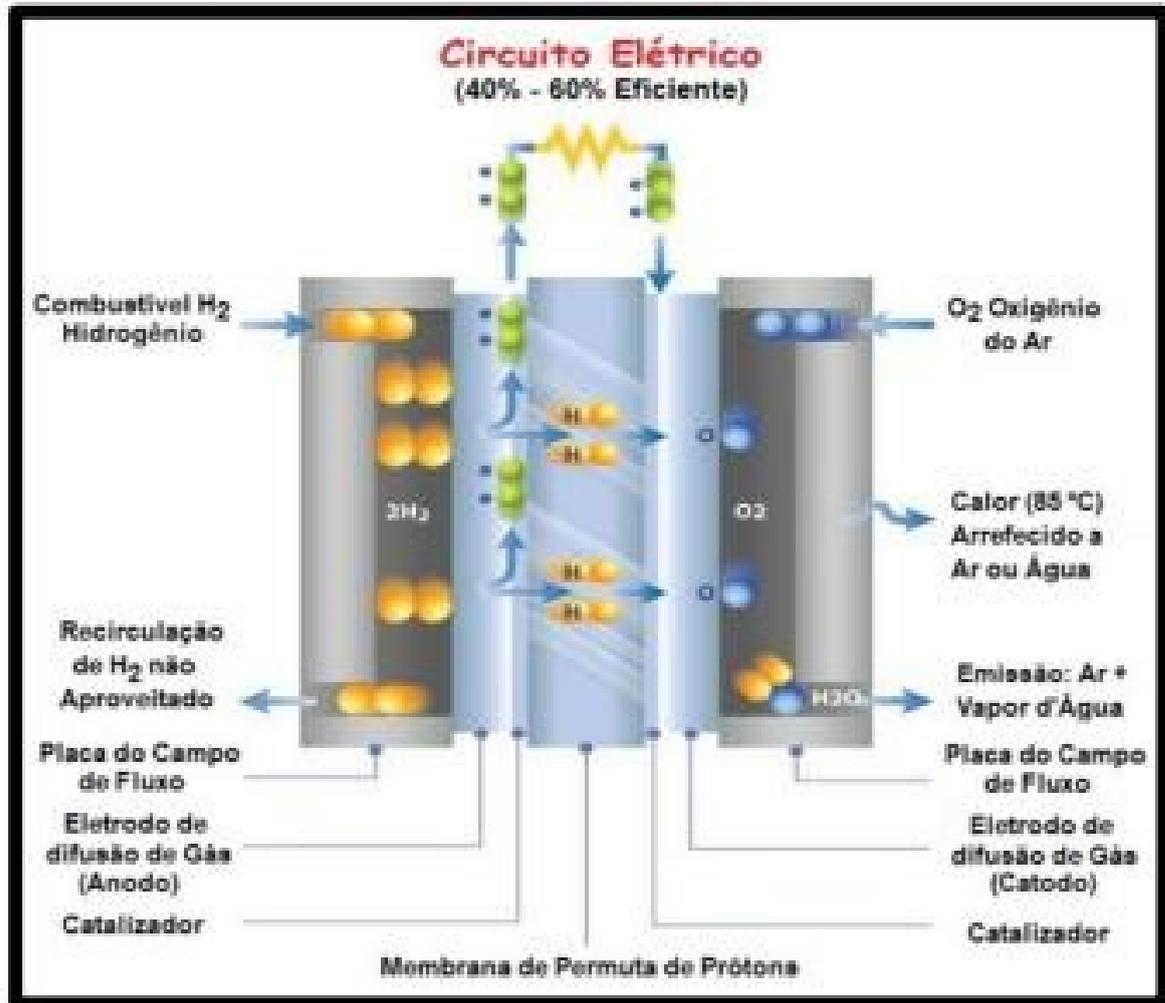
O trabalho de Grigoriadis & da Silva (2022, p. 45) apresenta o processo contínuo de reação catalítica do gás natural com vapor d'água, formando H₂, além de CO, CO₂ e, de forma indesejada, C, na forma de fuligem, conforme identificado nas seguintes reações químicas catalisadas. (Equação 5 e 6):



O hidrogênio reaproveitado desse processo é de 70 a 90%, aproximadamente. Porém nesse modelo de obtenção existe três desvantagens: (1) a produção de hidrogênio para o meio desse processo de extração é mais caro que o combustível primário que é usado por combustão; (2) o modelo de processo só se aplica a combustíveis fósseis que não são renováveis e no futuro poderá deixar de ser utilizado; (3) o CO₂ é liberado no meio ambiente (Santos, 2005).

Apresenta-se na Figura 4 a seguir o princípio de funcionamento da célula combustível:

Figura 4 - Princípio de Funcionamento da Célula a Combustível



Fonte: Lenz, 2013.

A célula de hidrogênio combustível é energia eletroquímica que converte a energia de um combustível em eletricidade através de uma reação eletroquímica. Seus princípios de funcionamentos são constituídos em dois eletrodos porosos, de maneira que o ânodo exerce sua funcionalidade de terminal negativo e o cátodo representando o terminal positivo. Ambos são cobertos em um dos lados por uma camada de catalisador tendo como base, platina ou níquel e distintos por um eletrólito (Santos, 2003).

Segundo Junior et al. (2022), existem cinco tipos de células a combustível apresentadas a seguir: *Alcaline Fuel Cell – AFC*, *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell – PEMFC*, *Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC*, *Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC* e *Solid Oxide Fuel Cell – SOFC*. O autor conclui sobre os tipos de células de combustível que a célula alcalina - AFC possui alta eficiência e funciona em baixas temperaturas com custo operacional alto devido à utilização de hidrogênio e oxigênio puros para evitar contaminação do eletrólito por monóxido e dióxido de carbono. Já as células de eletrólito polimérico – PEMFC

possuem uma densidade de corrente e de potência elevadas e sua operação é bem flexível por serem células pequenas e leves; sendo promissora sua aplicação em carros elétricos, chegando a uma eficiência maior do que os carros convencionais movidos a motores de combustão interna. Já a célula de ácido fosfórico – PAFC, opera numa faixa de temperatura mais elevada (160 a 200°C) e possui uma potência geradora da ordem de megawatt (MW), podendo ser utilizada em unidades estacionárias com a desvantagem de contaminação da célula por monóxido de carbono e sua eficiência limitada pela corrosão da célula pelo ácido fosfórico. Por outro lado, a célula de carbonato fundido – MCFC opera a altas temperaturas (600 – 750°C) e possui alta tolerância ao monóxido e dióxido de carbono, com eletrodos de metais como o níquel, barateando seu custo. Todavia, é exigido bastante tempo para atingir sua temperatura de operação e potência desejada, tonando-se esse fator, uma desvantagem do processo. Finalmente, as de óxido sólido – SOFC também operam a elevadas temperaturas e são utilizadas em processos de geração e distribuição de energia de larga escala e possuem baixas emissões de gases poluentes, podendo ser empregadas em áreas rurais, onde o acesso à rede pública seja restrito.

Depois do hidrogênio ser produzido deve ser transportado ao mercado e servir de uso para vários tipos de funções. A mais conhecida é o seu uso como um combustível para veículos automotores, mas também pode ser utilizado na produção de energia elétrica para prédios e em alguns casos podem fornecer calor também. As células de combustível podem ser vistas como um grande potencial de fonte de energia para aeronaves, usar como sistema de gerador de emergência e podem servir de unidade auxiliar de energia para todo o avião, por exemplo, (Além da Energia, 2020).

Os veículos utilizam o gás hidrogênio como fonte principal de energia formando a convertendo o gás em eletricidade e não produzindo gases poluentes, diferindo o carro movido à hidrogênio do elétrico, pois esse último possui bateria é embutida e é necessário carregar em um ponto externo e gera uma demanda de descarte químico. Já o carro movido a hidrogênio está em constante recarga devido ao hidrogênio, causando menos impacto ambiental (Redação, 2021).

O carro Toyota *Mirai*¹, que significa futuro em japonês, é adequado ao propósito do mesmo, pois está equipado por sistema de propulsão de veículo elétrico movido por uma célula de combustível renovável. Esse modelo de automóvel foi lançado pela montadora em 2014 em modelo sedan de 4 lugares semelhante ao *Prius*. O fabricante informou que o sistema de saída de combustível chega a mais de 100 kWh, contém dois tanques de hidrogênio (142.2 litros) de alta pressão (87.5 MPa) a prova de balas que alimentam o motor elétrico de 4,4 kW/L. O seu tanque de hidrogênio pode proporcionar uma autonomia de 312 milhas, ou seja, 502 km (Nichols, 2023).

O hidrogênio tem vantagens e desvantagens. Para ser produzido um biocombustível é

¹ Cf. em https://www.toyota.com/mirai/2023/features/mpg_other_price/3002/3003, acesso em 24/10/2023.

importante saber se é viável economicamente ou não em função de fatores como dificuldades de armazenamento, o custo de produção e valor comercial do produto, para que seja obtido um combustível acessível para todos, pois se o valor final for muito alto a sociedade continuará investindo em automóveis que façam o uso de um combustível fóssil (BIODIESELBR, 2006).

Dessa forma, os aspectos positivos do hidrogênio verde são:

- 100% sustentável: o hidrogênio não emite gases poluentes nem durante a combustão e nem durante o processo de produção.
- Armazenável: o hidrogênio é fácil armazenar, o que permite sua utilização posterior em outros usos e em momentos diferentes ao de sua produção
- Versátil: o hidrogênio verde pode ser transformado em eletricidade ou combustíveis sintéticos e ser utilizado com finalidades comerciais, industriais ou de mobilidade.

Já em relação aos aspectos negativos, o hidrogênio verde oferece as seguintes desvantagens. (Iberdrola, 2023):

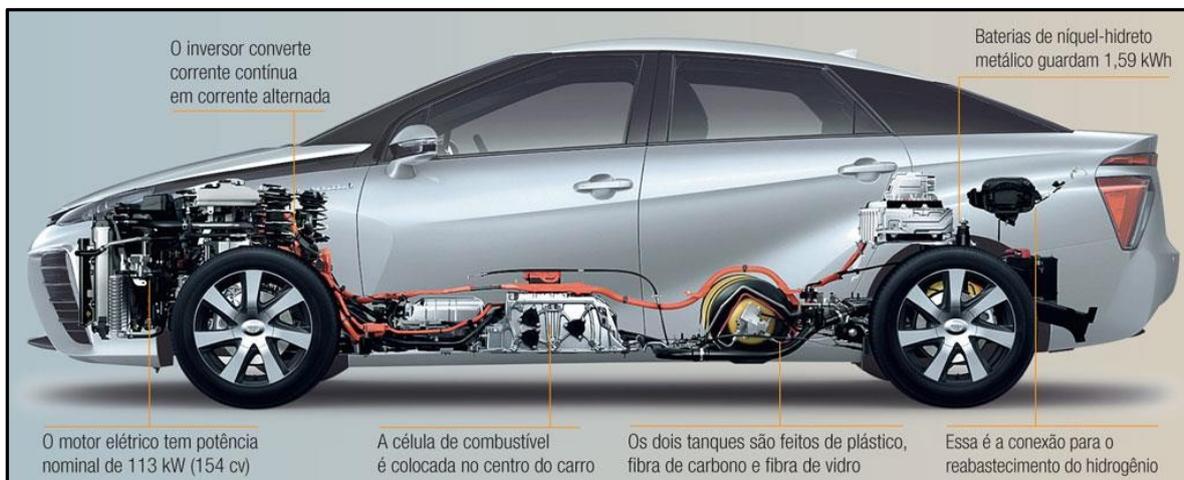
- Custo mais alto: a energia procedente de fontes renováveis, fundamentais para gerar hidrogênio verde através da eletrólise, é mais cara de gerar, o que, por sua vez, torna mais cara a obtenção do hidrogênio.
- Maior gasto de energia: a produção de hidrogênio em geral e do verde em particular requer mais energia que outros combustíveis.
- Atenção com a segurança: o hidrogênio é um elemento muito volátil e inflamável, exigindo requisitos de segurança elevados para evitar fugas e explosões (Iberdrola, 2023).

Com essa nova opção de combustível consegue-se pensar em um futuro melhor para o meio ambiente de modo sustentável e renovável que ajudam reduzir gases no efeito estufa e a emissão de CO₂ para a atmosfera como prática sustentável. Assim, o hidrogênio que promete ser um combustível do futuro que poderá ser acessado economicamente facilmente no funcionamento do automóvel e além de não poluir será movido pela eletricidade formada pela reação do combustível.

Estrutura do Automóvel

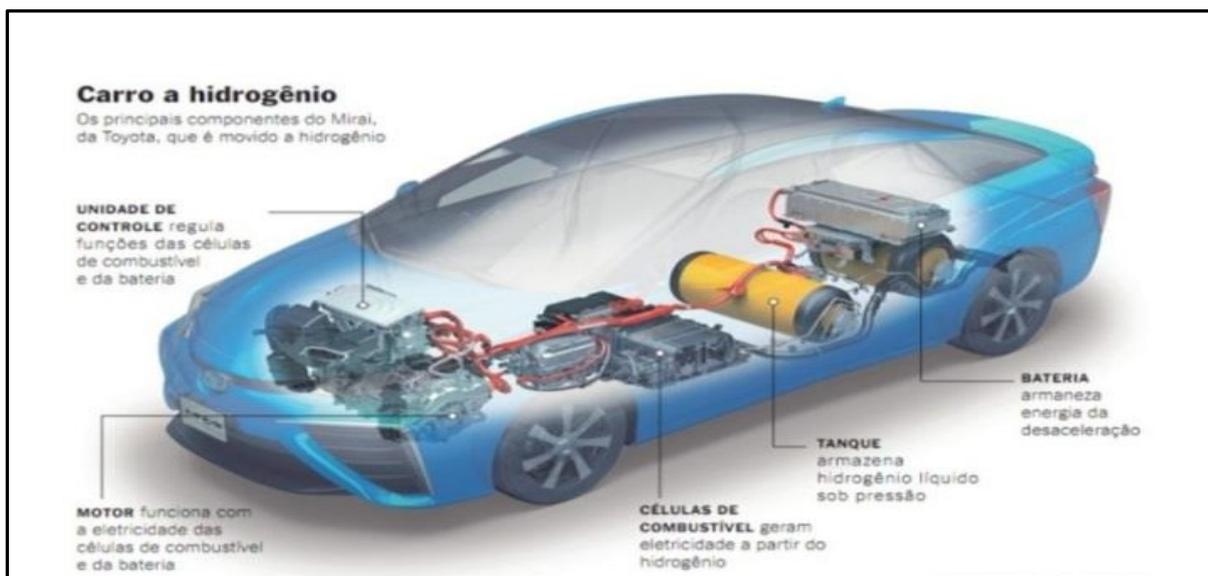
A estrutura desses automóveis para poder suportar toda essa nova tecnologia é diferente dos veículos automotores de combustão completa a partir do ciclo Otto. Apresenta-se a seguir o modelo estrutural do carro Toyota Mirai, que é o carro desenvolvido e que está sendo conhecido no mercado atualmente, conforme apresentado nas Figuras 5 e 6.

Figura 5- Estrutura do carro movido a combustão por hidrogênio



Fonte: Motor Show, 2020.

Figura 6- Estrutura do carro movido a combustão por hidrogênio



Fonte: Gazeta do Povo, 2015.

O *Toyota Mirai* gera energia combinando o hidrogênio com o ar externo no núcleo do *Mirai*. O hidrogênio do tanque de combustível e o ar que entra pela grade de admissão se encontram na célula de combustível, ocorre uma reação química envolvendo o oxigênio do ar e o hidrogênio passa pelo processo eletroquímico (Equação 2) gerando eletricidade e alimentando o carro. Observa-se que ao final o único subproduto é a água (Toyota Motor USA, 2022).

Os tanques de combustível de hidrogênio do *Toyota Mirai* foram rigorosamente testados e comprovados para conseguir atender ao regulamento técnico global N°13. Seus tanques de combustível são patenteados com uma envoltória em fibra de carbono e revestimento de polímero que absorvem cinco vezes a energia de impacto do aço e em uma colisão de alta velocidade os sensores são projetados para interromper o fluxo de hidrogênio e qualquer vazamento de hidrogênio escapará rapidamente com segurança para atmosfera (Toyota Motor USA, 2022).

O *Toyota Mirai* não se ausenta em possuir uma bateria de 1,2 kWh, que ao contrário dos carros elétricos tradicionais, o *Hybrid Battery Pack (lithium-ion)* complementa seu *Fuel Cell Stack* auxiliando na aceleração e na frenagem regenerativa ou para eventuais variações na corrente gerada pela célula (Toyota Comunica, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção Mundial

Grandes companhias de petróleo lançaram seus projetos para o hidrogênio verde. Entre elas a Repsol, BP (*British Petroleum*) e Shell. Vários países já anunciaram seus planos para essa nova tecnologia. Inclusive a União Europeia se comprometeu a investir nesse novo combustível e outros países fizeram a promessa de torná-lo acessível para que todos tenham acesso a esse biocombustível e com um preço adequado ao bolso. Os países que estão liderando essas pesquisas desde o ano de 2020 são Austrália, Holanda, Alemanha, China, Arábia Saudita e Chile. O Brasil ainda está com os projetos em desenvolvimento, mas segundo a pesquisa, ele pode virar o maior produtor de hidrogênio verde (BBC, 2021).

Diogo Romeiro (2023) comenta que há uma iniciativa de aproveitar a produção de hidrogênio para gerar maior valor agregado em produtos brasileiros. Ao invés de ser exportado aço, o país pode exportar o aço verde, amônia verde, hidrogênio verde no lugar do cinza assim aumentando o valor agregado de seus produtos e com isso podendo economizar 830 milhões de carbono por ano, favorecendo o meio ambiente na campanha de carbono zero, podendo exportar o hidrogênio verde com um maior valor que o hidrogênio cinza, fazendo o país crescer economicamente. Conforme informado anteriormente, esse combustível tem vários mercados além de combustíveis de veículos, podendo ser utilizado futuramente na aviação, navegação, aquecimento de residências e até geração de energia elétrica em indústrias.

Segundo Viri e Teixeira Jr. (2021), no ano de 2019 a Agência Internacional de Energias Renováveis evidenciou por meio de suas pesquisas que o custo para produção de hidrogênio verde pode cair em mais de um terço, deixando de custar 6 dólares por quilo, e passando a custar entre 1 e 2 dólares por quilo, até o ano de 2030. Então, além de mais interessante para substituição do hidrogênio cinza, ele se tornará um excelente substituto dos combustíveis fósseis em alguns segmentos da economia. Entretanto, uma outra pesquisa realizada pela consultoria *Wood Mackenzie* estimou que a conformidade entre o hidrogênio verde e o cinza deve chegar, em média, até o ano de 2040.

Políticas Públicas e normas técnicas

O hidrogênio é uma das estratégias para a descarbonização da matriz energética e a redução do uso de combustíveis fósseis, ele já está no plano nacional de energia de 2050 (PNE, 2020), o Brasil é membro do IPHE (*International Partnership for Hydrogen Energy*), propostas do para o uso de hidrogênio publicadas em julho de 2021, reconheceu o uso de hidrogênio para a redução da emissão de carbono, entre as diretrizes apresentadas contém o uso do gás natural nacional com a captura do CO₂ para a produção do hidrogênio, a competitividade das energias renováveis que ajuda na redução do carbono entre elas, etanol e biogás, com etanol em destaque, como vemos é um dos maiores produtos produzidos no Brasil e que foram pensados para ajudar o meio ambiente.

Apresenta-se a seguir relação de normas e aos padrões sobre hidrogênio no Brasil, que devem ser utilizadas pelas empresas montadoras de veículos movidos a hidrogênio:

- 1 ABNT ISO/TR 15916:2015. Considerações básicas para a segurança dos sistemas de hidrogênio²
- 2 ABNT NBR ISO 16110-1: 2010. Geradores de hidrogênio que utilizam tecnologias de processamento de combustível. Aplicada à sistemas de geração de hidrogênio, embalados, autocontidos ou compatíveis de fábrica com uma capacidade menor que 400 m³/h a 0 °C e 101,325 kPa. Geradores de hidrogênio, que convertem um combustível de entrada em uma corrente rica em hidrogênio de composição e condições adequadas para o tipo de dispositivo que utilizará o hidrogênio (por exemplo, um sistema de geração de energia tipo célula de combustível ou um sistema de compressão, armazenamento e distribuição de hidrogênio).³
- 3 ABNT NBR ISO 14687-1: 2010. Combustível de hidrogênio – Especificação do produto

² Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29409/abnt-iso->. Acesso em 24/10/2023.

³ Cf. em: Fonte: https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29129/nbriso16110-1-geradores-de-hidrogenio-que-utilizam-tecnologias-de-processamento-de-combustivel-parte-1-seguranca#:~:text=NBRISO16110%2D1%20DE%2001%2F2010&text=*Trata%2Dse%20de%. Acesso em 24/10/2023.

Parte 1: Todas as aplicações, exceto células a combustível de membrana de troca de prótons (PEM) para veículos rodoviários automotores.⁴

4 ABNT IEC/TS 62282-1: 2018. Tecnologias de pilhas a combustível. Parte 1: Terminologia.⁵

5 ABNT NBR IEC 62282-2: 2010. Tecnologias de células a combustível – parte 2: módulos de células a combustível.⁶

6 ABNT NBR ISO 17268: 2014. Dispositivos de conexão para reabastecimento de veículos terrestres com hidrogênio gasoso. Aplica-se à verificação do projeto, da segurança e da operação de dispositivos de conexão para reabastecimento de veículos terrestres com hidrogênio gasoso (VTHG)⁷

7 Resolução no 5.947, de 1º de junho de 2021, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT): referente a transporte de produtos perigosos e a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos, que atualiza o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos, aprova as suas instruções complementares, e dá outras providências.⁸

Redução de CO₂ no Mundo

Países que são exportadores de petróleo acabaram tirando de seu foco no tema e do acordo o uso de combustíveis renováveis e limpos, pois para eles o prejuízo em diminuir o comércio de petróleo é bem alto. Esses países são: Arábia Saudita, Rússia, China e Índia. O foco dessa organização é a redução de gás carbono na atmosfera assim ajudando a preservar o meio ambiente diminuindo os gases de efeito estufa e o aquecimento global.

Conforme informa o estudo de IEA (2019), *International Energy Agency*, os países que aderiram ao projeto e estão substituindo outros produtos como gás natural, energia nuclear e outros tipos de biocombustíveis já começaram seu desenvolvimento, como indicado na Figura 7:

⁴ Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29404/nbriso14687-1-combustivel-de-hidrogenio-especificacao-do-produto-parte-1-todas-as-aplicacoes-exceto-celulas-a-combustivel-de-membrana-de-troca-de-protons-pem-para-veiculos-rodoviarios-automotores>, acesso em 24/10/2023.

⁵ Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/26467/abnt-iec-ts62282-1-tecnologias-de-pilhas-a-combustivel-parte-1-terminologia>, acesso em 24/10/2023.

⁶ Cf. em: Fonte: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/42040/nbriec62282-2-tecnologias-de-celulas-a-combustivel-parte-2-modulos-de-celulas-a-combustivel>, acesso em 24/10/2023.

⁷ Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29160/abnt-nbriso17268-dispositivos-de-conexao-para-reabastecimento-de-veiculos-terrestres-com-hidrogenio-gasoso>, acesso em 24/10/2023.

⁸ (Fonte: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-5.947-de-1-de-junho-de-2021-323561273>, acesso em 24/10/2023).

Figura 7- Países e suas alternativas para a diminuição do carbono

País	Ano	Redução em cinco anos (pontos percentuais)	Participação inicial (porcentagem)	Substituído principalmente por
Reino Unido	2018	-12,4	17,0	Gás natural
Israel	2018	-9,4	29,8	Gás natural
Grécia	2018	-8,9	29,9	Gás natural
Cazaquistão	2016	-8,1	51,3	Gás natural
Espanha	2010	-6,8	12,8	Vários
Austrália	2014	-6,5	39,7	Gás natural
Portugal	2010	-6,3	13,5	Gás natural
China	2017	-6,2	69,7	Vários
Dinamarca	2018	-5,9	15,7	Biocombustível
Ucrânia	2017	-5,8	35,8	Nuclear
Estados Unidos	2018	-5,3	19,6	Gás natural

Fonte: IEA, 2019.

Os países em desenvolvimento dessas novas tecnologias e que estão passando por essa transição participam dos programas criados pela ONU (Organização das Nações Unidas). O chamado carbono zero só trará qualidades e benefícios para o nosso planeta no futuro. Sabe-se que atualmente estão acontecendo altos desastres causados de forma antrópica, resultando em animais em extinção, chuvas ácidas, temperaturas extremamente elevadas fora de época, inundações, destruição da camada de ozônio, inundações e vários outros impactos ambientais. Usando formas para contribuir na redução desses impactos, pode-se trazer ideias sustentáveis e educação ambiental, que são de extrema importância atualmente (IPEA, 2008).

Oliveira (2022, p. 9/10) do IPEA apresentou o desenvolvimento do hidrogênio na América Latina e quais países já pensam na criação dessa nova tecnologia de combustível renovável. O Brasil segue junto nessa nova descoberta tecnológica e sustentável, conforme indicado na Figura 8:

Figura 8- Produção de hidrogênio na América Latina

Itens analisados em relação ao H ₂	Argentina	Brasil	Chile	Colômbia	Uruguai	Equador	Peru	Trindade e Tobago	Costa Rica	Paraguai
Marco regulatório	Não existe	Em progresso	Não existe	Em progresso	Em progresso	Em progresso				
Mercado interno e demanda	Existe	Existe	Existe							
Grandes centros industriais para uso de H ₂	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Não existe	Em progresso	Em progresso	Em progresso	Em progresso	Em progresso
Infraestrutura para transporte	Não existe	Em progresso	Em progresso	Não existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe
Excesso de energia verde para usar na eletrólise	Não existe	Em progresso	Existe	Não existe	Existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Existe	Existe
Grande indústria de petróleo e gás para apoiar o hidrogênio azul	Existe	Existe	Não existe	Existe	Não existe	Em progresso	Em progresso	Existe	Não existe	Não existe
Habilidades da força de trabalho	Em progresso	Em progresso	Não existe	Em progresso	Em progresso	Não existe				

(Continuação)

Itens analisados em relação ao H ₂	Argentina	Brasil	Chile	Colômbia	Uruguai	Equador	Peru	Trindade e Tobago	Costa Rica	Paraguai
H ₂ azul ou cinza em produção	Existe	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Não existe	Existe	Não existe	Não existe	Não existe
H ₂ verde em produção	Existe	Existe	Existe	Não existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Não existe	Em progresso	Não existe
Apoio do governo	Em progresso	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Em progresso	Em progresso	Existe	Existe	Existe

Fonte: IAméricas (2021).

Elaboração da autora.

Fonte: Oliveira, 2022, p. 9/10.

Pode-se verificar que esse combustível é uma ótima opção renovável e limpa para ser investido no futuro. Assim, pode-se deixar a dependência do petróleo e de combustíveis fósseis. Com o desenvolvimento de mais estudos e em um futuro próximo podem ser produzidos carros com essa tecnologia em um custo bem acessível do que está sendo fabricado hoje.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrogênio é um combustível renovável e com alto potencial no mercado, podem conseguir fazer virá-lo um dos mais promissores biocombustíveis da atualidade e do futuro, sua fonte inesgotável e com os investimentos certos e adequados é possível ir muito além de ajudar o meio ambiente e não apenas achar soluções porque participam de um projeto para redução de carbono, mas sim pensar em ideias sustentáveis para ajudar o planeta para essas novas gerações. Sabe-se que o lucro

também é importante para que esse progresso ocorra. Assim, o governo deve apoiar essas novas pesquisas e novos produtos do mercado sustentáveis. O Brasil é um país com diversos tipos de climas e consegue ter uma grande produção de matérias-primas renováveis, que impulsionam a economia verde e sustentável.

O hidrogênio é um ótimo produto para o futuro, pois o carro movido a esse combustível já está em funcionamento e com adequações do combustível é possível ter um carro com alta potência com sua bateria que é capaz de suportar 1,59 kWh e seu motor elétrico de potência nominal de 113 kW e equivalente a 154 cv. Espera-se que no futuro esse combustível seja usado em maior escala e que carro movido à hidrogênio seja vendido com grande frequência e obtenha um grande mercado nacional e internacional.

O combustível renovável: o hidrogênio veio para ajudar em práticas sustentáveis e melhorar o desenvolvimento no mundo na diminuição de gás carbono presente na atmosfera. Para os pesquisadores e ambientalistas ele pode ser uma solução bastante adequada e esperam que no futuro próximo ele possa ser um combustível mais acessível para os consumidores, já que no Brasil há ótimos recursos para a produção desse combustível e já tem empresas com essas iniciativas renovável. Essas empresas estão pesquisando formas de produzi-lo em função da redução dos custos e assim tornando um valor acessível para população locomover-se com a alta tecnologia embarcada.

REFERÊNCIAS

ALÉM DA ENERGIA, Santa Catarina, 20 out. de 2020. Redação. Impressões: Saiba como o hidrogênio se transforma em combustível. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/saiba-como-o-hidrogenio-se-transforma-em-combustivel/>. Acesso em: 24 out. de 2023.

ALÉM DA ENERGIA, Santa Catarina, 23 abr. de 2021. Redação. Impressões: como vão funcionar os carros movidos a hidrogênio. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/como-vaofuncionar-os-carros-movidos-a-hidrogenio/>. Acesso em 24 out. de 2023.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2021: BRAZILIAN ENERGY BALANCE. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2021. Rio de Janeiro. v. 1, n 1, p. 1-268, mar/2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 28 set. 2023.

BiodieselBR. *Biodiesel vs. Hidrogênio*. 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/destaques/2006/biodiesel-vs-hidrogenio>. Acesso em: 22 out. de 2023.

BBC. Impressões: *Hidrogênio verde*: os 6 Países que lideram a produção do ‘combustível do futuro’. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-56604972>. Acesso em: 22 out. de 2023.

D'ALMEIDA, Albino Lopes. *Indústria do petróleo no Brasil e no mundo: formação, desenvolvimento e ambiência atual 2015*. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

EMILIO Maurizio Di Paolo. Impressões: *EC to Bet on Hydrogen Fuel Cell Vehicles*. Disponível em: <https://www.eetimes.com/ec-to-bet-on-hydrogen-fuel-cell-vehicles/>. EETimes, USA, 03 dez. de 2020. Acesso em: 22 out. de 2023.

CGEE. HIDROGÊNIO ENERGÉTICO NO BRASIL: SUBSÍDIOS PARA POLÍTICAS DE COMPETITIVIDADE: 2010-2025. *HIDROGÊNIO ENERGÉTICO NO BRASIL*. Brasília, v. 2010, n. 07, p. 1-72, out/2010. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/>. Acesso em: 28 set. 2023.

EPE. Impressões: PNE plano nacional de energia 2050. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 22 out. de 2023.

GAZETA DO POVO. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/mundo/carros-movidos-a-hidrogenio-chegam-ao-mercado-ej0k8f7ekybt8zlv1vfiuo26/amp/>. Acesso em: 22 out. de 2023.

IBERDROLA. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde>. Acesso em: 22 out. de 2023.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3OMZx0M>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

IPEA. Impressões: Disponível em: https://www.ipea.gov.br/participacao/images/pdfs/conferencias/Meio_ambiente_III/texto_base_3_conferencia_meio_ambiente.pdf. Acesso em: 24 de out. de 2023.

JACINTO JUNIOR, Silvio Gentil; QUINTELLA, Solange Assunção; ALVES, Daniela Ribeiro; CONDE, Ivo Batista; CASTRO, Janevane Silva de & LEITINHO, Janaina Lopes. 2022. Células a combustível: possibilidades e limitações. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28522>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

LENZ, André Luis. Impressões: Veículos Elétricos-Os Carros Verdes – Emissão “Zero” de carbono – Tecnologias e Empreendimentos. Disponível em: <http://automoveiseletricos.blogspot.com/2013/06/como-uma-celula-combustivel-e-o.html> Blogger, São Paulo, 09 jun. de 2013. Acesso em: 24 de out. de 2023.

IAMERICAS – INSTITUTE OF THE AMERICAS. Hydrogen potential in Latin America. La Jolla: IAmericas, Apr. 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3AdOJ87>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

MOTORSHOW. Disponível em: <https://motorshow.com.br/blog-sr-toyota-vende-hibridos-mas-prefere-o-hidrogenio/>. Acesso em: 22 out. de 2023.

NICHOLS, Dave. Impressões: Toyota Mirai: the future of hydrogen EV . Disponível em: https://www.greencars.com/expert-insights/toyota-mirai-the-future-of-hydrogen-evs?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt78-KKLjvFBInZH2fgPExfIDQ4kB_E53fGrmEch0QcgnYOmGqEiT0RoCyYcQAvD_BwE. Green

Cars, Oregon – USA, Sep 2022. Acesso em: 24 de out. de 2023.

PASSOS, Eduardo. *Impressões: Toyota mirai é o carro a hidrogênio ainda mais 'limpo' no Brasil.* <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/impressoes-toyota-mirai-e-carro-a-hidrogenio-ainda-mais-limpo-no-brasil>. Quatro Rodas, São Paulo, 03 de out. de 2022. Acesso em: 24 de out. de 2023.

RABELO, Sarita Cândida. *Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração.* Repositório da produção científica e Intelectual Unicamp. <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/770600>. Campinas, São Paulo, 2010. Acesso em: 19 de out. de 2023.

ROMEIRO, Diogo. *Impressões:* Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/perspectivas-e-desafios-para-projetos-de-exportacao-de-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 22 out. de 2023.

SANTOS, Fernando Miguel Soares Mamede dos; SANTOS, Fernando Antônio Castilho Mamede dos. *O COMBUSTÍVEL “HIDROGÊNIO”* 2003. Instituto Superior Politécnico de Viseu. Portugal.

SANTOS, Júnior, A. C. F. *Análise da viabilidade econômica da produção de hidrogênio em usinas hidrelétricas: estudo de caso em Itaipu.* 2004. Dissertação (Mestrado em engenharia Produção) - programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2004.

TOYOTA motor sales, U . S . A . , Inc. All information applies to U.S. Disponível em: <https://www.toyota.com/mirai/>. Acesso em: 19 de out. de 2023.

TOYOTA COMUNICA. *Impressões: Toyota Mirai entra para o GUINNESS WORLD RECORDS ao fazer uma jornada de 1.360 km com emissão zero sem reabastecimento.* Disponível em: <https://www.toyotacomunica.com.br/toyota-mirai-entra-para-o-guinness-world-records-ao-fazer-uma-jornada-de-1-360-km-com-emissao-zero-sem-reabastecimento/>. São Bernardo do Campo, 18 out. de 2010. Acesso em: 19 de out. de 2023.

VIRI. N.; JUNIOR. S. T. *O que é o hidrogênio verde — e porque ele promete ser o combustível do futuro.* 2021. Disponível em: <https://www.capitalreset.com/o-que-e-o-hidrogenio-verde-e-porque-ele-promete-ser-o-combustivel-do-futuro/>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

FERRO, Emily Maria de Lima. Graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”.

PATROCÍNIO, Alexei Barban. Engenheiro de Segurança do Trabalho (FATEP). Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (1998) e Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba (2021), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (2001) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (2005). Trabalhou na Pará Pigmentos SA com projetos de CAPEX para o caulim, na Dedini e no Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), na EET Brasil - Parafinas e Alumínio e na Raízen como engenheiro de projetos e de processos. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em cálculo e dimensionamento de equipamentos (reator, centrífuga, trocadores de calor, filtro, dentre outros). Atua como professor na FATEC - Piracicaba lecionando disciplinas como Operações Unitárias, Físico - Química, Produção de Bioeletricidade e Responsabilidade e Segurança do Trabalho, na FATEP com as disciplinas de Artigo Científico para a Pós - Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Avaliação e Perícias Rurais para o curso de Engenharia Agrônômica, como Agente pela INOVACPS do Centro Paula Souza - Regional Campinas Norte e Perícia Judicial nas áreas de engenharia de segurança do trabalho, engenharia química e engenharia civil.

Síntese do biodiesel: pensando processos mais verdes para a produção de energia renovável

MELO, Jocelene Reis de
STADLER, João Paulo
CHENDYNSKI, Letícia Thaís
SANDRI, Marilei Casturina Mendes
GOMES, Sandra Inês Adams Angnes

Resumo

A matéria graxa para a produção de biodiesel pode ser obtida de plantas e animais e, em uma postura ainda mais sustentável, pelo uso de óleo de frituras, fornecendo um emprego alternativo a esse resíduo. Ainda assim, a produção de combustível renovável e o seu uso como fonte de energia causam impactos ambientais devido a formação de subprodutos e emissão de poluentes. Nesse sentido, como forma de repensar a produção do biodiesel, a Química Verde (QV) se apresenta como uma metodologia de adaptação com o objetivo de melhorar a segurança à saúde e ao meio ambiente, além de possibilitar a economia de recursos e a minimização da formação de resíduos. Nessa perspectiva, objetivando verificar as dimensões que poderiam ser melhoradas para uma síntese mais verde de biodiesel, esse trabalho apresenta a síntese e a avaliação de verdura química de um protocolo clássico e uma proposta mais verde, podendo ser desenvolvida em aulas de Química e adaptada para a escala industrial. Para isso, fez-se o uso de métricas holísticas e de massa, que indicaram a substituição de metanol por etanol e ácido acético 4% e 39,88 % para síntese e isolamento do biodiesel, além do trabalho em temperatura ambiente e o emprego dos resíduos em uma formulação de sabão. Como resultados, têm-se bons rendimentos e se atende integralmente os princípios P1, P2, P5, P6, e P8, P9 e P10 e parcialmente o P7 da QV, podendo ser uma excelente alternativa para aulas experimentais de Química ou áreas afins.

Palavras chave: Transesterificação; Óleo residual; Biodiesel metílico; Biodiesel Etilico; Química Verde; Ensino Superior.

Abstract

The fatty matter for the production of biodiesel can be obtained from plants and animals and, in an even more sustainable approach, through the use of frying oil, providing an alternative use for this waste. Still, the production of renewable fuel and its use as an energy source cause environmental impacts due to the formation of by-products and emission of pollutants. In this sense, as a way of rethinking biodiesel production, Green Chemistry (GC) presents itself as an adaptation methodology with the aim of improving health and environmental safety, in addition to enabling resource savings and minimizing waste formation. From this perspective, aiming to verify the dimensions that could be improved for a greener synthesis of biodiesel, this research presents the synthesis and evaluation of chemical greenness of a classic protocol and a greener proposal, which can be developed in Chemistry classes and adapted for industrial scale. For this, holistic and mass metrics were used, which indicated the replacement of methanol by ethanol and acetic acid 4% and 39.88% for the synthesis and isolation of biodiesel, in addition to working at room temperature and the use of residues in a soap formulation. As a result, good performance is achieved and the principles P1, P2, P5, P6, and P8, P9 and P10 are fully met and P7 of GC is partially met, and can be an excellent alternative for experimental classes in Chemistry or related areas.

Keywords: Transesterification; Residual oil; Methyl biodiesel; Ethyl Biodiesel; Green Chemistry.

Resumen

La grasa para la producción de biodiésel puede obtenerse a partir de plantas y animales y, en un enfoque aún más sostenible, mediante el uso de aceite de fritura, proporcionando un uso alternativo para este residuo. Aún así, la producción del combustible renovable y su uso como fuente de energía causan impactos ambientales debido a la formación de subproductos y a la emisión de contaminantes. En este sentido, como forma de replantear la producción de biodiésel, la Química Verde (CG) se presenta como una metodología de adaptación con el objetivo de mejorar la seguridad sanitaria y medioambiental, así como posibilitar el ahorro de recursos y minimizar la formación de residuos. Desde esta perspectiva, con el objetivo de verificar las dimensiones que podrían mejorarse para una síntesis más verdes del biodiésel, este trabajo presenta la síntesis y evaluación del verdor químico de un protocolo clásico y de una propuesta más verde, que puede desarrollarse en las clases de química y adaptarse a escala industrial. Para ello, se utilizaron métricas holísticas y de masa, que indicaron la sustitución del metanol por etanol y ácido acético 4% y 39,88% para la síntesis y aislamiento del biodiesel, así como el trabajo a temperatura ambiente y la utilización de los residuos en una formulación de jabón. Los resultados muestran buenos rendimientos y total cumplimiento de los principios P1, P2, P5, P6, P8, P9 y P10 y parcialmente del P7 del QL, pudiendo ser una excelente alternativa para clases experimentales de química o áreas afines.

Palabras clave: Transesterificación; Aceite usado; Biodiésel metílico; Biodiésel etílico; Química verde; Enseñanza superior.

INTRODUÇÃO

Desde 1970 o Brasil vem incentivando o desenvolvimento de fontes energéticas alternativas e somente a partir do século XXI foi incorporado o programa do biodiesel constituindo-se em fonte renovável de energia. Entre 2005 e 2007 tornou-se obrigatório no território nacional a adição de 2% de biodiesel (B2) ao óleo diesel, derivado do petróleo. Entre 2008 a 2013 foram aumentados para 5% (B5) de biodiesel misturado ao óleo diesel mineral (Mattei, 2010). De acordo com a Resolução CNPE nº 16 de 29 de outubro de 2018, a meta era atingir a substituição do diesel por biodiesel em 15% até 2023 (CNPE, 2018). Entretanto, complicações originadas pela pandemia do COVID-19 acarretaram a redução temporária do percentual obrigatório para 10 % (Brasil, 2022), porém há a previsão de alcançar 15% em 2026 (CNPE, 2023). O Brasil é considerado uma referência internacional por substituir as fontes fósseis por alternativas renováveis (Maintinguer, 2022).

O biodiesel é vantajoso por ser um produto renovável, biodegradável, não tóxico, reduz determinadas emissões poluentes como dióxido de carbono, monóxido de carbono e partículas; reduz a dependência energética do petróleo bruto, origina subprodutos utilizáveis, pode ser utilizado puro ou misturado, promoção do desenvolvimento da agricultura nas zonas rurais mais desfavorecidas. Ainda, são necessários estudos para diminuir as principais desvantagens: capacidade de produção limitada, pois depende das áreas agrícolas disponíveis, escassez de postos de reabastecimento, baixa eficiência do motor, preço elevado. Novas tecnologias poderão permitir reduzir os custos de produção, o que pode provocar competição com a produção de bens alimentares (Silva; Freitas, 2008; Clemente *et al.*, 2023)

A produção de biodiesel pode ser realizada através de uma reação de transesterificação, podendo utilizar óleo vegetal, gordura animal e também óleos/gorduras residuais, álcool e um catalisador. Além disso, as condições de tempo de reação e temperatura também devem ser controladas, pois variam de acordo com a matéria-prima empregada (Mantovani *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2011; Branco *et al.*, 2024; Angilelli; Mantovani; Chendynski, 2022). Dentre os álcoois mais utilizados na produção desse biocombustível está o metanol, por ter um bom rendimento e menor tempo de reação. Entretanto, outros álcoois também podem ser utilizados, tais como, etanol, propanol e álcool isopropílico (Geris *et al.*, 2007).

Na transesterificação em meio alcalino, o íon metóxido, obtido da reação entre metanol e uma base alcalina, é um bom nucleófilo para reagir com o carbono eletrofílico do triacilglicerídeo, sendo

bastante utilizado na indústria de biodiesel devido a cadeia carbônica menos volumosa, o que acelera a reação de transesterificação (Angilelli; Mantovani; Chendynski, 2022, p.14). Outro fator que contribui para a utilização do metanol em larga escala está relacionado ao seu baixo ponto de ebulição (65 °C), facilitando a recuperação do seu excesso, geralmente realizado por destilação. Além disso, o preço do metanol é mais baixo no mercado internacional em relação ao etanol anidro (Ramos *et al.*, 2016; Pinheiro, 2021).

Já o uso de álcoois de maior massa molar, como o etanol por exemplo, é pouco expressivo na indústria de biodiesel, pois gera um nucleófilo mais volumoso, com maior impedimento estérico, dificultando a reação de transesterificação devido a diminuição na eficiência da quebra da molécula do triacilglicerídeo em éster e glicerol. Além disso, ao final da síntese do biodiesel, a separação da glicerina por vezes é incompleta, havendo necessidade de reagentes auxiliares para seu isolamento, e mesmo assim, a purificação do biodiesel pode não acontecer de forma completa devido a formação de emulsões estáveis. Além disso, a temperatura de ebulição do etanol (78 °C) é levemente mais alta do que a do metanol e a recuperação do seu excesso é dificultada pela a formação de azeótropos, não sendo possível separá-las por destilação simples (Ramos *et al.*, 2016; Pinheiro, 2021).

Quanto aos catalisadores, os mais utilizados são os de natureza química e podem ser ácidos ou básicos. Dentre os ácidos pode-se citar o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico, porém a transesterificação feita com catalisadores ácidos é de cinética mais lenta do que quando realizada com catalisadores básicos, como por exemplo o hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, metóxido de sódio. Ainda, catalisadores heterogêneos como óxido de magnésio, dióxido de cério, óxido de zinco, óxido de alumínio e dióxido de titânio também podem ser empregados (Angilelli; Mantovani; Chendynski, 2022). Ainda, há catalisadores enzimáticos como as lipases que podem ser obtidas através de fontes animais, vegetais e microbianas. Contudo, esses catalisadores apresentam desvantagens em relação a custos, mas quando o processo é otimizado apresentam vantagens ao serem comparados com o processo químico (Ramos *et al.*, 2011).

A Química Verde (QV) é compreendida como o desenho, desenvolvimento e implementação de processos e produtos químicos para reduzir ou eliminar o uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente, comumente encontrada em aplicações industriais, principalmente em países com controle mais rigoroso na emissão de poluentes (Lenardão *et al.*, 2003, Machado, 2014). Além disso, a QV também está sendo implantada ao meio acadêmico para que processos químicos que

geram problemas ambientais sejam substituídos por alternativas que causem menores prejuízos físicos, humanos e ambientais. Os processos da QV são divididos em três classes:

- I) A utilização de fontes renováveis ou recicladas de matéria-prima;
- II) A ampliação da aplicação de energia ou também usar menos energia para se produzir a mesma ou ainda maior quantidade de produto;
- III) Evitar o uso de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas (Lenardão *et al.*, 2003, Machado, 2011).

Yunes e Marques (2023) discutem a necessidade de abranger a Química Verde no Ensino de Química, apesar de ela ter pouco mais de 40 anos presentes na formação do químico. As razões para essa inclusão visa a formação de profissionais para assumir sua responsabilidade em: lidar com a poluição; comunicar a comunidade sobre suas pesquisas; participar da construção de currículos de Ensino de Química; apresentar uma nova forma de relacionamento da Química com o ambiente; desenvolver uma prática química mais segura para os alunos e educadores; enquadrar a inovação e criatividade a partir de valores ambientais; abordar a crise ambiental e promover a sustentabilidade (Yunes; Marques, 2023). De acordo com Pimenta, Gomes e Sandri (2018), inserir a QV na graduação, principalmente em aulas experimentais, possibilita a reflexão do estudante sobre as suas atitudes e tomadas de decisões cotidianas que podem ser benéficas ou maléficas ao meio ambiente.

Nesse contexto, acredita-se que as aulas práticas de Química no Ensino Superior, especialmente em disciplinas de Química Orgânica, componentes tecnológicos e até mesmo no Ensino Técnico e Educação Básica podem ser um elo para a inserção dos princípios da Química Verde. A síntese do biodiesel pode ser contemplada durante o ensino de reações de transesterificação (Geris *et al.*, 2007), sendo uma atividade experimental interessante, uma vez que o processo de obtenção do biodiesel permite a contextualização da temática de biocombustíveis e sua implicação com a Ciência, Tecnologia, Sociedade e com o Meio Ambiente, possibilitando que os educandos percebam a necessidade de buscar novas alternativas para suprir a demanda energética (Friedrich *et al.*, 2019).

De acordo com Geris *et al.* (2007), a síntese permite identificar e compreender a reação de transesterificação; evidenciar a diferença entre as propriedades do óleo de soja e do biodiesel em termos de relações entre estrutura, massa molar, volatilidade e inflamabilidade. Ainda, possibilita a discussão da diferença entre rendimento teórico e experimental do biodiesel e os fatores que interferem nessas diferenças, assim como reconhecer os reagentes limitantes e em excesso do processo.

A literatura apresenta uma variedade de protocolos que tratam do processo de obtenção de biodiesel com ênfase ao Ensino. Uma técnica comum e consideravelmente rápida para uma aula experimental é a produção de biodiesel através da rota metílica (Geris, *et al.*, 2007; Azevedo *et al.*, 2013). Contudo, devido à toxicidade deste álcool, é necessário um cuidado redobrado na sua produção, principalmente em espaços que não possuem uma boa instalação e ventilação e os equipamentos de proteção individual (Assis, 2010; Azevedo *et al.*, 2013). O metanol pode levar indivíduos expostos a diversos males como cegueira, paralisção e morte. Além disso, o metanol é produzido a partir de gases de combustão do carvão e grande parte provém do gás metano, um combustível fóssil, diminuindo as características de verdura e de sustentabilidade da síntese desse biocombustível (Renó *et al.*, 2011).

Nesse sentido, este estudo buscou apresentar uma alternativa para a produção de biodiesel com uma abordagem mais verde e sustentável e que seja exequível em Cursos de Graduação, em Cursos Técnicos ou até mesmo em aulas práticas de Química na Educação Básica. Uma possibilidade vislumbrada foi a substituição do metanol por etanol, um álcool menos tóxico, de origem vegetal e renovável. Entretanto, a transesterificação etílica não é tão favorável quanto a metílica, apresentando como pontos fracos o menor rendimento e baixa velocidade de reação. Assim, para melhorar o processo de síntese é necessário um maior tempo de reação, uso do etanol em excesso e maiores temperaturas, envolvendo um maior gasto energético, assim como maiores gastos no processo de purificação final do produto (Rade, 2015; Pinheiro, 2021).

Considerando a problemática apresentada em relação a toxicidade do metanol, as implicações da substituição deste álcool por etanol e a importância do tema para a formação dos estudantes da Química e áreas correlatas, este estudo propõe a avaliação da verdura química da síntese de Biodiesel com metanol e com etanol por meio de métricas da Química Verde e apontamentos para que a técnica de maior verdura seja exequível em aulas experimentais. Além disso, o artigo também se apresenta como um grande estimulador para iniciativas de inserção da Química Verde no Ensino Superior, cada vez mais necessário para formação de profissionais mais conscientes e preparados para resolução de problemas ambientais voltados aos processos de síntese.

METODOLOGIA

Neste trabalho, as métricas da QV foram utilizadas para avaliar a verdura química de uma técnica tradicional usada para síntese de biodiesel metílico, visando o reconhecimento das

potencialidades e limitações em atender aos princípios da Química Verde conforme propõem os autores Machado (2014), Sandri, Gomes e Bolzan (2018), Stadler e Gomes (2023). A pesquisa também tem por objetivo apresentar um protocolo experimental com uma rota sintética mais verde. Para isso, seguiu-se as seguintes etapas:

- 1) Inventário de todos os reagentes da rota metílico;
- 2) Análise interna *à priori* (antes das sínteses de laboratório) para a construção da Matriz Verde (MV) da rota sintética do biodiesel metílico e análise externa da MV com proposta de uma rota sintética de biodiesel etílico (em resultados), visando aplicar as oportunidades vislumbradas e pontuar melhoria no que concerne sobre a verdura química do processo;
- 3) Avaliação da estequiometria das reações e cálculos de massa da QV (dados teóricos realizados *a priori* para avaliar a MV);
- 4) Produção de biodiesel metílico e biodiesel etílico, purificação e testes para identificação, cálculos de rendimento e de massa da QV com os dados experimentais;
- 5) Projeção da Estrela Verde (EV) das rotas sintéticas do Biodiesel e outras possibilidades previstas para o tratamento dos resíduos gerados, objetivando facilitar a visualização comparativa da verdura química dos procedimentos explorados no trabalho.

1. Inventário das substâncias envolvidas na síntese de biodiesel

Para a análise da verdura do protocolo experimental, inicialmente inventariou-se todas as substâncias envolvidas na síntese do biodiesel e buscou-se as informações de segurança dessas substâncias junto as Ficha de Informações Segurança de Produtos Químicos da Merck (MSDS - *Material Safety Data Sheet*) com o objetivo de identificar os códigos e frases de perigo para a saúde, físicos e ambientais. Além disso, verificou-se a degradabilidade e a renovabilidade de todas as substâncias e as condições experimentais (tempo de reação, temperatura e pressão) de acordo com Stadler e Gomes (2023).

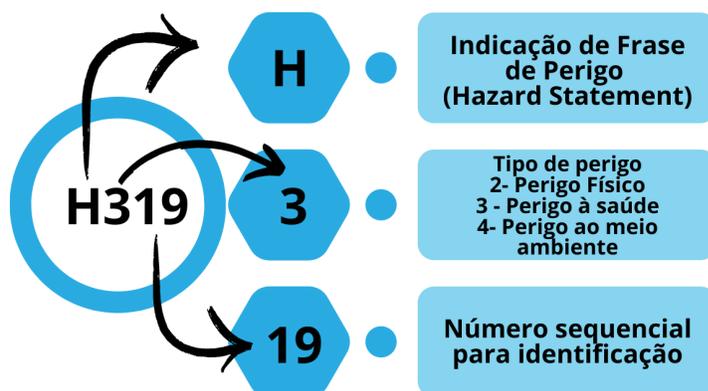
Em seguida, os perigos foram relacionados com o GHS (Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos) em que as pontuações correspondem aos seguintes graus de perigo: baixo (pontuação 1); moderado (pontuação 2); ou alto (Pontuação 3), conforme as instruções apresentadas por Ribeiro e Machado (2008), Stadler e Gomes (2023) e Yunes e Marques (2023).

2. Matriz Verde (MV)

O próximo passo consistiu na avaliação da análise interna da síntese do biodiesel empregando a Matriz Verde (MV), a qual se baseia em 10 princípios da Química Verde. Na sequência foi efetuado uma análise externa para identificar as oportunidades, que poderiam tornar a síntese mais verde e as ameaças, que poderiam comprometer o sucesso dos objetivos estabelecidos, propondo-se então uma nova MV (Sandri, Gomes e Bolzan e, 2018 ; Cavalheiro *et al.*, 2023; Stadler e Gomes, 2023).

As etapas para avaliação da MV com os critérios de análise são apresentados no Quadro 1. Importante destacar que a sigla inglesa GHS (*Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*), que significa Sistema Mundial Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos está relacionada as frases de Perigo dos produtos Químicos. Conforme explicam Yunes e Marques (2023) essas frases são representadas por códigos, compostos pela letra H de *hazard* e uma sequência numérica que inicia com algarismo indicando o tipo de perigo (2 para riscos físicos, 3 para saúde e 4 para riscos ambientais), seguido por dois números correspondentes à numeração sequencial de perigos dentro da classe, conforme exemplificado na Figura 1. Ainda, de acordo com Ribeiro e Machado (2008) e a *United Nations* (2019), os códigos GHS recebem pontuação de malignidade máxima, moderada e mínima: pontuação 1 - perigo baixo ou não atribuído; 2 - perigo moderado; 3 - perigo elevado.

Figura 1: Estrutura da frase de perigo e seus códigos



Fonte: Adaptado de United Nations (2019); Yunes e Marques (2023).

Quadro 1. Critérios para Análise da Verdura Química de Experimentos

Critérios de Análise		Pontos Fortes	Pontos Fracos
Princípio 1 – Prevenção	1. Riscos físicos de todos os reagentes utilizados	Substâncias sem indicação de perigo físico ou perigo moderado (pontuação 2 na GHS)	Substâncias com indicação de perigo elevado (pontuação 3 na GHS)
	2. Riscos à saúde de todos os reagentes utilizados	Sem indicação de perigo baixo ou moderado à saúde (pontuação 2 na GHS)	Substâncias com indicação de perigo elevado (pontuação 3 na GHS)
	3. Riscos ao ambiente de todos os reagentes utilizados	Sem indicação de perigo para o ambiente	Substâncias tóxicas ao ambiente (pontuação 2 ou 3 na GHS)
	4. Geração de resíduos	Não se formam resíduos ou os resíduos gerados são inócuos.	São gerados resíduos e estes representam algum tipo de perigo físico, à saúde ou ao ambiente
	5. Fator E	Fator E ≤ 2	Fator E > 2
P2- Economia Atômica	6. Uso de reagentes em excesso	Não utiliza	Utiliza
	7. % do excesso de reagente	$\leq 10\%$ de excesso	$> 10\%$ de excesso
	8. Economia Atômica (%)	$\geq 33,3\%$	$< 33,3\%$
P3- Síntese de Produtos menos perigosos	9. Riscos físicos, à saúde ou ambientais decorrentes dos produtos	Os produtos não representam qualquer tipo de perigo ou apresentam perigos baixos	O produto apresenta perigos físicos, a saúde ou ao ambiente, moderados ou severos
P5- Uso de solventes e outras substâncias auxiliares	10. Consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais	Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inofensivos	Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo moderado ou elevado para a saúde ou ambiente
	11. Consumo de água como solvente ou reagente	Não é utilizado ou o consumo é baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo > 50 mL
	12. Consumo de água como facilidade (resfriamento/banhos)	Não é utilizado ou o consumo é baixo ($V \leq 200$ mL)	Com consumo elevado ($V > 200$ mL)
	13. Consumo de outros solventes ou auxiliares além da água	Não é utilizado ou o consumo é baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo > 50 mL
P6 – Eficiência energética	14. Consumo de energia	Realiza-se a temperatura e pressão ambientes	Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente
P7 – Uso de substâncias renováveis	15. Utilização de substâncias renováveis	Todas as substâncias são renováveis	Pelo menos uma das substâncias não é renovável
P8. Evitar a Formação de Derivados	16. Uso de grupos bloqueadores, ou mudanças temporárias que geram resíduos	Não se faz necessário o uso de bloqueadores	Pelo menos uma etapa exige o uso de bloqueadores
9. Catálise.	17. Utilização de catalisador	Não se faz necessário ou o catalisador não é nocivo	É necessário catalisador e este não é nocivo

	18. Tipo de catalisador (homogêneo/heterogêneo / biocatalisador)	Heterogêneo ou biocatalisador	Homogêneo
	19. Recuperação do catalisador	É possível reutilizar	Não é possível reutilizar
P10 – Planificação para a degradação	20. Uso de produtos degradáveis a produtos não nocivos	Todos os reagentes usados e produtos obtidos são degradáveis ou tratáveis para a degradação	Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição
	21. Utiliza ou gera substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências ou recicladas após o uso	Utiliza	Não utiliza
P12 – Química intrinsecamente segura	22. Riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas	Utiliza substâncias de perigo baixo ou moderado à saúde, ambiente e físico (pontuação 2 na GHS)	Utiliza substâncias de perigo alto à saúde, ambiente ou físico (pontuação 3 na GHS)
	23. Risco de acidente devido ao uso de equipamentos (centrífuga; estufa, mantas; evaporador rotativo, bomba de vácuo e banho termostatizado)	Com perigos baixos ou moderados	Com perigos elevados (Ex: banhos a altas temperaturas, mufas, prensas)
	24. Risco devido ao uso de outros materiais comuns	Com perigos baixos ou moderados (Ex: vidrarias comuns, termômetros, densímetros, multímetros, etc)	Com perigos elevados (Ex:gás; fogões; bicos de Bunsen; etc); termômetros de mercúrio

Fonte: Sandri, Gomes e Bolzan (2018); Cavalheiro et al., (2023); Stadler e Gomes (2023).

3. Estequiometria da reação de transesterificação e métricas de massa da QV

Para cálculos estequiométricos e de massa da QV determinou-se a massa molar (MM) de cada substância envolvida na reação de obtenção do biodiesel, a quantidade de matéria (n) em mols, a massa (m) em gramas, o reagente em excesso e o reagente limitante. A Economia atômica (AE) é determinada teoricamente (*à priori*), admitindo que as proporções dos reagentes são as estequiométricas e o rendimento é 100%. É também usada para determinar o grau máximo de incorporação dos reagentes no produto, métricas importantes para análise de verdura holística pela Matriz Verde (MV) e Estrela Verde (EV) (Machado, 2014). A eficiência de massa da reação (RME) indica a razão entre a massa do produto efetivamente obtido e a massa total de reagentes estequiométricos usados na reação, expressa em porcentagem. Já Eficiência de massa (ME) é uma métrica prática, cujo cálculo exige valores experimentais e é de aplicação à posteriori da execução das reações (Machado, 2014). O Quadro 2 apresenta as expressões e fórmulas das métricas de massa.

Quadro 2. Métricas de massa

Expressões	Fórmulas
AE	MM do produto/Soma das MM de todos os reagentes
RME	Massa do produto/Massa total de todos os reagentes estequiométricos
ME	Massa de produto/Massa total de todos os reagentes

Fonte: Machado (2014).

4. Síntese do biodiesel metílico, purificação e testes

O protocolo do Quadro 3 com a técnica de produção de biodiesel metílico proposto por Geris e colaboradores (2007), foi avaliado inicialmente por meio da métrica MV, objetivando levantar aspectos que possibilitassem melhorias a verdura química.

Quadro 3. Síntese e purificação do biodiesel metílico

<p><i>A - Síntese do Biodiesel metílico</i></p> <p>- Obtenção do metóxido de potássio: Dissolver 1,5 g de hidróxido de potássio em 35 mL de metanol com o auxílio de agitação e controle de temperatura (45 °C).</p> <p>- Reação de transesterificação: Adicionar 100 mL do óleo de soja residual em um balão de óleo residual em um balão de fundo chato de 500mL; aquecer o óleo de soja em banho-maria sob agitação com o auxílio de uma barra magnética até atingir a temperatura de 45 °C. Em seguida, adicionar à solução de metóxido de sódio recentemente preparada; manter a mistura reacional por 10 min a 45 °C sob agitação; posteriormente, a mistura reacional deve ser transferida para um funil de separação de 250 mL para permitir a decantação e separação das fases. O tempo de espera para separação das fases é de 15 minutos).</p> <p><i>B - Purificação do Biodiesel (Procedimento para as lavagens)</i></p> <p>- Se o pH do biodiesel estiver maior que 7, lavar com 50 mL da solução aquosa, de ácido clorídrico a 0,5% (v/v); Em seguida, realizar lavagem com 50 mL de solução saturada de cloreto de sódio e, finalmente, com 50 mL de água destilada. A ausência do catalisador básico no biodiesel pode ser confirmada através da medida do pH da última água de lavagem (pH próximo a 7). Quando houver a formação de emulsão, a mesma pode ser desfeita com auxílio de um bastão de vidro, agitando-se lentamente a camada emulsificada; Tempo gasto para os procedimentos de lavagem varia de 30 minutos à 1 hora e 30 minutos. Para remoção dos traços de umidade, adicionar sulfato de sódio anidro ao biodiesel e filtrar.</p> <p><i>C - Determinação do Rendimento</i></p> <p>- Determinar o rendimento a partir da estequiometria da reação. Partindo da massa molar média do óleo de soja ou para fins didáticos, selecionar um dos ésteres constituintes do óleo de soja, por exemplo a trimestina.</p> <p><i>D - Determinação da densidade</i></p> <p>- Para determinação da densidade utiliza-se a técnica a relação entre massa e volume do biodiesel. Medir exatamente determinado volume da amostra (10 mL) com auxílio de uma proveta de 10 mL ou um picnômetro, com posterior determinação da massa e cálculo da densidade.</p> <p><i>E - Teste de combustão</i></p> <p>- Utilizar cadinhos ou cápsulas de porcelana contendo chumaços de algodão embebidos com óleo de soja e biodiesel. Como fonte de calor para promoção da combustão pode-se usar um palito de fósforo.</p> <p><i>F - Teste de solubilidade do biodiesel com água, etanol e hexano e comparação com a solubilidade do óleo alimentar utilizado</i></p> <p>- Colocar em dois tubos de ensaio cerca de 2 mL água identificados com as letras A e B. Repetir para etanol absoluto e hexano; Adicionar uma pequena quantidade de produto obtido ao tubo de ensaio A e de óleo residual ao tubo de ensaio B. Agitar vigorosamente. Tirar conclusões quanto à miscibilidade das duas substâncias nos diferentes solventes.</p> <p><i>G - Cor e aspecto</i></p> <p>- O Biodiesel aparece como um líquido límpido de coloração amarela.</p>

Fonte: adaptado de Geris *et al.*, (2007).

5. Estrela Verde (EV)

O procedimento analítico para determinação da estrela verde foi realizado utilizando as planilhas do Excel[®] propostas por Ribeiro e Machado (2008), disponíveis no site da Universidade do Porto (Portugal), com acesso direto no Link: <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inventário e Análise Externa e Interna da Matriz Verde

Para fins didáticos, apresenta-se os códigos de perigo das substâncias utilizadas na síntese do biodiesel com a sua respectiva pontuação GHS, indicadas na análise de verdura, nos Quadros 4, 7 e 11: **Metanol e etanol** - H225- Líquido e vapores altamente inflamáveis (GHS 3); **Metanol** - H301+ H311+ H331- tóxico se ingerido, em contato com a pele ou se inalado (GHS 3) e H370 - Provoca danos aos órgãos - Olhos, Sistema nervoso central, (GHS 3); **Soluções diluídas de ácido acético** - não apresentam perigo; **Hidróxido de potássio e Hidróxido de sódio** - H290- Pode ser corrosivo para os metais (GHS 2), H302 - nocivo se ingerido (GHS 2), H314 - provoca queimadura severa à pele e dano aos olhos (GHS 3), H402- nocivo para os organismos aquáticos (GHS 2) (MSDS, 2024).

No Quadro 4, apresenta-se a análise interna da MV da síntese de biodiesel obtido com metanol à temperatura ambiente, vislumbrando uma síntese mais verde e sustentável. Os resultados compreendem 24 critérios relacionados aos princípios da Química Verde, avaliados conforme recomendações de Sandri, Gomes e Bolzan (2018) e Stadler e Gomes (2023).

Quadro 4. Análise Interna da MV para a síntese do Biodiesel Metílico

Pontos fortes	Pontos fracos
8. Economia atômica maior que $\geq 33,3\%$ (AE = 88,7%)	1. Metanol com indicação de riscos físicos elevados (GHS 3).
9. O produto (biodiesel) apresenta riscos baixos ao ambiente.	2. Metanol e hidróxido de potássio com riscos elevados a saúde (GHS 3).
10. Não utiliza outros solventes ou auxiliares	3. Óleo residual de fritura, causa riscos ao meio ambiente (não é biodegradável).
11. Não utiliza água como reagente.	4. Geração de resíduos com perigo físico e a saúde (excesso de metanol 107,58%).
12. Não utiliza água com facilidade: 150 mL de água em banho maria.	5. Fator E teórico > 2 (aproximadamente 11,3 % de resíduos).
13. Não faz uso de solventes auxiliares.	6. Utiliza metanol.
16. Não faz uso de bloqueadores.	7. Excesso maior que 10% (107,58% de excesso de metanol).
21. realização de testes com o biodiesel gerado e tratamento dos resíduos.	14. Realiza-se em um tempo de 10 minutos em temperatura 45 °C.
23. Não utiliza equipamentos que possam causar acidentes.	15. Apesar do óleo de soja ser renovável o metanol não é renovável.

<p>24. Riscos baixos relacionados ao uso de vidrarias comuns e termômetro.</p>	<p>17. Uso de catalisador com riscos físicos e a saúde (KOH). 18. Catalisador homogêneo para a produção do metóxido de potássio (não é possível recuperar). 19. Não é possível reutilizar o catalisador (KOH). 20. Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição. 22. Utiliza substâncias com perigo alto pra saúde (GHS 3)</p>
<p>10 pontos fortes</p>	<p>14 pontos fracos</p>

A MV da síntese do Biodiesel Metílico (Quadro 4) mostra um baixo grau de verdura (41,7 %), pois dos 24 critérios avaliados, apenas 10 são compreendidos como pontos fortes. Esse baixo índice de verdura ocorre principalmente pelo não atendimento do Princípio 1 - prevenção, avaliado pelos critérios 1 a 4, que indicam riscos físicos e riscos elevados à saúde e ao ambiente devido ao uso do metanol e hidróxido de potássio.

Assis et al. (2017) apresentou que a inalação de vapores é uma das principais exposições ocupacionais para os 42 trabalhadores da Usina de Processamento de Biodiesel Quixadá, no Ceará. Durante os processos diários de transesterificação, filtragem e lavagem do biodiesel, pré-tratamento de glicerina e recuperação do metanol, os trabalhadores estavam expostos a vapores dessa substância. Já as equipes de apoio operacional eram expostas nas atividades de limpeza de filtro e manutenção das linhas. Dos 27 funcionários que trabalhavam nessas seções, 71,42% relataram dores de cabeça e 42% apresentaram formigamento. Além disso, 40,5% demonstraram sintomas de irritabilidade e 35,7% relataram ansiedade, sendo estas queixas relacionadas a efeitos neurotóxicos da exposição ao metanol.

O Princípio 2 também foi atendido parcialmente, considerando que critérios 5, 6 e 7 não foram atendidos em razão do excesso de metanol (107,58%) e a formação de resíduos (38%), o que diminui a verdura química e a segurança do processo e aumenta a toxicidade. Já o critério 8 é considerado ponto forte por indicar consideráveis AE (88,7%) e ME (62%). Isso se deve ao fato de ser uma reação de substituição nucleofílica, que geralmente possui baixo rendimento (Luz *et al.*, 2019). Outro ponto fraco diz respeito ao critério 14, uma vez que o processo de obtenção do biodiesel é realizado a uma temperatura diferente da ambiental (45 °C), afetando a eficiência energética prevista pelo princípio 6. O critério 15 referente ao princípio 7, também não é atendido, considerando que o metanol não é um álcool renovável.

O uso de KOH como catalisador, não recuperável, com riscos físicos e à saúde, contribuiu para o não atendimento ao princípio 9 (critérios 17, 18 e 19). Em trabalhos futuros será avaliada a substituição do hidróxido de potássio por um catalisador heterogêneo de menor toxicidade com possibilidade de reuso, assim como a redução do excesso de etanol para alternativas de métodos mais verdes e viáveis economicamente. Em relação à química intrinsecamente segura, princípio 12 da Química Verde, observa-se que os riscos das substâncias relacionados aos critérios 20 e 22 são consideráveis.

Apresenta-se no Quadro 5, após a avaliação da verduza química do processo de síntese do biodiesel metílico, a análise externa da verduza que indica oportunidades para adaptação do método e as ameaças.

Quadro 5. Análise Externa da síntese de Biodiesel Metílico

Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none">- Redução do excesso de metanol.- Substituição do metanol por etanol.- Síntese do biodiesel etílico utilizando ácido acético 39,88 % (20 mL de ácido acético 99,7% e 30 mL de água) a temperaturas entre 50 à 60°C, conforme como Friedrich (2019).- Proposta para adaptações da síntese etílica:- Temperatura ambiente; utilização de vinagre (ácido acético 4 %); utilização dos resíduos para produção de sabão (CAVALHEIRO et al., 2023).- Redução e/ou substituição do catalisador homogêneo por um catalisador heterogêneo;- Redução do excesso de etanol.	<ul style="list-style-type: none">- A redução do excesso de metanol na síntese do biodiesel não diminui os riscos à saúde.- As substâncias envolvidas não são degradáveis a produtos inócuos.- A substituição de metanol por etanol diminui perigos a saúde, mas não diminui os riscos físicos.- A eliminação do etanol no biodiesel etílico consome mais energia que a remoção de etanol no biodiesel metílico.

A partir das oportunidades previstas na análise externa da MV (Quadro 5), propõe-se um protocolo para a síntese do biodiesel etílico (Quadro 6).

Quadro 6. Protocolo mais verde para síntese do biodiesel etílico

<ul style="list-style-type: none">- Obtenção do etóxido de potássio: Em um erlenmeyer de 500 mL, contendo 5,0 g de hidróxido de potássio, adicionar 100 mL (79,8 g) de etanol e agitar magneticamente a temperatura ambiente até o desaparecimento completo do catalisador básico.- Reação de transesterificação: Transferir 114,3 g de óleo residual de fritura, equivalente a 120 mL de óleo residual de fritura para o erlenmeyer de 500 mL e, submeter a agitação por 30 minutos à temperatura ambiente. Após esse tempo, adicionar ao meio reacional, sob agitação, vinagre (ácido acético 4 % e ácido acético 39,88%). Manter a agitação até a separação das fases. Interromper a agitação e transferir a mistura para um funil de separação de 500 mL.- Purificação de acordo com Geris et al., (2007).
--

A possibilidade de substituição do metanol por etanol, um solvente menos tóxico à saúde e ao ambiente, renovável e de baixo custo, melhora em 4 pontos fortes a MV, ou seja, aumenta de 41,7% para 58,33% de verdura química (Quadro 7).

Quadro 7. Análise Interna da MV da síntese do Biodiesel Etilico

Pontos fortes	Pontos fracos
2. Etanol com riscos moderados à saúde (GHS 2). 4. Utilizar os resíduos do biodiesel para produção de sabão. 8. Economia atômica maior que $\geq 33,3\%$ (AE = 89,0%). 9. O produto (biodiesel) apresenta riscos baixos ao ambiente. 11. Não utiliza água como reagente na síntese. 10. Usa vinagre 4% como auxiliar que é inofensivo 12. Não consome água com facilidade. 13. Faz uso de vinagre como solvente auxiliares, mas o consumo é baixo ($V \leq 50$ mL), 14. Realiza-se em um tempo de 30 minutos em temperatura ambiente. 16. Não faz uso de bloqueadores. 21. Utiliza (testes com o biodiesel gerado e tratamento dos resíduos). 23. Não utiliza equipamentos que possam causar acidentes. 24. Riscos baixos relacionados ao uso de vidrarias comuns e termômetro. 15. O óleo de soja e o etanol são renováveis.	1. Etanol com indicação de riscos físicos elevados (GHS = 3). 3. Óleo residual de fritura, causa riscos ao meio ambiente (não é biodegradável). 5. Fator E teórico > 2 (Aproximadamente 11,0% de resíduos) 6. Utiliza etanol em excesso (excesso de etanol 261,26 %) 7. Excesso maior que 10% (261,26 % de excesso de metanol). 17. Uso de catalisador com riscos físicos e a saúde (KOH). 18. Catalisador homogêneo para a produção do etóxido de potássio (não é possível recuperar). 19. Não é possível reutilizar o catalisador (KOH). 20. Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição. 22. Utiliza substâncias com alto riscos (etanol, com GHS = 3).
14 pontos	10 pontos

Contudo, é importante enfatizar que a substituição de metanol por etanol implica em maior tempo de síntese (30 minutos) em comparação com a rota metílica (10 minutos), possibilidades na perda de rendimento pela formação de emulsão e maiores gastos energéticos nas etapas de purificação para eliminação do etanol, que deve ser feito em estufa, placas de aquecimento ou rotaevaporação sob pressão reduzida (Pinheiro, 2021). Entretanto, para atividades de ensino parece ser uma excelente possibilidade, uma vez que diminui danos à saúde ocasionados pela exposição ao metanol e permite explorar os princípios da Química Verde, de forma a possibilitar que o futuro profissional da Química ou áreas afins, repense os métodos de forma consciente, sustentável e ambientalmente benigna.

Síntese do Biodiesel Metílico do Biodiesel Etilico: Estequiometria da transesterificação, rendimento e métricas de massa

Estequiometria da reação

O óleo de soja é constituído por uma mistura complexa de ácidos graxos e triacilglicerídios, com uma massa molar média de $873,02 \text{ g.mol}^{-1}$ (Pinheiro, 2021). Para o estudo da reação de transesterificação proposto nesse trabalho, cálculos estequiométricos e cálculos de massa da Química Verde, considerou-se o uso de: 1 mol de trimesitina, um dos triésteres constituintes do óleo de soja de massa molar 722 g.mol^{-1} ; 3 mols de metanol/etanol e o hidróxido de potássio como catalisador básico em ambas as reações. Em razão dessa escolha, os cálculos apresentam pequenas variações em relação outros constituintes do óleo ou a massa molar média.

Rendimento e métricas de massa da QV

Na sequência, no Quadro 8, os resultados obtidos na síntese do Biodiesel com metanol e com etanol são comparados.

Quadro 8. Rendimento (%), métricas de massa e propriedades do Biodiesel produzido com metanol e etanol

Biodiesel Metílico à uma temperatura de 45°C, tempo 10 minutos							
Rendimento (%)	AE (%)	RME (%)	ME (%)	Resíduos (%)	Densidade g/cm³	Combustão	Cor
79,8	88,7	62,0	62,0	38,0	0,87	Excelente	Amarelo límpido
Biodiesel Etílico à temperatura ambiente e isolamento realizado com ácido acético 39,88 % tempo 30 min.							
Rendimento (%)	AE (%)	RME (%)	ME (%)	Resíduos (%)	Densidade g/cm³	Combustão	Cor
96,2	89,0	60,5	59,0	41,0	0,86	Excelente	Amarelo límpido
Biodiesel Etílico à temperatura ambiente e isolamento com ácido acético 4 % (vinagre), tempo 30 min.							
Rendimento (%)	AE (%)	RME (%)	ME (%)	Resíduos (%)	Densidade g/cm³	Combustão	Cor
93,7	89,0	48,0	47,0	53,0	0,88	Excelente	Amarelo límpido

Fonte: Autores (2023).

Em termos quantitativos/estequiométricos (Quadro 8), teve-se um rendimento de 79,8% de biodiesel metílico. O rendimento se apresentou um pouco abaixo do esperado devido ao emprego do óleo de soja como matéria-prima proveniente de descarte de frituras para que aumentasse a verduza do biodiesel obtido. Geris *et al* (2007) obtiveram um rendimento de 89,5 e 88%. Rabelo (2001) realizou reações de transesterificação em pequena escala para determinar o volume de metanol (35 mL) e a massa de hidróxido de potássio (1,5 g), tendo obtido o melhor rendimento de 93 %. Rossi *et al.*, (2018) apresentaram um rendimento de 98,45% para o biodiesel proveniente do óleo refinado; 98,10% utilizando óleo residual sem tratamento e 90,77% com óleo residual tratado (Geris et al., 2007).

O rendimento do biodiesel produzido pela rota etílica com ácido acético 39,88 % para isolamento à temperatura ambiente foi 96,2 %, possuindo variações de rendimento em diferentes testes

entre 85 a 96 %, enquanto utilizando vinagre (ácido acético 4%) para o isolamento foi de 93,7 % com variações de rendimento entre 70 e 93 %. As variações encontradas são justificadas pelo emprego do óleo residual de fritura sem tratamento prévio, uma vez que possui um alto teor de água e, conseqüentemente, de ácidos graxos livres (Nurtifri *et al.*, 2013). Os resultados foram superiores em comparação com rendimento em massa de 85,6% pela rota etílica de Pinheiro (2021) e 87% pela síntese de Gaio (2019).

Quanto as métricas de massa, a Economia Atômica (AE) foi de 88,7 % para o biodiesel metílico e 89,0% para o biodiesel etílico. Estes resultados mostram o valor máximo possível do grau de incorporação dos átomos reagentes no biodiesel obtidos a partir da estequiometria da reação *a priori*, admitindo um rendimento de 100%. Todavia a eficiência de massa da reação (RME), calculados *a posteriori*, indicam com bastante clareza a massa de átomos reagentes que são incorporados no biodiesel, uma vez que consideram a razão entre a massa biodiesel e a massa total de todos os reagentes estequiométricos, incluído o excesso do metanol e etanol. Dessa forma, os resultados do Quadro 3, indicam que o biodiesel metílico teve uma maior incorporação de átomos com um RME 62,0 %, enquanto o biodiesel etílico teve uma incorporação de 60,5 % da massa dos reagentes, utilizando ácido acético 39,88 %, contra um RME de 48 % quando usado o vinagre.

A Eficiência de Massa (ME) indica o valor real do grau de incorporação dos átomos dos reagentes no produto principal e é calculada pela razão entre a massa do biodiesel efetivamente obtido no laboratório pela soma da massa de todos os reagentes empregados na reação, inclusive o catalisador. A ME para o biodiesel metílico mostrou uma incorporação de 62% dos átomos reagentes no Biodiesel, sendo cerca de 38% da massa dos reagentes incorporada na massa final dos resíduos. Por outro lado, o biodiesel etílico isolado respectivamente com ácido acético 39,88 % e vinagre apresentou um ME de 59 % e 47 %.

A síntese do biodiesel etílico utilizando vinagre no isolamento apresenta uma ME um pouco inferior provavelmente devido às perdas ocorridas pela maior facilidade de formar emulsão em mistura com etanol e na etapa de purificação em meio aquoso. Ainda, a menor concentração de ácido acético resulta numa menor proporção em reação com a glicerina, responsável pela separação. A utilização de ácido acético na síntese do biodiesel etílico é importante para a produção de mono, di ou triacetatos de glicerol formados por meio da reação da glicerina com o ácido acético, considerando que um dos maiores problemas da rota etílica é a permanência de glicerina no biodiesel (Mota, Pestana, 2011; Pinheiro, 2021). De acordo com Mota e Pestana (2011, p. 421): “A seletividade para a reação de

acetilação do glicerol é fortemente influenciada pela razão molar, tempo de reação e a natureza do catalisador”.

Importante enfatizar que os valores de rendimento estequiométrico e as métricas de massa variam com o tipo de óleo utilizado e com perdas decorridas das lavagens para purificação, podendo haver formação de emulsões, além dos erros aleatórios ocorridos durante a síntese do biodiesel em aulas experimentais, pois os rendimentos geralmente variam muito em cada grupo de trabalho. Ainda, de acordo com Angilelli *et al.* (2022) quando o óleo vegetal possui alto teor de ácidos graxos livres, a catálise básica geralmente se torna inviável, devido à formação de sabão que consome o catalisador e cria emulsões. Isso dificulta a separação da glicerina e do biodiesel no final da reação, prejudicando as etapas de separação, lavagem e purificação. A água é outro fator agravante, pois a hidrólise dos ésteres gera a formação de ácidos graxos e, conseqüentemente, sabão. Nesses casos pode-se empregar catalisadores ácidos como o ácido sulfúrico e sulfônico (Ramos, 2011). Esses apontamentos podem ter sido a causa de o rendimento do biodiesel metílico ter apresentado um rendimento estequiométrico um pouco inferior ao biodiesel etílico (Quadro 8).

Quanto as características físicas, o biodiesel metílico e o etílico se apresentaram lípidos e com cor amarelo pálido. A densidade do biodiesel metílico foi 0,87 g/cm³ e do biodiesel etílico variou de 0,86 g/cm³ (isolamento com ácido acético 39,88 %) a 0,88 g/cm³ (isolamento com vinagre). A densidade do biodiesel pode variar de 0,85 a 0,90 g/cm³, em função da temperatura e da composição da matéria graxa utilizada (Geris *et al.*, 2007; Rossi *et al.*, 2018). Ambos apresentaram excelente combustão quando comparada à combustão do óleo residual de fritura, que tem dificuldades para iniciar e manter a queima. Esse fato é explicado pela menor massa molecular do biodiesel (monoésteres) em relação aos triacilglicerídios do óleo de soja (Geris *et al.*, 2007).

Os resultados de solubilidade confirmam a reação de transesterificação do óleo de soja (triésteres) na produção de biodiesel metílico e etílico (monoésteres), uma vez que óleo é insolúvel em água e etanol e o biodiesel forma uma emulsão em água e é totalmente solúvel em etanol. A solubilidade do biodiesel em etanol é explicada pela menor massa molecular do biodiesel, maior semelhança de polaridade e interações de hidrogênio com o etanol (Quadro 9).

Quadro 9 - Solubilidade do biodiesel em água, etanol e hexano

Testes de solubilidade/solvente	Biodiesel metílico	Biodiesel etílico	Óleo de soja residual
Solubilidade em água	Insolúvel/Emulsão Separação lenta	Insolúvel/Emulsão Separação lenta	Insolúvel
Solubilidade em etanol	Solúvel	Solúvel	Insolúvel
Solubilidade em hexano	Solúvel	Solúvel	Solúvel

O processo de purificação do Biodiesel é necessário, uma vez que parte dos reagentes se convertem em coproduto (glicerina) e resíduo. O resíduo é constituído por água, biodiesel residual, catalisador, sabão, álcool, óleo não reagido e glicerina. Dessa forma, a água de lavagem não pode ser descartada no meio ambiente sem passar por um tratamento adequado (Pinheiro, 2021). O emprego destes resíduos para incorporação em formulações de sabões pode fornecer uma alternativa sustentável (Schwartz *et al.*, 2019). Quanto aos resíduos da água de lavagem do biodiesel, conforme previsto nas possibilidades, propõe-se sua adição em uma formulação de sabão para limpeza pesada (Quadro 10).

Quadro 10. Protocolo para tratamento dos resíduos da lavagem do biodiesel: Produção de sabão

Procedimento experimental sabão: Em um Béquer de 1 L colocar 125 g de NaOH e dissolver usando 125 mL de água. Misturar bem até dissolver toda a base. Lentamente e misturando sempre acrescentar 500 mL de óleo de usado. Misturar por 20 minutos. Em seguida, adicionar o resíduo da síntese de biodiesel acrescido de 100 mL de álcool etílico. Misturar até ficar pastoso. Verter em moldes. Deixar em repouso até endurecer.

Fonte: Cavalheiro *et al.*, (2023).

Estrelas Verdes (EV)

Para fins comparativos entre a rota de biodiesel metílico (Quadro 3 e 4) e as oportunidades vislumbradas na análise externa da MV (Quadro 5) para produção de biodiesel etílico (Quadro 6) utilizando ácido acético 4% no isolamento e emprego dos resíduos em formulações de sabão (Quadro 10), apresenta-se a análise semi-quantitativa utilizando a estrela verde (EV), conforme critérios de análise recomendados por Ribeiro e Machado 2008; Machado, 2014; Cavalheiro *et al.*, (2023) e Stadler e Gomes 2023 (Quadro 11).

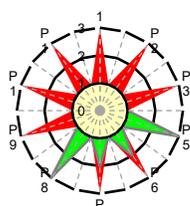
Quadro 11. Critérios de análise das Estrelas Verdes referentes à síntese do Biodiesel Metílico e do Biodiesel Etílico

Síntese e isolamento do Biodiesel metílico			Síntese do Biodiesel etílico/isolamento com ácido acético 4% (vinagre)		Síntese do Biodiesel e Tratamento do resíduo para a Produção sabão	
Princípios	(P) EV	Explicação	(P) EV	Explicação	(P) EV	Explicação
P1 Prevenção	1	Meio básico. excesso de metanol (perigo graves a saúde e perigo físicos - GHS 3)	1	Meio Básico. Excesso de etanol (perigo físico, GHS 3),	3	Produção de sabão – sem resíduo
P2 Economia Atômica	1	Formação de coproduto (glicerol) e excesso de metanol (>10%)	1	Formação de coproduto (glicerol) e excesso de etanol (>10%) coprodutos	3	Sem excessos
P3 Sínteses menos perigosas	1	Hidróxido de potássio (perigo à saúde GHS 3) e metanol (perigo à saúde e perigos físicos - GHS 3)	1	Hidróxido de potássio (risco à saúde - GHS 3) e etanol H225 (perigos físicos GHS 3)	1	Uso de NaOH (risco a saúde - GHS 3).
P5 Solventes	3	Não usa auxiliares	(3)	Vinagre (4%)	1	Etanol (GHS 3)

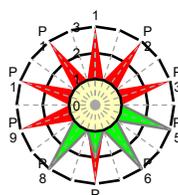
e outras substâncias auxiliares mais seguras						
P6 Planificação para conseguir eficácia energética	2	45 °C ($0\text{ °C} \leq T \leq 100\text{ °C}$)	3	Temperatura ambiente	3	Sabão feito a frio
P7 Uso de matérias primas renováveis	2	Óleo vegetal/ biodiesel renováveis. (hidróxido de potássio e metanol não são renováveis)	2	Óleo/Biodiesel e etanol renováveis (hidróxido de potássio não renovável)	2	Hidróxido de potássio e de sódio não são renováveis
P8 Redução de derivatizações	3	Uma só etapa (sem derivatizações)	3	Uma só etapa (sem derivatizações)	3	Não há derivatizações
P9 Catalisadores	1	Hidróxido de potássio (GHS 3)	1	Hidróxido de potássio (GHS 3)	3	Não usa catalisadores
P10 Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis a produtos inócuos	1	Substâncias não degradáveis a produtos inócuos	3	Sabão é um produto biodegradável
P12 Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Metanol (GHS 3)	1	Etanol (GHS 3)	1	Uso de hidróxido de sódio com GHS 3)

A partir das informações extraídas do Quadro 11, apresenta-se EV para as rotas sintéticas do biodiesel (Figuras 1a e 1b) e para a reação global de síntese (reação e isolamento), considerando o aproveitamento o do resíduo em formulações de sabão (Figura 1 c), desconsiderando a etapa de purificação do Biodiesel. É importante ressaltar que caso não haja a remoção da umidade do biodiesel, há a diminuição da qualidade do mesmo, pois a água é catalisadora da reação de oxidação do biodiesel e, conseqüentemente, há a diminuição do período de indução, parâmetro que estima de forma acelerada o período de armazenamento do biodiesel (Chendynski *et al.*, 2018).

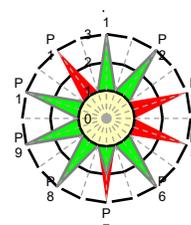
Figura 1 – Estrelas verdes da síntese do biodiesel



(a) EV rota metilica
*IPE: 30 %
30%



b) EV rota etilica com ácido
acético 4 % (vinagre)
*IPE: 45 %
35%



c) EV rota etilica com
aproveitamento resíduo para sabão
*IPE: 65%

*IPE – Índice de Preenchimento da Estrela Verde

Fonte: Os autores.

O baixo IPE da Estrela Verde apresentado na Figura 1a (30%) está relacionado aos princípios não atendidos da prevenção (P1), de economia atômica (P2), de síntese menos perigosa (P3), de uso de catalisador (P9), da planificação para degradação (P10) e da química intrinsecamente segura (P12). Isso ocorre devido ao uso de metanol e o seu excesso, que permanece nos resíduos da reação, apresentando altos perigos físicos e pelo emprego de hidróxido de sódio como catalisador, conferindo perigo elevado à saúde e perigo ambiental moderado.

Em relação à eficiência energética (P6), observa-se atendimento parcial da verdura, pois o processo é conduzido entre 0 e 100 °C (45 °C) e a pressão ambiente. Ainda, por utilizar pelo menos um reagente de origem renovável (óleo vegetal residual), atende-se parcialmente o princípio 7. Por fim, atende-se completamente o P5, referente aos solventes e auxiliares, pois não há uso desse tipo de substância nessa síntese e o princípio 8, pois não ocorrem derivatizações no processo.

O IPE da EV do biodiesel produzido com etanol e ácido acético 4 % teve o IPE melhorado em 5 % (IPE 35 %), pois atende aos princípios P5, P6, P8 e atendimento parcial do P7, conforme mostra o Quadro 10 e a Figura 1b. Contudo, se considerarmos a reação global, considerando a síntese do biodiesel e o aproveitamento desse resíduo para produção de sabão, a verdura química das rotas sintéticas melhora, pois se atinge totalmente os princípios 1, 2, 9 e 10 (Figura 1c).

Destacamos que nesse trabalho se avaliou apenas a verdura química dos protocolos de síntese do biodiesel. Destacamos que as métricas MV e EV podem ser utilizadas separadamente para síntese, purificação e também de forma global (síntese + purificação + tratamento de resíduos) para fins comparativos. Observa-se ainda que partir dos princípios da QV pode ser proposto protocolos alternativos, mais verdes para procedimentos experimentais em laboratórios acadêmicos e industriais.

Dessa forma, os 12 princípios da QV, citados por autores como Lenardão (2003), Machado (2014) Mendes, Gomes e Bolzan (2018), Stadler e Gomes (2023) podem servir como um guia quando se pretende implantar a Química Verde em indústrias, Instituições de Ensino ou Pesquisa.

De forma geral, este trabalho reforça a ideia de autores como Geris *et al.*, (2007), Ramos *et al.*, (2011) e Azevedo *et al.*, (2013), que a produção de biodiesel em aulas de Química no Ensino Superior permite o estudo de relações estequiométricas por meio da reação de transesterificação, essencial para apresentar o rendimento das reações e, principalmente as relações teórico-experimentais com os princípios da Química Verde e integração dos dados experimentais com as métricas da QV - a MV, EV e as métricas de massa.

CONCLUSÕES

Considerando os aspectos positivos para o ensino da reação de transesterificação a partir da produção do biodiesel e, por outro lado, a toxicidade do metanol comumente utilizado nessa reação, acredita-se que o levantamento de protocolos na literatura e o estudo da química desses procedimentos possibilitará apresentar alternativas experimentais cada vez mais eficazes e mais verdes. Atendendo os princípios da Química Verde com o protocolo proposto, há a redução de riscos físicos, à saúde e ao ambiente, utilização de reagentes renováveis, redução no uso de resíduos e também preservação em gastos energéticos, visando combinar um melhor do índice de verde sem afetar negativamente as métricas de massa e energética. Por fim, é evidente a importância da química verde para avaliação de protocolos experimentais para difusão no Ensino de Química, principalmente em cursos de graduação, vislumbrando a formação de profissionais mais conscientes em relação a segurança de trabalho e redução dos perigos a saúde e ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ANGILELLI, K. B; MANTOVANI, A. C. G; CHENDYNSKI, L. T. *Mathematical modeling of biofuel synthesis and storage*. EDUEL, 2022. (ISBN 978-65-89814-44-3).

ASSIS, C. S. ; JESUS, L.F.; MIRANDA, A. C. ; MOREIRA, M. F. R. Uso do metanol e risco de exposição dos trabalhadores de uma usina de biodiesel. *REVISTA BRASILEIRA DE MEDICINA DO TRABALHO*, v. 15, p. 29-41, 2017. (DOI: 10.5327/Z1679443520177031).

AZEVEDO, L. A.; BEJAN, C. C. C.; CAMPOS, A. F. DE ALMEIDA, M. A. V. Biodiesel a partir de óleo de fritura: uma temática atual para abordagem das relações CTS em uma sala de aula de química. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia*, v. 6, n. 2, 2013. (DOI: 10.3895/S1982-873X2013000200003).

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 86-113

Síntese do biodiesel: pensando processos mais verdes para a produção de energia renovável

MELO, Jocelene Reis de; STADLER, João Paulo; CHENDYNSKI, Letícia Thaís; SANDRI, Marilei Casturina Mendes; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes

BRANCO, I. G.; CAMPOS, J. W.; SILVA, N. F.; CLEMENTE, M. A. J.; MANTOVANI, A. C. G.; CHENDYNSKI, L. T.; BORSATO, D. (2024). Mathematical modeling of the biodiesel oxidation process in the presence of natural ethanolic extracts of jabuticaba peels, gabirola leaves, and hibiscus flowers. *Química Nova*, 47, e-20230090. (DOI: doi.org/10.21577/0100-4042.20230090).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. CNPE mantém percentual de 10% de biodiesel no diesel em 2022. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/ptbr/assuntos/noticias/cnpe-mantem-percentual-de-10-de-biodiesel-no-diesel-em-2022-3>. Acesso em: 21 jan. 2022.

CAVALHEIRO, N.; STADLER, J. P.; GIUSTI, E. D.; CHENDYNSKI, L. T.; GOMES, S. I. A. A. Ecological soap production using green chemistry principles. *Acta Scientiarum. Technology (Online)*, v. 46, p. 1-10, 2023. (DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v46i1.64409>).

CHENDYNSKI, L. T.; ROMAGNOLI, E. S.; MANTOVANI, A. C. G.; KIMURA, M.; MARQUES, L. C.; BORSATO, D. Influence of Copper and Metallic Alloys on the Oxidation Reaction of Commercial Biodiesel in Mixture with Natural Antioxidant. *JOURNAL OF THE BRAZILIAN CHEMICAL SOCIETY*, v. 30, p. 90-96, 2019. (DOI: dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20180157).

CLEMENTE, M. A. J.; MARCHEAFAVE, G. G. ; BRANCO, I. G. ; CANESIN, E. A. ; MANTOVANI, A. C. G. ; CHENDYNSKI, L. T. ; ANGILELLI, K. B. ; BORSATO, D. Study of the addition of Gabirola leaves extract in the biodiesel oxidation reaction in the presence of metal ions. *BIOFUELS*, v. 1, p. 1-6, 2023. (DOI: doi.org/10.1080/17597269.2023.2191388).

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. Resolução n.º 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Brasília: DOU de 08/11/2018.

CNPE. (2023a). Resolução n.º 03, de 20 de março de 2023. Altera a Resolução CNPE n.º 16, de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel; e dá outras providências. Conselho Nacional de Política Energética. Brasília: Diário Oficial da União. Acesso em 12 de abril de 2023. Disponível em <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-docnpe/2023/ResCNPE32023.pdf>

FRIEDRICH, L. *Contextualização do Biodiesel na aprendizagem de funções orgânicas e reações de transesterificação na disciplina de química*. Dissertação do Curso de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira. Medianeira (2019). Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5314/1/biodieselfuncoesorganicastransesterificacao.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2022.

GAIO, S. R.G. *PRODUÇÃO DE BIODIESEL ETÍLICO COM NaOH DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA DA COLETA SELETIVA DE FOZ DO IGUAÇU/PR*. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território (ILATIT) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), como requisito parcial

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 86-113

Síntese do biodiesel: pensando processos mais verdes para a produção de energia renovável

MELO, Jocelene Reis de; STADLER, João Paulo; CHENDYNSKI, Letícia Thaís; SANDRI, Marilei Casturina Mendes; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes

à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Energia. 2019. Disponível em:
<https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/5967/Produ%C3%A7>.

GERIS, R. *et al.* Biodiesel de Soja – Reação de Transesterificação para Aulas Práticas de Química Orgânica. *Química Nova*, v. 30, n. 5, pp. 1369-1373, 2007. Disponível em:
http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol30No5_1369_52-ED06158.pdf. Acesso em: 20 jul. 2022. (doi.org/10.1590/S0100-40422007000500053).

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, E. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. C. “Green Chemistry” – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003 (DOI: doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020).

LUZ, Leslie Tauany Schneider da *et al.* Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos. *Educación química*, v. 30, n. 2, p. 54-69, 2019 (DOI:doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67393).

MACHADO, A. *Introdução às métricas da química verde: uma visão sistêmica*. Editora da UFSC, Florianópolis, 2014 (ISBN: 978.85.328.0677-2).

MACHADO, C. S. A. Da Gênese ao Ensino da Química verde. *Química Nova*, vol. 34, n. 3, p. 535-343, 2011 DOI: doi.org/10.1590/S0100-40422011000300029.

MAINTINGUER, S, I, *et al.* Cenários das políticas públicas adotadas do programa nacional de produção do biodiesel no Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, v. 18, n. 52, p. 189-206, jul, 2022. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rts/article/viewFile/14623/8822>. Acesso em: 11 ago. 2022 (DOI: 10.3895/rts.v18n51.14623).

MANTOVANI, A. C. G.; CHENDYNSKI, L. T.; SALVIATO, A.; BORSATO, D.; SANTANA, V. T.; DI MAURO, E.;. Monitoring free radicals formation in the biodiesel oxidation reaction via electronic paramagnetic resonance. *Fuel*, v. 224, p. 255-260, 2018 (DOI: doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.114).

MATTEI, L. Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios. *Revista Econômica do Nordeste*, Nordeste, v. 41, n. 4, p. 731-740, out/dez. 2010 (doi.org/10.61673/ren.2010.335).

MOTA, C. J. A.; PESTANA, C. F. M. Co-produtos da Produção do Biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 416-425, 2011 (DOI: 10.5935/1984-6835.20110045).

NURTIFRI, I.; MANIAM G. P.; HINDRYAWATI, N; YUSOFF, M. M.; GANESAN, S. Potencial of feedstock and catalysts from waste in biodiesel preparation: A review. *Energy conversion and Management*, v. 74, p. 395-402, 2013.

PIMENTA, S. F; GOMES. S. I. A. A; SANDRI, M. C. M. Análise de Experimentos de Química Orgânica sob uma perspectiva de Química Verde. *Revista Debates em Ensino de Química* (ISSN: 2447-

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 86-113

Síntese do biodiesel: pensando processos mais verdes para a produção de energia renovável

MELO, Jocelene Reis de; STADLER, João Paulo; CHENDYNSKI, Letícia Thaís; SANDRI, Marilei Casturina Mendes; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes

6099), v. 4, n. 1, p. 180-207, 2018. Disponível em:

<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1742/482482615> Acesso em: 26 ago. 2023.

PINHEIRO, S. D. L. R. *PRODUÇÃO DE BIODIESEL COM ÓLEO RESIDUAL E ROTA ETÍLICA COM REMOÇÃO DO EXCESSO DE ETANOL*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologias e Geociências, como requisito para a obtenção do título de mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: Fontes renováveis. 2021.

RADE, L. L.; ARVELOS, S.; BARROZO, M. A. S.; ROMANIELO, L. L.; WATANABE, E. O.; HORI, C. E. Evaluation of the use of degummed soybean oil and supercritical ethanol for non-catalytic biodiesel production. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 105, p. 21-28, 2015 (DOI: doi.org/10.1016/j.supflu.2015.05.017).

RAMOS, L.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de Produção de Biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/190/191> Acesso em: 20 jul.2022 (DOI: 10.5935/1984-6835.20110043).

RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 317-369, dez. 2016 (DOI: 10.21577/1984-6835.20170020).

RENÓ, M. L. G.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J.; BUCHGEISTER, J.; OLMO, O. A. A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. *Energy* (Oxford), v. 36, p. 3716-3726, 2011 (DOI:doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.010).

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. *Pedagogia da Química Verde – Educação para a Sustentabilidade*. 2008. Disponível em: <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>. Acesso em 5 jul. 2022.

ROSSI, G. Z.; BORGES, I. R.; PEREGO, T. F.; TOLEDO, V. D. M.; FERREIRA, L. F. P. Análise técnica da produção do biodiesel a partir do óleo de fritura residual. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 4, n. 1, p. 0101-0108, 2018 (DOI: doi.org/10.18540/jcecvl4iss1pp0101-0108).

SANDRI, M. C. M; GOMES, S. I. A. A; BOLZAN, J, A. *Química Orgânica Experimental - Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde*. Curitiba: Editora IFPR, 2018. p. 1-173 (ISBN: 978-85-54373-14-6).

SILVA, F. R. P.; FREITAS, S. F. T. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. *Ciência Rural*, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 jul. 2022 (DOI: doi.org/10.1590/S0103-84782008000300044).

SCHWANTZ, P. I.; ROTH, J. C. G.; SANTOS, E. F.; LARA, D. M. Reciclagem de resíduos oleosos: ação de sensibilização ambiental com alternativas de reciclagem pela produção artesanal de

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 86-113

Síntese do biodiesel: pensando processos mais verdes para a produção de energia renovável

MELO, Jocelene Reis de; STADLER, João Paulo; CHENDYNSKI, Letícia Thaís; SANDRI, Marilei Casturina Mendes; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes

sabão. *Revista Estudo & Debate*, v. 26, n. 1, 2019 (DOI:dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v26i1a2019.1874).

STADLER, J. P.; GOMES, S. I. A. A. Relato de vivências no âmbito da Química Verde no curso de Química do Instituto Federal do Paraná - campus Palmas Sandra Inês Adams Angnes Gomes. In: *Química verde: propostas, experiências de ensino e reflexões para a formação de professores*. [livro eletrônico]. Organizado por Marilei Casturina Mendes Sandri *et al.* Ponta Grossa: Texto e Contexto, 2023. 232 p. Disponível em: <https://www.textoecontextoeditora.com.br/produto/detalhe/quimica-verde-propostas-experiencias-de-ensino-e-reflexoes/94> (ISBN: 978-85-94441-81-2).

UNITED NATIONS (Org.). Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS). Eighth revised edition ed. New York Geneva: United Nations, 2019. Disponível em: <https://unece.org/transport/standards/transport/dangerous-goods/ghs-rev9-2021> . Acesso em: 18 jan. 2024.

YUNES, F. S; MARQUES, A. C. **A MÉTRICA HOLÍSTICA ESTRELA VERDE: ANÁLISE DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE QUÍMICA**. Ponta Grossa: Atena, 2023. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/a-metrica-holistica-estrela-verde-analise-de-atividades-experimentais-no-ensino-de-quimica>. Acesso em: 26 ago. 2023. (ISBN 978-65-258-1357-8/ DOI: doi.org/10.22533/at.ed.578232704).

MELO, Jocelene Reis de. Instituto Federal do Paraná Campus Palmas, Avenida Bento Munhoz da Rocha Neto, PRT-280 – Trevo Codapar, CEP 85555-000. Palmas - PR. Brasil.

STADLER, João Paulo. Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática no Programa de Pós Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica na UTFPR na área de Formação de Professores, com período de doutorado sanduíche no Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de. La Educación Superior na Universidad de La Habana, Cuba (2020-2024). Mestre em Ensino de Ciências no Programa de Pós Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica na UTFPR na área de Formação de Professores e Aspectos Sociocientíficos no Ensino de Química (2015). Especialista em Educação Especial e Inclusiva (Uninter 2015) e em Materiais Didáticos no Ensino de Ciência e Matemática (PUC-PR 2016). Licenciado em Química e Bacharel em Química Tecnológica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR 2013). Atuou, de 2011 a 2017, na Educação Básica (Ensino Médio) como professor contratado e efetivo na Secretaria de Estado de Educação do Paraná. Desde 2018, atua como professor do Colegiado de Química no IFPR (campus Palmas) atendendo turmas de Ensino Médio Técnico Integrado e do curso de Licenciatura em Química e Licenciatura em Pedagogia. Instituto Federal do Paraná Campus Palmas, Avenida Bento Munhoz da Rocha Neto, PRT-280 – Trevo Codapar, CEP 85555-000. Palmas - PR. Brasil.

CHENDYNSKI, Letícia Thaís. Doutora em Química pelo programa de pós-graduação integrado UEL/ UEPG / UNICENTRO. Mestra em Química pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Graduada do curso de Bacharelado em Química com Habilitação em Tecnológica pela Universidade Estadual de Londrina. Atuou em projetos de pesquisa utilizando métodos com HPLC e NIR em análises de alimentos e bebidas, síntese de biodiesel a partir de diferentes matérias primas e catalisadores e aplicação de antioxidantes naturais, mecanismo de oxidação do biodiesel e delineamento experimental. Atualmente é docente do Instituto Federal do Paraná Campus Ivaiporã. Instituto Federal do Paraná Campus Ivaiporã, Rua Max Arthur Greipel, nº 505 - 17 Parque Industrial Ivaiporã-PR, Brasil, CEP 86870-000. Autora correspondente: leticia.chendynski@ifpr.edu.br.

SANDRI, Marilei Casturina Mendes. Possui graduação em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2005), mestrado em Química Aplicada pela mesma universidade (2008) e doutorado em Educação Para a Ciência e o Ensino de Matemática pela Universidade Estadual de Maringá (2016). Atualmente é professora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no curso de Licenciatura em Química, com atuação na área de Ensino de Química. É professora permanente do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM) da UEPG. Realiza pesquisas na área de Ensino de Química, atuando principalmente nos seguintes temas: Ensino Química Verde, Educação para a Sustentabilidade, Formação de Professores, Saberes docentes e Experimentação. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Avenida Gen. Carlos Cavalcanti 4748. CEP 84030-900. Bloco L, Sala 37.

GOMES, Sandra Inês Adams Angnes. Licenciada em Química pelas Faculdades Reunidas de Administração, Ciências Contábeis e Ciências Econômicas de Palmas FACEPAL, (1999). Mestra em Química pela Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB (2005). Experiência como auxiliar de laboratório de ensino de Química entre 1999 e 2003. Experiência

como Docente de Química no Ensino Superior desde 2003. Docente do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal do Paraná campus Palmas, desde 2011. Coordenadora do Estágios Supervisionados de Química. Professora das disciplinas de Química Orgânica e Estágio Supervisionado. Coordenadora do projeto de Pesquisa e de Ensino e Aprendizagem: Avaliação de Verdura Química dos Experimentos de Química Orgânica. Coordenadora do Laboratório dinâmico Interdisciplinar para o Ensino de Ciências. Vice Coordenadora do projeto de Extensão Fábrica Escola de Detergentes. Coordenadora do projeto de pesquisa Extração de Bioativos a partir de Resíduos Vegetais para Aplicação em Sistemas Emulsionados. Instituto Federal do Paraná Campus Palmas, Avenida Bento Munhoz da Rocha Neto, PRT-280 – Trevo Codapar, CEP 85555-000. Palmas - PR. Brasil.

Mulheres em cargo de liderança: estudo de caso em uma indústria metalúrgica da região de Piracicaba-SP

MORAES, Ana Beatriz de
SCUDELER, Valéria Cristina
SILVA, Vanessa de Cillos

Resumo

A inserção das mulheres no mercado de trabalho tem sido uma jornada marcada por desafios e conquistas ao longo dos últimos séculos. Este estudo visa analisar os obstáculos enfrentados por mulheres em cargos de liderança dentro de uma empresa do setor metalúrgico. Utilizando uma abordagem de pesquisa de campo, por meio de um estudo de caso e aplicação de questionários a quatro líderes de diferentes áreas da empresa, buscou-se compreender a dinâmica e os desafios específicos enfrentados por essas profissionais. A análise dos dados, conduzida por meio da técnica de análise de conteúdo, revelou que, embora o mercado de trabalho ainda apresente diversas barreiras para as mulheres em busca de cargos de liderança, a empresa em questão se destaca por proporcionar um ambiente inclusivo e propício ao crescimento profissional, independente de gênero, valorizando a competência como critério fundamental para ascensão.

Palavras-chave: mercado de trabalho; setor metalúrgico; liderança feminina.

Abstract

The insertion of women into the job market has been a journey marked by challenges and achievements over the last few centuries. This study aims to analyze the obstacles faced by women in leadership positions within a company in the metallurgical sector. Using a field research approach, through a case study and application of questionnaires to four leaders from different areas of the company, we sought to understand the dynamics and specific challenges faced by these professionals. Data analysis, conducted using the content analysis technique, revealed that, although the job market still presents several barriers for women seeking leadership positions, the company in question stands out for providing an inclusive and conducive environment. professional growth, regardless of gender, valuing competence as a fundamental criterion for advancement.

Keywords: job market; metallurgical sector; female leadership.

Resumen

La inserción de las mujeres al mercado laboral ha sido un camino marcado por desafíos y logros a lo largo de los últimos siglos. Este estudio tiene como objetivo analizar los obstáculos que enfrentan las mujeres en puestos de liderazgo dentro de una empresa del sector metalúrgico. Utilizando un enfoque de investigación de campo, a través de un estudio de caso y la aplicación de cuestionarios a cuatro líderes de diferentes áreas de la empresa, buscamos comprender las dinámicas y desafíos específicos que enfrentan estos profesionales. El análisis de los datos, realizado mediante la técnica de análisis de contenido, reveló que, aunque el mercado laboral aún presenta varias barreras para las mujeres que buscan puestos de liderazgo, la empresa en cuestión se destaca por brindar un ambiente inclusivo y propicio para el crecimiento profesional, independientemente del género, valorando la competencia como criterio fundamental para avanzar.

Palabras clave: mercado laboral; sector metalúrgico; liderazgo femenino.

INTRODUÇÃO

Há cerca de dois séculos, o papel das mulheres era basicamente cuidar da casa e dos filhos. Os provedores das necessidades financeiras eram os homens, assim sendo, as mulheres geralmente não exerciam atividades fora de casa, especialmente as remuneradas.

Com a promulgação da nova Constituição em 1934, as mulheres conquistaram pela primeira vez o direito de votar e se candidatar nas eleições para a Assembleia Nacional Constituinte. Esse marco representou um avanço significativo no âmbito do direito eleitoral brasileiro, colocando o Brasil como o quarto país da América a estabelecer o voto feminino (Leite e Gundim, 2019; Buonicore, 2009).

A partir desse marco, uma série de outras conquistas ocorreu no Brasil, incluindo o estabelecimento dos conselhos estaduais da condição feminina em São Paulo e Minas Gerais, a entrada de mulheres nas cadeiras da Câmara dos Deputados e a instituição do dia 8 de março como o Dia Internacional da Mulher, uma ocasião anual dedicada a homenagear e recordar as inúmeras lutas e sacrifícios que levaram ao reconhecimento dos direitos das mulheres (Buonicore, 2009).

No entanto, apesar dos avanços notáveis ao longo do tempo, persistem desafios significativos para as mulheres que buscam alcançar e manter posições de liderança. Questões como disparidades salariais, discriminação de gênero e falta de representatividade em cargos de tomada de decisão ainda são prevalentes em muitos setores, incluindo a indústria metalúrgica. Portanto, é crucial examinar de perto as experiências das mulheres que estão trilhando esses caminhos, entender os obstáculos que enfrentam e identificar estratégias eficazes para promover a igualdade de oportunidades e o avanço profissional das mulheres.

De acordo com Talenses Group (2024), a participação de mulheres em cargos de presidência no ano de 2023 foi de 17%, o que representou um aumento de aproximadamente 31% em relação ao ano de 2019. Já para cargos de vice-presidência, essa participação passou de 19% em 2017 para 34% em 2023, representando variação positiva de aproximadamente 79%.

O presente trabalho, centrado em uma empresa do setor metalúrgico em Piracicaba, tem como objetivo geral analisar os desafios enfrentados por mulheres que ocupam cargos de liderança nesse contexto específico. Os objetivos específicos incluem contextualizar o setor metalúrgico no Brasil, definir o conceito de liderança e apresentar uma visão geral da participação das mulheres em posições de liderança dentro de empresas metalúrgicas. Além disso, pretende-se identificar e listar as características de liderança particularmente relevantes para as mulheres neste setor, bem

como analisar os desafios específicos que enfrentam, como preconceito de gênero e barreiras estruturais e culturais.

Este estudo de caso explora as dificuldades enfrentadas pelas mulheres ao assumirem cargos de liderança em um setor predominantemente masculino. Conforme evidenciado pelos dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) de 2020, as mulheres representam apenas 18,4% dos trabalhadores no setor metalúrgico (FEM, 2022).

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Contextualização do Setor Metalúrgico no Brasil

A primeira fábrica de ferro da qual se tem notícia foi fundada no Brasil no ano de 1587 e as forjas feitas após esse período funcionaram até o ano de 1616. Foi a partir da década de 1980 que esse segmento passou a ganhar força e destaque através da exportação brasileira de aço aumentando a produção de 11,6% para 43% (Ipm Bronze, 2022).

Atualmente, o setor metalúrgico é um dos mais importantes para a economia do Brasil, tendo representado cerca de 4,4% do PIB brasileiro no ano de 2020 e, de acordo com dados do SEBRAE, gerado mais de 658 mil vagas de emprego somente em 2021 (Vieceli Usinagem, 2022).

Apesar dos desafios enfrentados devido aos impactos da pandemia de COVID-19, como escassez de matéria-prima e aumento nos custos de produção, o setor metalúrgico experimentou uma recuperação econômica ao longo do ano de 2021. Este período viu uma retomada significativa, permitindo que o setor se restabelecesse e voltasse a crescer, contribuindo para o panorama geral de expansão da produção industrial brasileira, que registrou um crescimento de 3,9% em 2021, conforme indicado por um artigo publicado pelo Valor Investe. Além disso, no mesmo ano, houve um aumento notável no consumo de aço, com um aumento de 27,9%, de acordo com dados divulgados pela Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM Brasil) (Bmv, 2023).

O setor metalúrgico brasileiro apresentou um crescimento significativo de 0,8% em novembro. Este incremento reflete não apenas uma tendência de recuperação, mas também uma contribuição sólida para a expansão da produção industrial do país. Juntamente com outras áreas em ascensão, como o setor extrativo e de produtos alimentícios, a metalurgia tem desempenhado um papel crucial na sustentação da atividade econômica. Apesar dos desafios persistentes, como

evidenciado pelas quedas em produtos farmoquímicos e farmacêuticos, o panorama geral sugere uma resiliência notável, ainda que a produção industrial permaneça abaixo dos níveis pré-pandemia (FEM, 2024).

1.2 Liderança nas Organizações

A liderança tem sido reconhecida nas empresas e instituições como um fator determinante para o sucesso ou fracasso, sendo seu potencial de valor evidenciado de forma benéfica em instituições onde os líderes são treinados e preparados para desenvolver uma liderança visionária que incorpore o sucesso organizacional como parte de seus objetivos (Melo, Dourado & Macedo, 2023).

Liderança é a concretização de objetivos por meio da orientação de colaboradores humanos, onde o indivíduo que guia com sucesso seus colaboradores para alcançar metas específicas é considerado um líder. Um líder excepcional é aquele que demonstra essa capacidade consistentemente, dia após dia, ano após ano, em uma ampla gama de circunstâncias (Maximiano, 2011).

As organizações buscam identificar habilidades individuais que se alinhem com as metas organizacionais, analisando o conjunto de conhecimentos, habilidades e atitudes do líder, o que forma a base das competências necessárias para oferecer respostas bem-sucedidas diante da implementação das mais recentes formas de gestão (De Souza, De Oliveira e De Sá Rodrigues, 2015).

Diferentes autores oferecem perspectivas variadas sobre o conceito de liderança. Chiavenato (2022) define liderança como um processo que influencia e inspira o comportamento de indivíduos, ajustando-se às exigências e circunstâncias, com o propósito de orientá-los na consecução de um ou mais objetivos. Cury (2009), por outro lado, sugere que a liderança é o desfecho de uma combinação de atributos que uma pessoa possui, ao passo que outros argumentam que o líder não necessita seguir um conjunto específico de regras. Hunter (2004) contribui para a discussão, descrevendo a liderança como a capacidade de motivar indivíduos a colaborarem com entusiasmo na busca pelos objetivos que são reconhecidos como benéficos para o coletivo. Essas diversas definições destacam a complexidade e a multidimensionalidade do fenômeno da liderança.

De acordo com Robbins e Judge (2010), a liderança desempenha um papel central na compreensão do comportamento de grupo, uma vez que é o líder quem geralmente oferece a direção para alcançar os objetivos. Compreender o que define um líder eficaz pode ser fundamental para aprimorar o desempenho do grupo. Os líderes são reconhecidos na literatura como facilitadores de mudanças organizacionais e coordenadores de esforços para atingir objetivos institucionais. Eles são os principais condutores que dirigem as equipes.

Segundo Ivan e Terra (2017), o líder desempenha um papel vital na dinâmica organizacional ao acompanhar as mudanças na sociedade e atuar tanto interna quanto externamente na organização. Para isso, ele precisa possuir características como carisma, habilidades em gestão de equipes, compreensão dos estilos de liderança, capacidade de motivação, prontidão para mudanças, estratégia e habilidades multifuncionais. A conduta dos líderes influencia diretamente o comportamento de seus liderados, impactando positivamente ou negativamente nos resultados almejados, sendo a liderança intrinsecamente ligada à motivação dos colaboradores e à realização dos objetivos organizacionais.

1.3 Presença da Mulher no Setor Metalúrgico

A presença das mulheres no ramo metalúrgico vem aumentando no decorrer dos anos, porém mesmo com todos os avanços conseguidos esse setor ainda é predominantemente masculino.

Em 2006, as mulheres compunham 15,5% da força de trabalho metalúrgica no Brasil. Entretanto, em 2014, essa proporção aumentou para 19,1%, marcando o melhor resultado já registrado até então. Apesar desse avanço, elas ainda representam menos de um quinto dos trabalhadores do setor, conforme dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) de dezembro de 2015. No ano de 2020, houve uma leve redução nessa participação, para 18,4% (FEM, 2022).

Segundo dados da base FEM/CUT-SP/2020, a presença das mulheres neste setor aumentou ao longo da última década (2010 - 2020), atingindo seu ápice em 2014, com 17,5%. No entanto, em 2020, esse índice registrou uma queda, situando-se em 16,6%, abaixo da média nacional mencionada anteriormente (FEM, 2022).

A Tabela 1 traz a concentração e participação feminina no setor metalúrgico brasileiro no ano de 2020.

Tabela 1: Concentração e participação feminina no setor metalúrgico

Ocupações	2020							
	Masculino		Feminino		F/M	Participação %	Concentração %	
	N. trab.	Rem. Média	N. trab.	Rem. Média				
Diretoria e Gerência	5.131	R\$ 16.635,11	1.308	R\$ 10.423,56	-37,3%	20,3%	4,1%	
Administrativo	11.757	R\$ 4.002,15	6.533	R\$ 2.877,32	-28,1%	35,7%	20,4%	
Técnicos do nível médio	23.441	R\$ 5.562,24	4.763	R\$ 4.128,47	-25,8%	16,9%	14,8%	
Produção	108.008	R\$ 3.555,96	13.624	R\$ 2.205,87	-38,0%	11,2%	42,5%	
Outros	12.874	R\$ 7.653,75	5.857	R\$ 5.053,74	-34,0%	31,3%	18,3%	
Total	161.211	R\$ 4.623,74	32.085	R\$ 3.482,87	-24,7%	16,6%	100,0%	

Fonte: Secretaria de trabalho do Ministério da economia - RAIS 2020

Elaboração: DIEESE Subseção FEM/CUT-SP

Fonte: FEM (2022).

Nota-se que em todas as ocupações detalhadas na Tabela 1, a participação de mulheres é inferior à de homens, representando aproximadamente 20% do total. Em termos de distribuição ocupacional, a maioria das mulheres está concentrada na área de produção, representando 42,5% do total, o que corresponde à menor taxa de participação entre todas as áreas. Por outro lado, nas áreas de diretoria e gerência, observa-se uma concentração de 4,1% das mulheres, com uma participação relativamente mais elevada de 20,3%.

Outro aspecto relacionado à participação das mulheres no setor é a disparidade salarial. Ao longo dos últimos 10 anos (2010 - 2020), essa disparidade diminuiu gradualmente, porém, ainda em 2020, foi registrada uma diferença salarial de 24,7%, conforme evidenciado pelo Gráfico 1.

Gráfico 1: Diferença salarial entre homens e mulheres no setor metalúrgico no período de 2010 a 2020



Fonte: FEM (2022).

1.4 Desafios Enfrentados por Mulheres em Cargos de Liderança no Setor Metalúrgico

O crescente avanço das mulheres no mercado de trabalho é um fenômeno reconhecido, como apontado por Cintra e Cosac (2008), que destacam a mudança de paradigma em que as mulheres estão arriscando seus valores femininos, conquistando espaços e assumindo cargos de liderança que anteriormente eram predominantemente ocupados por homens. Esse movimento também se reflete no setor metalúrgico, onde cada vez mais mulheres estão ascendendo a posições de liderança. No entanto, mesmo com qualificações frequentemente superiores às dos homens, essas mulheres ainda enfrentam discriminação em muitas empresas, especialmente no contexto brasileiro.

Alguns autores como Arvatea, Galileab e Todescatc (2018) e Derks, Van Laarb e Ellemers (2016) recorrem à metáfora da “abelha rainha” para ilustrar os desafios enfrentados pelas mulheres em processos contemporâneos de ascensão profissional. Segundo eles, a sociedade das abelhas apresenta três castas de indivíduos: a rainha, o zangão e as operárias, cujas funções se definem por sua própria natureza e ciclo de vida. A função da rainha é pôr os ovos que darão origem à próxima rainha, aos próximos zangões e a todas as operárias. A abelha rainha possui características importantes e é a base da colmeia, já que é a única fêmea fértil. Caso nasça mais de uma abelha rainha, somente a primeira sobrevive. Aos zangões cabe apenas fecundar a rainha. Tendo cumprido a função, eles vêm a morrer. Já as operárias são as fêmeas estéreis da colméia. A dominação da abelha rainha se dá, portanto, por sua própria natureza (Miltersteiner *et al*, 2020).

De acordo com esse pensamento, as mulheres que buscam realização profissional em ambientes dominados por homens tendem a se distanciar de outras mulheres ao invés de buscar apoio nas mesmas. Com essa atitude, elas acabam por se ajustar mais à cultura masculina do que a feminina e, por conta disso, são referidas com a expressão “síndrome e abelha rainha”.

De acordo com Derks, Van Laarb e Ellemers (2016), existem dois motivos para esse comportamento, sendo eles competição e sobrevivência. Pois, desde a infância, é ensinado para as mulheres que devem ser melhores que as demais para ter um bom casamento, e isso fica gravado em seus subconscientes, as expondo aos comportamentos organizacionais de maior competição.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada para este estudo abrange uma pesquisa bibliográfica exploratória-descritiva e pesquisa qualitativa, visando aprofundar os principais conceitos sobre liderança, sua

manifestação no setor metalúrgico e a presença das mulheres nesse contexto. A pesquisa bibliográfica se baseou em fontes secundárias, como livros, teses, dissertações, artigos científicos e sites oficiais, para embasar teoricamente o estudo. Além disso, foi conduzida uma pesquisa de campo na modalidade estudo de caso, conforme preconizado por Yin (2001), para compreender a dinâmica específica em uma empresa metalúrgica na região de Piracicaba/SP.

A empresa objeto deste estudo está localizada em Piracicaba, interior de São Paulo, e se destaca como uma indústria multinacional de grande porte no setor metalúrgico, especializada na fabricação de peças e líder em tecnologia de combustível. Ela conta com aproximadamente 1.500 funcionários.

Os dados foram coletados por meio da aplicação de um questionário contendo 13 questões abertas, direcionadas a mulheres que ocupam cargos de liderança na empresa objeto deste estudo. A escolha desse método permitiu uma análise qualitativa detalhada das percepções e experiências das entrevistadas.

O tratamento dos dados foi realizado por meio da análise de conteúdo, como proposto por Minayo (2008), visando identificar os núcleos de sentido que compõem a comunicação das entrevistadas e interpretá-los em relação ao objetivo analítico proposto.

Quatro líderes de diferentes setores da empresa participaram da pesquisa. A entrevistada "A", com 52 anos, possui bacharelado em comércio exterior e direito, além de um MBA em logística empresarial, e atualmente é responsável pelo setor de compras indiretas. A entrevistada "B", de 31 anos, é formada em engenharia ambiental e de segurança do trabalho, atuando como engenheira de meio ambiente e segurança do trabalho. A entrevistada "C", também com 32 anos, possui formação em publicidade e propaganda, com pós-graduação em marketing, e ocupa um cargo global de supervisora de marketing. Por fim, a entrevistada "D", de 52 anos, é formada em administração de empresas, com pós-graduação em gestão de pessoas, e desempenha a função de gerente do setor de recursos humanos da empresa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desafios no Desempenho do Cargo Atual

Após a realização das entrevistas com as líderes, diversos aspectos foram verificados, incluindo faixa etária, tempo de empresa e grau de instrução. Das quatro entrevistadas, duas se encontram na faixa etária de 30 a 35 anos, enquanto as outras duas estão na faixa etária de 50 a 55

anos, sendo que estas últimas têm filhos na faixa etária de 15 a 20 anos. No que diz respeito ao tempo de trabalho na empresa, uma gestora está na empresa há 27 anos, outra há 23 anos, uma há 11 anos e a última há 8 anos. Em relação ao grau de instrução, todas as gestoras possuem graduação em suas áreas de atuação, sendo que uma possui bacharelado e duas possuem pós-graduação.

Buscou-se, na entrevista, identificar os desafios enfrentados por cada uma das gestoras para chegar aonde estão hoje e qual a parte mais complicada em relação à sua posição na empresa.

Em relação aos desafios enfrentados, a entrevistada “A” afirma que sua maior dificuldade para chegar aonde está foi se adaptar às mudanças de gerência e diretoria. Atualmente, define que a parte mais complicada de sua função é a administração de conflitos e crises, em que é necessário ser resiliente e buscar soluções.

A entrevistada “B” conta que seu maior desafio foi quebrar o preconceito de idade, por ter iniciado na empresa como estagiária e chegado a um cargo de liderança em um tempo relativamente curto. A parte mais complicada de seu cargo é lidar com as pessoas e suas particularidades e garantir que todos entendam e sigam as políticas e procedimentos de segurança e meio ambiente.

A entrevistada “C” relata que seu maior desafio foi o fato de não ter tido oportunidade de estudar nas melhores escolas ou fazer cursos de idiomas para chegar aonde está, então teve que se esforçar muito para finalizar seus estudos, além de também sofrer com os preconceitos por conta da pouca idade, assim como relatou a entrevistada “B”. A parte mais complicada de seu cargo atual é a diferença de culturas, costumes e fuso horários, já que a mesma se encontra em uma função de alcance global.

A entrevistada “D” informa que teve vários desafios no decorrer de sua carreira, em especial no começo, quando finalizou um estágio em uma área muito específica e passou a ter outras funções dentro do setor. Também relatou que, atualmente, seu maior desafio é a tomada de decisões e assumir as consequências das escolhas. Outro ponto mencionado foi a mediação dos conflitos entre seus funcionários. Segundo a entrevistada, a parte mais complicada de seu cargo é conciliar as aspirações das pessoas versus as necessidades do negócio, que às vezes enfrenta crises, como redução de custos, controles, excesso de trabalho, entre outros.

Com isso observa-se que, por mais diferenciados que tenham sido, todas as entrevistadas passaram e ainda passam por dificuldades. Podemos destacar, dentre elas, o preconceito em relação à idade mencionado pelas entrevistadas “B” e “C”, provavelmente porque as pessoas ainda não estão acostumadas a ver mulheres, ainda mais jovens, na liderança.

A mulher começou a participar do mercado de trabalho devido às necessidades econômicas durante os anos 1950 e, por conta disso, ainda existem dificuldades para exercerem cargos de chefia, por conta dos preconceitos. Uma mulher gerenciando homens, principalmente mais velhos do que a mesma, pode ser um desafio, visto que não é algo comum, e as pessoas são resistentes a esse tipo de relacionamento (Maume, 2016; Hryniewicz e Vianna, 2018).

3.2 Características Importantes para Líderes e Representatividade das Líderes Mulheres

Outra questão abordada foi quais características são consideradas importantes para um líder e se a representatividade das mulheres em cargos de liderança é relevante para a nova geração de profissionais.

A entrevistada "A" enfatizou a importância de inspirar e servir de exemplo para sua equipe, além de ressaltar a valorização da diversidade de gênero, raça, cultura e idade, pois acredita que as novas gerações dão importância a profissionais que respeitam essa diversidade. Por sua vez, a entrevistada "B" destacou a firmeza nas tomadas de decisões e a habilidade em solucionar problemas como características-chave de um líder, além de salientar que a visibilidade da liderança feminina pode motivar a nova geração a buscar cargos de liderança.

De acordo com a entrevistada "C", uma característica importante de um líder é saber cuidar das pessoas, entender que não é se faz nada sozinho e que o sucesso de seu time é o seu sucesso. Sendo assim, deve se esforçar para deixar as pessoas felizes e motivadas com suas funções, o que gera uma entrega muito maior e um ambiente mais leve. Pondera, também, que a representatividade com certeza é importante, pois ter mais mulheres na liderança é essencial para mudar histórias, quebrar paradigmas e seguir evoluindo como empresa e sociedade. A entrevistada afirma que hoje tem a oportunidade de ser mentora de outra mulher mais jovem, que também deseja seguir os passos para a liderança.

Por fim, a entrevistada "D" acredita que a comunicação é uma característica importante para que o líder possa ser claro e não correr o risco de arranhar o relacionamento com seu time com arrogância ou palavras que menosprezem outra pessoa. Também menciona a importância de ser firme e saber lidar com os sentimentos de cada um e entender que cada pessoa deve ser liderada de uma forma diferente, respeitando seus limites e se desenvolvendo no momento certo. No que se refere à representatividade, a entrevistada acredita que seja importante desmistificar que a maioria dos cargos de liderança deva ser ocupada por homens e não por mulheres, para que estes

possam ser ocupados por pessoas qualificadas, independentemente de seu gênero. Confirma também saber que se trata de um assunto muito discutido na atualidade, o que é importante, pois ainda existe certo preconceito, mas que essa fase vai passar em breve e que as mulheres que ocupam as lideranças atualmente são importantes para mostrar às trabalhadoras mais novas que se trata de uma questão de qualificação, para que possam ver a trajetória das mulheres líderes, qual seu diferencial e quanto a determinação, os estudos e a preparação foram parte de sua vida.

É possível notar, pelas entrevistas, que todas as líderes consideram o bom relacionamento e incentivo aos funcionários como sendo um ponto muito importante na liderança. Para Mcshane (2014, p. 336):

[...] as mulheres adotam um estilo de liderança participativa mais rapidamente do que as suas contrapartes do gênero masculino. Uma possível razão é que, em comparação com os meninos, as meninas são criadas para ser mais igualitárias e menos orientadas para o status, o que é coerente com a liderança participativa.

Levantamentos informam que as mulheres são mais avaliadas de forma positiva do que os homens em questões como treinamentos, trabalho em equipe e concessão de autonomia aos funcionários (Mcshane, 2014).

3.3 Modelos Femininos de Inspiração e as Dificuldades de se Atingir um Cargo de Liderança

Por fim foi questionado se as entrevistadas possuíam algum modelo de inspiração durante sua vida e se acreditam que o fato de serem mulheres ainda gera mais dificuldades para se alcançar cargos de liderança.

As entrevistadas “A” e “B” mencionaram como modelos de inspiração suas mães, que são mulheres trabalhadoras que sempre enfrentaram os desafios e superaram adversidades. Sobre a questão das dificuldades, a entrevistada “A” comentou que em muitas empresas ainda existe segregação de gênero, mas acredita que a renovação de lideranças criará um ambiente mais diversificado. Ainda informa que, na empresa onde trabalha, praticamente 50% dos funcionários do setor executivo são mulheres.

A entrevistada “B” elucidou que, por mais que o cenário esteja mudando positivamente, ainda existem barreiras para mulheres no decorrer de sua carreira, principalmente para cargos de liderança.

A entrevistada “C” mencionou uma antiga chefe como um modelo de liderança, por se tratar de uma mulher que impõe respeito sem precisar falar. Sobre as dificuldades, ainda percebe que os enfrentamentos para alguns cargos são maiores, assim como os questionamentos em relação à capacidade técnica ou intelectual.

Por último, a entrevistada “D” também citou como modelo sua chefe de quando era estagiária, pela forma como ela lidava com as situações, ser uma pessoa focada e firme, mas também muito humana. Diz também não acreditar que o fato de ser mulher gere alguma dificuldade na conquista de cargos de liderança, mas sim que seja uma questão de se posicionar, e nunca usar o gênero como um impeditivo. Acreditar que é possível se posicionar de igual para igual, ter respeito próprio, não ficar vulnerável ao assédio ou discriminação e ter firmeza em cada passo, discutindo sempre com respeito e conhecimento de causa. Dessa forma, nenhuma porta será fechada pelo fato de ser mulher, se for uma pessoa comprovadamente competente.

Em conclusão, podemos perceber que, mesmo de formas diferentes, todas entrevistadas tiveram modelos de inspiração durante sua trajetória, o que nos mostra o quão importante é termos exemplos de mulheres na liderança, para que as próximas gerações de trabalhadoras possam se sentir capazes de buscar seus objetivos e, possivelmente, enfrentar cada vez menos desafios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da pesquisa realizada, percebe-se que, mesmo com a constante mudança do mercado de trabalho, em especial no setor metalúrgico, ainda existem muitas barreiras para as mulheres em cargos de liderança, seja por conta da idade ou experiência, entre outros. Pode-se dizer que a situação das mulheres em cargos de liderança é um retrato da sua vida na sociedade, e sua carreira possui diversas barreiras que dificultam seu crescimento e reconhecimento profissional.

A empresa utilizada como objeto para essa pesquisa, indo contra uma tendência geral, destaca-se por possuir uma alta porcentagem de mulheres nos cargos de liderança e, apesar de existirem desafios, apresenta-se como uma empresa que oferece oportunidades para todas as pessoas que sejam competentes, independente de gênero.

Dessa forma, podemos concluir que estamos caminhando, mesmo que de forma lenta, para a evolução em relação aos preconceitos existentes para com a liderança das mulheres. O prognóstico para as gerações futuras traz esperança de que as mulheres poderão aumentar seus

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 114-129
Mulheres em cargo de liderança: estudo de caso em uma indústria metalúrgica da região de Piracicaba-SP
MORAES, Ana Beatriz de; SCUDELER, Valéria Cristina; SILVA, Vanessa de Cillos

espaços de atuação, quebrando paradigmas e lutando para tornar o mercado de trabalho um lugar mais justo e inclusivo.

REFERÊNCIAS

ARVATEA, P. R.; GALILEAB, G. W.; TODESCATC, I. The queen bee: a myth? The effect of top-level female leadership on subordinate females. *The Leadership Quarterly*, v. 29, n. 5, p. 533-548, out. 2018.

BUONICORE, A. C. *A República Velha e os direitos das mulheres*. IN: Nazario, D. N. Voto Feminino e Feminismo. São Paulo: Imprensa Oficial Do Estado De São Paulo, 2009.

BMV (2023). *Indústria metal mecânica e sua importância no crescimento do setor metalúrgico*. Disponível em: <https://bmv.com.br/industria-metalmeccanica-e-sua-importancia-no-crescimento-do-setor-metalurgico/>. Acesso em: 8 nov. 2023.

CHIAVENATO, I. *Administração: teoria, processo e prática*. Atlas, 6. edição, 2022.

CINTRA, S. V.; COSAC, C. M. D. O mundo do trabalho e a presença feminina. *Serviço Social & Realidade*, Franca, v. 17, n. 1, p. 373-391, 2008.

CURY, A. *Organização e métodos: uma visão holística*, f. 288. 576 p, 2009.

DE SOUZA, D. S. de O. A.; DE OLIVEIRA, A. L.; DE SÁ RODRIGUES, M. Competências do líder nos grupos semiautônomos: o caso Michelin. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, v. 12, n. 1, p. 160-177, 2015.

DERKS, B.; LAARB, C. V.; ELLEMERS, N. The queen bee phenomenon: why women leaders distance themselves from junior women. *The Leadership Quarterly*, v. 27, n. 3, p. 456-469, jun. 2016.

FEM (2022). Disponível em: <https://fem.org.br/> Acesso em: 09/03/2023.

FEM (2024). Produção industrial cresce e mantém estabilidade em 2023. Disponível em: <https://fem.org.br/producao-industrial-cresce-e-mantem-estabilidade-em-2023/>. Acesso em 05/06/2024.

- Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 114-129
Mulheres em cargo de liderança: estudo de caso em uma indústria metalúrgica da região de Piracicaba-SP
MORAES, Ana Beatriz de; SCUDELER, Valéria Cristina; SILVA, Vanessa de Cillos
- IVAN, M. V.; TERRA, L. A. A. A influência da liderança na dinâmica organizacional. *Caderno Profissional de Administração* – UNIMEP, 2017, vol. 07, n. 01.
- IPM BROZE. *Como a indústria metalúrgica se desenvolveu no Brasil?* 2022. Disponível em: <https://ipmbronze.com.br/category/industria-metalurgica-2/>. Acesso em: 10/06/2024.
- HRYNIEWICZ, L. G. C.; VIANNA, M. A. Mulheres em posição de liderança: obstáculos e expectativas de gênero em cargos gerenciais. *Cadernos Ebape*. 6(3), 331-344, 2018.
- HUNTER, James C. *O monge e o executivo: uma história sobre a essência da liderança*, f. 70. 2004.
- LEITE, C. M.; GUNDIM, W. W. D. A participação da mulher na política brasileira e a efetividade das cotas partidárias. *Resenha Eleitoral*. Florianópolis, v. 23, n. 1, p. 139-164, 2019.
- MAUME, D. J. Can men make time for family? Paid work, care work, work-family reconciliation policies, and gender equality. *Social Currents*, v. 3, n. 1, p. 43– 63, 2016.
- MAXIMIANO, A. C. A. *Introdução À Administração*. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- MCSHANE, S. *Comportamento Organizacional: Conhecimento Emergente*. Realidade Global. 6. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014. 437 p.
- MELO, E. Q., DOURADO, J. L. G, MACÊDO, L. D. Liderança no contexto organizacional: um estudo sobre suas influências na gestão. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, Blumenau, v. 17, nº 2, p.01-13. TRI II2023. ISSN 1980-7031.
- MILTERSTEINER, *et al.* *Liderança feminina: percepções, reflexões e desafios na administração pública*, p. 409-423, 2020.
- MINAYO, M. C. S. *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*, 5. ed. São Paulo: Hucitec-Abrasco, 2008.
- ROBBINS, S.; JUDGE, T.; SOBRAL, F. *Comportamento organizacional: teoria e prática no contexto brasileiro*. Nova Jersey: Pearson Prentice Hall, 2010.
- TALENSES GROUP (2024). Disponível em <https://talensesgroup.com/panorama-mulheres/>. Acesso em 15/05/2024.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 114-129
Mulheres em cargo de liderança: estudo de caso em uma indústria metalúrgica da região de Piracicaba-SP
MORAES, Ana Beatriz de; SCUDELER, Valéria Cristina; SILVA, Vanessa de Cillos

VIECELI USINAGEM (2022). A indústria metalúrgica em 2023. Disponível em:
<https://vieceliusinagem.com.br/a-industria-metalurgicaem2023/#:~:text=O%20setor%20metal%C3%BAArgico%20%C3%A9%20um%20dos%20mais%20importantes,no%20pa%C3%ADs%20s%C3%B3%20em%202021%20%28dados%20do%20Sebrae%29>. Acesso em: 9/11/2023.

YIN, R. K. *Estudo de caso, planejamento e métodos*. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

MORAES, Ana Beatriz de. Graduada em Tecnologia em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”.

SCUDELER, Valéria Cristina. Graduada e Mestre em Economia pelo Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Concluiu todas as disciplinas do Doutorado em Desenvolvimento Econômico pelo Instituto de Economia da UNICAMP. Cursou MBA em Gestão Financeira pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) Campinas e atualmente cursa Pós-Graduação em Administração pela FGV Sorocaba. Trabalhou por 7 anos como pesquisadora bolsista em projetos de pesquisa no Núcleo de Estudos de População (NEPO/UNICAMP) e no Centro de Estudos Sindicais e de Economia do Trabalho (CESIT/UNICAMP). Foi coordenadora do Curso de Administração da Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis Santa Lúcia (FCACSL) entre 2008-2009. Atua como docente de ensino superior desde 2001, com foco nas áreas de Economia, Gestão e Negócios. Docente em contrato por tempo indeterminado do Centro Paula Souza (CEETEPS) desde 2012, ministrando aulas na Fatec Piracicaba, Fatec Tatuí e Fatec Itapetininga. Docente da Faculdade de Ensino Superior Santa Bárbara - FAESB desde 2015.

SILVA, Vanessa de Cillos. Possui graduação em Engenharia Agrônoma com área de concentração em Economia e Administração Agroindustrial pela Universidade de São Paulo (2005), doutorado em Ciências pela Universidade de São Paulo (2014) e mestrado em Ciências pela Universidade de São Paulo (2008). Tem experiência na área de Economia e Produção Agroindustrial, e atua como professora na Faculdade de Tecnologia de Piracicaba.

Fatores que impactam a comunicação em empresas familiares: revisão

PONTEDURA, Vanessa Moreno
FORMAGGIO, Filomena Maria

Resumo

O presente artigo estuda os fatores que impactam a comunicação efetiva em empresas familiares com a capacidade econômica cadastrada como sendo de pequeno porte. Os objetivos desse trabalho incidem sobre a contextualização de empresa familiar, inclusive no Brasil, abordando especificamente as empresas de pequeno porte (EPP). Outro objetivo desse estudo é conceituar a comunicação empresarial, compreendendo seus tipos, características e sua importância. E por fim descrever os principais fatores que influenciam os ruídos na comunicação em empresas familiares de pequeno porte. Para tanto, a metodologia utilizada baseou-se em apuração bibliográfica do tipo exploratória-descritiva em fontes secundárias. As empresas familiares são modelos de negócio com grande representatividade para a economia do Brasil, e para administrá-las é importante que exista uma gestão profissional. Os interesses do negócio são prioridades, sendo assim, é preciso distingui-los das relações familiares, as quais podem acabar se confundindo com o propósito da organização e levá-la ao insucesso empresarial. Esse estudo constatou que a comunicação efetiva nessas empresas é impactada, principalmente, por conflitos familiares mal resolvidos, em decorrência dos laços afetivos. Tais fatores influenciam o clima organizacional, a motivação dos funcionários, impactam a saúde financeira da empresa, dentre outras consequências para o negócio. Sendo assim, para sobreviver no mercado competitivo é necessário aperfeiçoamento contínuo da gestão, aplicação das funções básicas da administração e busca constante ao aperfeiçoamento e melhoria contínua da comunicação empresarial.

Palavras-chave: Empresas Familiares; Comunicação Empresarial; Pequenas Empresas.

Abstract

This article studies the factors that impact effective communication in family businesses with economic capacity registered as being small. The objectives of this work focus on the contextualization of family businesses, including in Brazil, specifically addressing small businesses. Another objective of this study is to conceptualize business communication, understanding its types, characteristics and importance. And finally, describe the main factors that influence communication noise in small family businesses. To this end, the methodology used was based on exploratory-descriptive bibliographic research in secondary sources. Family businesses are business models with great representation for the Brazilian economy, and to manage them it is important to have professional management. The interests of the business are priorities, therefore, it is necessary to distinguish them from family relationships, which can end up being confused with the purpose of the organization and lead to business failure. This study found that effective communication in these companies is impacted mainly by unresolved family conflicts due to emotional ties. Such factors influence the organizational climate, employee motivation, impact on the company's financial health, among other consequences for the business. Therefore, to survive in the competitive market it is necessary to continually improve the company's management, apply the basic functions of administration and constantly seek to perfect and continually improve business communication.

Keywords: Family Businesses; Business Communication; Small business.

Resumen

Este artículo estudia los factores que inciden en la comunicación efectiva en empresas familiares con capacidad económica registrada como pequeña. Los objetivos de este trabajo se centran en la contextualización de las empresas familiares, incluso en Brasil, abordando específicamente las pequeñas

empresas (EPP). Otro objetivo de este estudio es conceptualizar la comunicación empresarial, entendiendo sus tipos, características e importancia. Y por último, describir los principales factores que influyen en el ruido comunicativo en las pequeñas empresas familiares. Para ello, la metodología utilizada se basó en la investigación bibliográfica exploratoria-descriptiva en fuentes secundarias. Las empresas familiares son modelos de negocios con gran representatividad para la economía brasileña, y para gestionarlas es importante contar con una gestión profesional. Los intereses del negocio son prioritarios, por ello, es necesario distinguirlos de las relaciones familiares, que pueden acabar confundándose con el propósito de la organización y conducir al fracaso empresarial. Este estudio encontró que la comunicación efectiva en estas empresas se ve impactada principalmente por conflictos familiares no resueltos por vínculos afectivos. Dichos factores influyen en el clima organizacional, la motivación de los empleados, el impacto en la salud financiera de la empresa, entre otras consecuencias para el negocio. Por tanto, para sobrevivir en el competitivo mercado es necesario mejorar continuamente la gestión de la empresa, aplicar las funciones básicas de administración y buscar constantemente perfeccionar y mejorar continuamente la comunicación empresarial.

Palabras clave: Empresas Familiares; Comunicación Empresarial; Pequeños Negocios.

INTRODUÇÃO

A representatividade das empresas familiares para a economia do Brasil, segundo o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Sebrae (2021), é bem significativa, visto que as empresas com esse tipo de estrutura empregam cerca de 75% dos trabalhadores e são responsáveis por 65% do Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Tal percentual demonstra a importância desse modelo de empresa para o país, e para sobreviver no mercado competitivo, além de desenvolver planejamento estratégico, estas empresas necessitam adotar e fazer uso da comunicação empresarial, pois ela promove, desenvolve e mantém relações com todos os públicos de interesse da organização, sejam eles internos ou externos.

No entanto, ao pesquisar sobre o tema observa-se que, como característica nas empresas familiares, há forte tendência à resistência por parte dos membros da família em diversos aspectos para uma boa administração do empreendimento e adoção da comunicação efetiva, uma vez que os laços familiares acabam interferindo na gestão do negócio, deixando os interesses da empresa em segundo plano (Sebrae, 2022).

Nesse contexto, através da apuração bibliográfica do tipo exploratória-descritiva, este artigo se dispõe a analisar a importância da comunicação empresarial nas empresas familiares, com intuito de identificar quais são os principais fatores que impactam a comunicação em tais empresas.

Justifica-se a importância desse artigo, uma vez que poderá contribuir para o conhecimento do tema e que envolvem as empresas familiares, as quais cientes de sua importância para a economia do país e dos benefícios de uma comunicação efetiva, poderão contribuir à melhoria do desempenho dos trabalhadores, uma vez que amenizando os ruídos na comunicação, os funcionários poderão ter mais autonomia e motivação para desempenhar suas funções. Além disso, este artigo pretende contribuir, com a discussão sobre o tema, para possíveis empreendedores futuros e suas próprias empresas familiares.

Com esse propósito no tópico 1, o artigo trata sobre o contexto de empresa familiar, inclusive no Brasil, abordando suas características e ainda contextualiza a empresa de pequeno porte – EPP. O tópico 2, conceitua a comunicação empresarial, descrevendo seus tipos, características e sua importância para os negócios. A seguir, o tópico 3 discorre sobre os fatores que impactam a comunicação efetiva nas empresas familiares. E, o último tópico, com as considerações finais atesta que a comunicação empresarial é considerada uma ferramenta estratégica que, ao ser competitiva e inovadora, pode conquistar visibilidade no mercado, maiores retornos financeiros, bom relacionamento com seus públicos-alvo e, ainda, construir uma imagem única, distinta e sólida.

REVISÃO DE LITERATURA

1. Empresa Familiar

Segundo o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Sebrae (2021) e Belmonte e Freitas (2013), não há na literatura um consenso sobre a definição de empresa familiar. Essa afirmação é confirmada por Campos (2012), em sua dissertação de mestrado quando assegura que existem diversos conceitos de empresa familiar.

Para Oliveira (2010, p.18), “a empresa familiar é caracterizada pela sucessão do poder decisório de maneira hereditária a partir de uma ou mais famílias”, ou seja, quando os descendentes do fundador da organização assumem a direção e são responsáveis pelas tomadas de decisões da empresa.

Vale ressaltar Lakatos (1997), que afirma que quando o fundador de uma empresa não possui herdeiros ou os membros de uma família apenas investem o capital em uma empresa, ela não é considerada uma empresa familiar. Em outras palavras, para ser enquadrada como uma empresa familiar, o fator determinante é que ela subsista há mais de duas gerações, possuindo vínculo familiar como proprietário.

A empresa familiar surge com um empreendedor que possui um certo grau de conhecimento técnico e visão do negócio, decide investir e fundar uma empresa. Geralmente, esse empreendedor inicia seu negócio contando com mão de obra própria e/ou possui poucos empregados, ele recebe ainda apoio e assistência de seus familiares (Oliveira, 2010).

1.1 Empresa familiar no Brasil

A Agência EY e a Universidade de St. Gallen (2023), da Suíça realizaram um levantamento em 2023 denominado: Índice Global das Empresas Familiares¹. O índice é composto por 500 empresas familiares mundiais e estas companhias, juntas, somam uma receita de quase US\$ 8,02 bilhões e empregam mais de 24,5 milhões de pessoas.

De acordo com o Sebrae (2021), há registro de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e do próprio Sebrae, os quais afirmam que 90% das empresas no Brasil seguem o modelo familiar. Estas são responsáveis pela produção de 65% do Produto Interno Bruto (PIB) e dispõem de cerca de 75% da força de trabalho do país. Nota-se que as empresas familiares movem

¹ Cf. em: <https://familybusinessindex.com/>.

consideravelmente a economia do país, fato este que ressalta a importância dessas organizações para o desenvolvimento econômico do Brasil.

O Índice Global das Empresas Familiares (2023), mostra que empresas familiares brasileiras estão entre as maiores do mundo e, na Tabela 1, é possível visualizar todas as empresas familiares brasileiras que fazem parte do índice disponibilizado em 2023:

Tabela 1: Índice Global de Empresas Familiares

Classificação	Empresa	Fundação	Receitas (US\$)	Funcionários
17	JBS SA	1953	65,00	250.000
98	Banco Bradesco SA	1953	19,00	87.274
110	Marfrig Global Foods SA	1986	15,80	34.001
124	Metalúrgica Gerdau SA	1901	14,50	36.000
208	Companhia Siderúrgica Nacional	1941	8,90	24.660
215	Votorantim Participações SA	1918	8,70	35.536
280	Magazine Luiza SA	1957	6,50	51.000
369	Energisa SA	1905	5,00	15.648
377	Cosan Ltda.	1936	4,80	10.581
414	WEG SA	1961	4,40	36.987
434	Porto Seguro SA	1945	4,20	14.000

Fonte: Adaptado de: Agência Ey e Universidade de St. Gallen (2023).

Embora a Tabela 1 aponte empresas familiares brasileiras, vale ressaltar que elas estão em outro patamar, são empresas consolidadas no mercado, que desde a sua fundação investem em inovações e melhorias contínuas tanto nos processos, como em suas comunicações com todos os públicos de interesse.

Ao explanar sobre sua história, por exemplo, o Banco Bradesco S/A [s.d.] descreve que sua fundação foi na cidade de Marília, no interior de São Paulo, com o nome de Banco Brasileiro de Descontos e, como os bancos da época, atentavam somente para os grandes proprietários de terras, a estratégia inicial do Bradesco era a de atrair o pequeno comerciante, o funcionário público e pessoas de posses modestas. No decorrer de sua existência foram sendo inseridas melhorias em todos os processos, inclusive em tecnologia e canais de atendimento. Todas essas ações permitiram que o Bradesco se tornasse uma grande empresa e encerrasse o século sendo líder entre os Bancos privados do Brasil e essa liderança se expande até a atualidade, como pode ser observado na Tabela 1, na qual a empresa ocupa a 2ª posição.

No entanto, essa não é a realidade de todas as empresas familiares, principalmente em relação às empresas de pequeno porte, as quais são objeto de estudo desse artigo e sua contextualização discorrerá no próximo tópico.

1.1.1 Contextualizando a empresa de pequeno porte - EPP

De acordo com o artigo 3º da Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, é considerada uma empresa de pequeno porte - EPP aquela cuja receita bruta anual for superior a R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais) e igual ou inferior a R\$ 4.800.000,00 (quatro milhões e oitocentos mil reais); estes valores referem-se a receitas obtidas no mercado nacional. No caso de início de atividade no próprio ano-calendário, o limite da receita bruta anual será proporcional ao número de meses em que a empresa de pequeno porte houver exercido atividade, inclusive as frações de meses.

Sobre a apuração e recolhimento dos impostos e contribuições da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios o artigo 12 da Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, estabelece: “Fica instituído o Regime Especial Unificado de Arrecadação de Tributos e Contribuições devidos pelas Microempresas e Empresas de Pequeno Porte - Simples Nacional” (Brasil, 2006).

Em conformidade com a Agência Sebrae de Notícias – ASN (2022), no dia 5 de outubro é comemorado o Dia Nacional da Micro e Pequena Empresa (MPE) e o setor é responsável por 99% dos empreendimentos nacionais, ou seja, 18,5 milhões de pequenos negócios. O Gráfico 1 exhibe os totais por porte das empresas, esses empreendimentos também foram responsáveis por 72% dos empregos criados no país no primeiro semestre do ano de 2022 e 30% do Produto Interno Bruto (PIB).

Gráfico 1: Total de pequenos negócios no Brasil



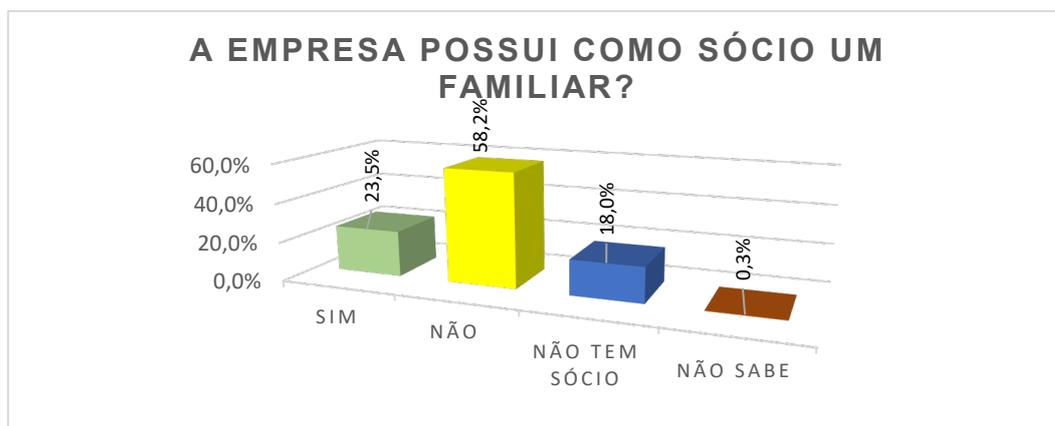
Fonte: Adaptado de ASN (2022).

O Gráfico 1 retrata que a maior representatividade é formada por Microempreendedores Individuais (MEI), os quais contam com 11,5 milhões de empreendedores com faturamento de até

R\$ 81 mil por ano; as microempresas (ME) somam 6 milhões e possuem faturamento de até R\$ 360 mil. Já as empresas de pequeno porte (EPP) – objeto de estudo desse artigo – o Brasil conta com 1 milhão de empresas com esse porte e elas podem faturar de R\$ 360 mil a R\$ 4,8 milhões de reais por ano (ASN, 2022).

A ASN (2020) assegura que a maior parte dos pequenos negócios no país é constituída por empresas familiares e o Gráfico 2 traz os resultados de uma pesquisa realizada pelo Sebrae em abril de 2017, com mais de 6.600 pequenos negócios familiares:

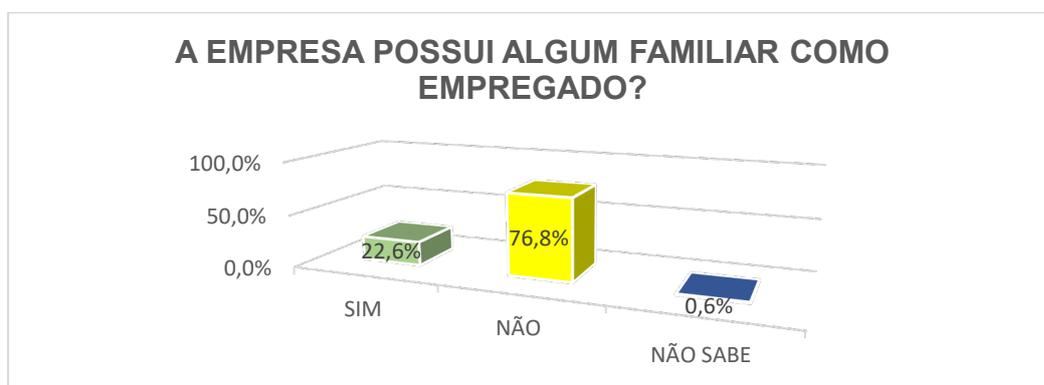
Gráfico 2: A empresa possui como sócio um familiar?



Fonte: Adaptado de Sebrae (2017).

Essa pesquisa mostrou que entre os entrevistados, 23,5% tinham como sócio um parente. Um outro questionamento dessa pesquisa foi sobre a empresa possuir parentes no quadro de funcionários, os dados constam no Gráfico 3:

Gráfico 3: A empresa possui algum familiar como empregado?



Fonte: Adaptado de Sebrae (2017).

O Gráfico 3 indica que pouco mais de 22% das empresas entrevistadas possuem algum empregado que é parente de algum dos sócios da empresa. Com base nesses dados a ASN (2020),

alerta que há advertência de especialistas em gestão sobre alguns fatores comunicacionais, além de sucessão, gestão de recursos, relações interpessoais, que podem influenciar negativamente a administração do negócio.

Tal informação é corroborada por Oliveira (2010) e Sebrae (2021), pois ambos afirmam que no Brasil, a média de vida dessas empresas é de 9 anos; apenas 30% passam para a segunda geração e somente 5% chegam na terceira geração. Diante desse contexto, esse impasse será tratado no tópico a seguir.

1.1.2 Características das empresas familiares brasileiras e os processos sucessórios

As empresas familiares brasileiras, possuem algumas características que do ponto de vista de Oliveira (2010, p. 20), são: forte valorização da confiança mútua, independentemente do vínculo familiar; laços afetivos extremamente fortes que influenciam os comportamentos, relacionamentos e decisões da empresa; valorização da antiguidade como atributo que supera a exigência de eficácia ou competência; exigência de dedicação; postura de austeridade, seja na forma de vestir, na administração dos gastos; expectativa de alta fidelidade; dificuldades na separação entre o que é emocional e racional e, jogos de poder, em que muitas vezes mais vale a habilidade política do que a capacidade administrativa.

Lakatos (1997), alega que quando menores e com laços familiares mais fortes, as vantagens e oportunidades da empresa familiar são menores. As relações familiares acabam se confundindo com os interesses da empresa o que pode levá-las ao insucesso empresarial ou, pior, seu encerramento.

Uma das falhas que pode levar ao encerramento da empresa é o processo de sucessão em empresas familiares, além disso afeta o negócio e interfere ainda no relacionamento familiar. Tal informação é corroborada pelo Sebrae [s.d], o qual afirma que 75% das empresas familiares no processo de sucessão acabam fechando as portas. De acordo com o Instituto Brasileiro de Governança Corporativa – IBGC (2020, p. 13)

Poucas organizações familiares passam da segunda geração, e uma parcela ainda menor consegue sobreviver à terceira geração ou às subsequentes. Alguns dos motivos dessa dificuldade na transição geracional estão usualmente ligados ao não alinhamento dos sócios em questões essenciais de negócios e sua estratégia, disputa de poder, necessidades imediatas de liquidez e de reinvestimento no negócio, ausência de líderes qualificados, ausência de regras e acordos formais, entre outros.

Para Oliveira (2010), as principais causas para o encerramento das atividades das empresas familiares são: concentração, por tradição, em um produto específico, do qual não conseguem sair quando o ciclo de vida deste produto entra em declínio; falta de planejamento estratégico estruturado; e, litígio de sucessão.

Os litígios de sucessão, potencializam os conflitos nas empresas familiares, mas há outros os quais o Sebrae (2022) coloca em destaque. São eles: os pais acreditam que todos os filhos devem trabalhar na empresa, mas às vezes estes não têm interesse e/ou aptidão; um dos filhos se sente desvalorizado em relação aos demais irmãos; membros da família que não trabalham na empresa querem opinar nos negócios; os filhos constituem suas próprias famílias, e os novos membros começam a opinar ou trabalhar na empresa; divergências de opiniões entre as diferentes gerações da família, sobre como administrar o negócio; parentes são escolhidos para trabalhar na empresa não pela competência, mas por causa do grau de parentesco; há divergência na escolha do sucessor do fundador da empresa; falta de comprometimento com o trabalho; e, falta de definição clara da hierarquia, gerando disputas de poder.

Todas as adversidades apontadas, podem levar uma empresa ao insucesso. Já dizia Lakatos (1997) que, alguns princípios devem ser levados em conta para que a empresa familiar possa sobreviver:

- Devem fazer parte e permanecer na empresa, familiares dedicados e esforçados, e nas palavras da autora não abrigar pessoas incompetentes, apesar de serem parentes;
- A direção da empresa necessita de profissionalismo, a dica da autora é mesclar os gerentes familiares com pessoas que não são da família, mas são capacitadas;
- Não devem aceitar pressão da família; e
- Seguir um rígido código de ética.

Sobre o rígido código de ética, ele serve para garantir o alinhamento na empresa e possibilita uma comunicação clara entre os membros da família. Os sócios entram em um acordo e podem ainda aderir a um protocolo ou constituição familiar². Tal atitude propicia melhoria nos relacionamentos o que é fundamental para a sobrevivência da organização (IBGC, 2019).

Há dois tipos de processo sucessório em empresas familiares, segundo Oliveira (2010), são eles:

² Protocolo ou constituição familiar é um documento celebrado entre os sócios e herdeiros de famílias empresárias a fim de transcrever expectativas, valores, princípios, regras e condutas da família em um instrumento formal. Nele, são definidos papéis e responsabilidades, direitos e obrigações, regras e sanções válidos para todos os que integram a família empresária (IBGC, 2019, p. 33).

1. Sucessão familiar, quando a administração passa para um membro da família, ou seja, herdeiro natural
2. Sucessão profissional, quando é realizada a contratação de um profissional especializado para administrar a empresa ou ainda quando a empresa já está profissionalizada e é necessário a troca de um ou mais executivos.

Oliveira (2010), afirma que em ambas as sucessões há vantagens e desvantagens. Da sucessão familiar, estão retratadas no Quadro 1:

Quadro 1: Vantagens e Desvantagens da Sucessão Familiar

Vantagens Sucessão Familiar	Desvantagens Sucessão Familiar
Continuidade no comando familiar na empresa	Disputa de poder entre membros da família
Processo decisório ágil com elevado grau de flexibilidade para implementação das ações	Dificuldade em demitir o executivo sucessor
Ter na sucessão uma pessoa com interesse societário na otimização de resultados atuais e futuros da empresa	Dificuldade em desempenhar diferentes papéis
Possibilidade de treinamento mais extenso e intenso	Não se aplica
Conhecimento mais profundo sobre o executivo sucessor	Não se aplica
Sistema de remuneração otimizado	Não se aplica
Maior poder de comando sobre o executivo sucessor	Não se aplica
Maior espírito de família	Não se aplica

Fonte: Adaptado de Oliveira (2010).

O Quadro 1 indica muitos pontos favoráveis às empresas familiares como, por exemplo, o comando único da organização, uma estrutura administrativa menor, a equipe tende a ser mais determinada e dedicada, entre outros fatores. Embora as vantagens salientadas sejam em maior quantidade se comparadas com as desvantagens, é preciso atenção especial, pois devido aos laços familiares os interesses individuais podem ser contrários em favor do bem do negócio (ASN, 2020).

Em conformidade com Oliveira (2010), a maioria das empresas familiares tende a preferir a sucessão familiar, no entanto, é preciso avaliar os prós e contras de ambas as sucessões e optar pelo processo mais adequado para cada tipo de organização.

Com relação a sucessão profissional, as vantagens e desvantagens, segundo Oliveira (2010), podem ser observadas no Quadro 2:

Quadro 2: Vantagens e Desvantagens da Sucessão Profissional

Vantagens Sucessão Profissional	Desvantagens Sucessão Profissional
Maior facilidade de recrutamento e seleção de um executivo com perfil desejado	Receber e incorporar estilos de filosofias de administração diferenciadas
Receber mais rápida e efetiva as experiências e conhecimentos de um executivo profissional	Maior possibilidade de perder o executivo
Receber novos estilos e filosofias de administração interessantes	Não se aplica
Maior flexibilidade para alterações de executivos	Não se aplica

Fonte: Adaptado de Oliveira (2010).

Assim como no Quadro 1, o Quadro 2 coloca em evidência a superioridade de vantagens em relação às desvantagens. A contratação de gestores profissionais especializados, além de contribuir para uma boa administração do negócio poderá proporcionar maior estabilidade e crescimento da empresa e melhorar a harmonia da família (ASN, 2020). No entanto, como já descrito anteriormente, quem irá decidir qual o melhor processo sucessório é o executivo, este deve efetuar uma análise ampla e real sobre a melhor opção para sua companhia (Oliveira, 2010).

Estabelecido o tipo de sucessão, é preciso muita conversa e alinhamento entre os integrantes da empresa, ou seja, com uma comunicação efetiva e clara bem como os papéis e atribuições de cada membro bem definidos, poderão ser evitadas possíveis disputas de competência, prevenidos conflitos organizacionais, os quais poderão incorrer em prejuízos tanto para os negócios como para a harmonia familiar (ASN, 2020).

À vista disso, em conformidade com Oliveira (2010), para alavancar a administração e obter melhores resultados nas empresas familiares, necessário se faz colocar em prática as quatro funções básicas da administração: planejamento, organização, direção e controle. Ou seja, para o bom funcionamento do empreendimento algumas atividades merecem atenção especial, tais como: investir na construção de planos de sucessão, aprimorar as práticas de gestão, adotar canais de comunicação, entre outras.

Sobre a comunicação, Chinem (2010) afirma que no mundo corporativo ela é essencial; as empresas necessitam de informações dos consumidores e do mercado para se ajustarem, possibilitando alcançar a excelência e a eficácia. Vale destacar Chiavenatto (2009, p. 61) quando lembra que “as organizações não podem existir nem operar sem comunicação; esta é a rede que integra e coordena todas as suas partes”. Nesse contexto, no próximo tópico, será abordada a comunicação empresarial, assunto principal da temática deste artigo.

2. COMUNICAÇÃO EMPRESARIAL

2.1 Conceituando a Comunicação Empresarial

Segundo Bueno (2009), há muitos termos utilizados como sendo sinônimos de Comunicação Empresarial, no entanto, são formas bem genéricas e sua real definição e compreensão é muito mais ampla, uma vez que para Bueno (2009, p. 3) a Comunicação Empresarial envolve um “(...) conjunto integrado de ações, estratégias, políticas e produtos planejados e desenvolvidos por uma organização para desenvolver a relação permanente e sistemática com todos os seus públicos de interesse”.

Tavares (2010), lembra que a comunicação empresarial é a comunicação da organização com os seus *stakeholders*³ e, quando se refere ao termo comunicação, seria em todas suas formas, sejam elas oral, escrita, gestual e eletrônica. E sobre organização, a definição deste autor, seria todo tipo de empresa.

Essa afirmação ganha força quando Chinem (2010, p. 31), ressalta que “a comunicação empresarial é o conjunto de métodos e técnicas de comunicação dentro de uma empresa dirigida aos públicos internos (funcionários) e externos (clientes, fornecedores e consumidores)”. Em outras palavras, a comunicação empresarial promove, desenvolve e mantém relações com todos os públicos de interesse, sejam eles internos (gerentes, empregados de todos os departamentos, enfim, os que fazem parte do quadro de funcionários da organização) ou externos (fornecedores, clientes, entre outros) e, para isso é necessário um *mix* de atividades e técnicas para que a informação seja disseminada.

Para melhor compreensão, a seguir serão apresentados os tipos e as características das áreas de comunicação que integram a comunicação empresarial.

2.2 Tipos e Características da Comunicação Empresarial

Bueno (2009), afirma que a terminologia mais utilizada como sendo sinônimo de comunicação empresarial, é Comunicação Organizacional, por tratar de forma mais abrangente as áreas relacionadas à Comunicação Empresarial. Porém, ao mencionar o termo “Comunicação Empresarial” este pode remeter ao entendimento da comunicação utilizada nas empresas dos setores públicos e privados, deixando de fora outros tipos de organizações como, por exemplo,

³ Termo criado para designar todas pessoas ou empresas que de alguma maneira são influenciadas pelas ações de uma organização (CHINEM, 2010, p. 101).

ONGs, autarquias. As expressões, comunicação empresarial e comunicação organizacional, “são terminologias usadas indistintamente no Brasil para designar todo o trabalho de comunicação levado a efeito pelas organizações em geral” (Kunsch, 2003, p. 149).

Na Comunicação Empresarial existe a comunicação interna – voltada aos funcionários; e a comunicação externa – responsável pela imagem, credibilidade, pelos produtos e serviços oferecidos e consumidos.

A comunicação interna é a comunicação entre a empresa e seu público interno, ou seja, a comunicação entre os departamentos, entre as pessoas que compõem os departamentos, a comunicação entre os líderes, a comunicação entre líderes e liderados, e ainda a comunicação com os diretores/executivos da empresa sendo, nesse sentido, a base de qualquer processo administrativo (Tavares, 2010)

Tem-se observado muitas mudanças de comportamento por parte das empresas, por exemplo, quando se trata de comunicação interna se comparada há décadas passadas, os funcionários hoje, recebem títulos de “cliente interno” ou “público interno”; as ouvidorias internas colhem informações do seu público interno para melhorias e desenvolvimento; os *house organs* (jornais e revistas corporativas) são editados de forma que desperte o interesse do público interno e atenda suas necessidades (Bueno, 2009; Tavares, 2010).

A primeira vertente da comunicação externa (responsável pela imagem, credibilidade, pelos produtos e serviços oferecidos e consumidos) trata sobre como uma empresa poderia desenvolver no público a imagem de boa reputação; ela precisaria construir sua administração através de sua história, dos seus valores, enfim, pela sua voz e imagem institucional ou, melhor conceituando, uma comunicação institucional. Em outras palavras, a comunicação institucional é a forma de elevar a reputação da empresa de maneira tal que ela fique “registrada” na memória do público. Tanto é que, anos mais tarde, a comunicação institucional foi identificada como um dos componentes-chave para a comunicação integrada – que será abordada adiante (Marcondes Neto, 2010).

Nesse sentido, Tavares (2010, p. 64), a define como:

[...] é o conjunto de ações que visa divulgar informações aos públicos de interesse sobre os objetivos, as práticas, as políticas e ações institucionais da organização. O objetivo principal é construir, manter ou melhorar a imagem da empresa no mercado perante esses públicos.

A comunicação corporativa, segundo a Associação Brasileira de Comunicação Empresarial - ABERJE (2017), pode ser confundida com outros termos:

- Mídia espontânea: composta pela imprensa (jornais, revistas, rádio etc.), e por todos os tipos de compartilhamentos, comentários e avaliações (nas redes sociais), pela mídia paga e a mídia proprietária (sites, blogs, apps etc.)
- Assessoria de imprensa: com nova denominação “relações com a mídia” (RM), compreende a comunicação com influenciadores, com investidores, com clientes e com a comunicação interna.

A comunicação corporativa está diretamente relacionada a toda a comunicação institucional da marca, dentro e fora da empresa, envolvendo os *stakeholders*. E o que caracteriza a comunicação corporativa é seu objetivo único de melhorar a visibilidade e a reputação da marca para seus públicos-alvo (ABERJE, 2017).

De acordo com Bueno (2009), a comunicação também está ligada a essência do negócio, assim, é preciso dar atenção à chamada comunicação mercadológica e/ou *marketing* cuja função é a divulgação e lançamento da marca, ou seja, um *mix* de ações desenvolvidas em conjunto a fim de atingir um objetivo: aumentar as vendas e receitas.

A estratégia de *marketing* em conformidade com Chinem (2010), permite satisfazer as necessidades de consumo dos clientes e ainda cria novas necessidades, proporcionando maiores lucros para a empresa a qual poderá expandir-se no mercado competitivo.

A comunicação integrada é pensada por Kunsch (2003, p. 150) da seguinte forma:

Uma filosofia que direciona a convergência das diversas áreas, permitindo uma atuação sinérgica. Pressupõe uma junção da comunicação institucional, da comunicação mercadológica, da comunicação interna e da comunicação administrativa, que formam o *mix*, o composto da comunicação organizacional.

A comunicação integrada envolve um planejamento em conjunto, em que as tomadas de decisões devem ser compartilhadas com todos, pois a imagem da organização deve ser única, independente do público com que ela se relaciona. A comunicação integrada promove a sinergia no ambiente corporativo, ou seja, uma colaboração coletiva onde todos trabalham com um objetivo em comum e com maior potencial.

Em conformidade com Tavares (2010), a comunicação integrada consiste no esforço de trabalhar de forma planejada e integrada todas as áreas de comunicação da empresa, ou seja, a comunicação interna deve estar em sintonia com a comunicação institucional que precisa estar em harmonia com o *marketing* e essa, por sua vez, com a comunicação interna. Enfim, todos os *stakeholders* da organização devem participar do processo de comunicação.

Portanto, a Comunicação Empresarial não deve visar apenas a lucratividade, uma vez que as organizações possuem outras atribuições que envolvem todo e qualquer tipo de relacionamento com seu público de interesse.

A seguir, será abordada a importância da comunicação empresarial e os benefícios que podem proporcionar à organização.

2.3 Importância da Comunicação Empresarial

A comunicação empresarial, a partir dos anos 1990, passou a ser considerada estratégica, ou seja, voltada exclusivamente ao mundo empresarial. Desta forma, para alcançar melhores resultados finais, os profissionais responsáveis pela comunicação necessitavam possuir uma visão holística do empreendimento, fator este que permite que a organização se torne competitiva, pois apresentando inovações conquista-se visibilidade no mercado e, conseqüentemente, maior lucratividade (Bueno, 2009; Chinem, 2010; Tavares, 2010).

Vale lembrar que, em conformidade com Bueno (2009, p. 6):

A comunicação é o espelho da cultura empresarial e reflete, necessariamente, os valores das organizações. Se eles caminham para valorizar o profissionalismo, a transparência, a responsabilidade social e a participação, a comunicação se orienta no mesmo sentido.

Trabalhando a comunicação empresarial de forma planejada, de acordo com Tavares (2010), os resultados tendem a apresentar fatores positivos como: motivação e integração dos funcionários; promoção de um bom clima organizacional, agilidade nas tomadas de decisões, proatividade e o desenvolvimento de uma boa imagem empresarial. Além disso, uma comunicação interna bem planejada proporciona um ambiente saudável, aumenta a qualidade dos produtos e serviços, reforça a segurança e garante ganhos de produtividade, tais benefícios demonstram a importância da comunicação interna (Chinem, 2010).

É impossível falar sobre comunicação interna sem falar de *endomarketing*⁴. Este utiliza a comunicação como ferramenta, ou seja, um complementa o outro. No entanto, pode haver a comunicação interna sem o programa de *endomarketing*, o que vai diferenciar é a qualidade da comunicação. O *endomarketing* torna possível uma comunicação interna eficiente e planejada, isso gera motivação nos funcionários, fator esse que é fundamental para os resultados finais, e o objetivo

⁴ Conceito criado por Saul Faingaus Bekin e significa “*Endomarketing* são ações de marketing eticamente dirigidas ao público interno (funcionários) das organizações e empresas focadas no lucro, das organizações não lucrativas e governamentais e das do terceiro setor, observando condutas de responsabilidade comunitária e ambiental” (BEKIN, 2004, p. XVII *apud* TAVARES, 2010, p. 18).

da ferramenta é realmente esse: desenvolver ações motivadoras e comunicacionais atraindo novos talentos com perfis de qualidade compatíveis com os objetivos da empresa (Tavares, 2010).

Como descrito no início desse tópico, as áreas de comunicação empresarial estão diretamente relacionadas com a cultura organizacional, ou seja, há influência em todo o ambiente corporativo. Sendo assim, a comunicação empresarial integrada torna-se indispensável no ambiente corporativo, uma vez que a sobrevivência no mercado competitivo sugere aperfeiçoamento contínuo e qualificação da sua comunicação (Bueno, 2009).

Rego (1986, p. 14), já dizia que “os bons administradores são aqueles que conseguem produzir significações, tanto quanto dinheiro”, e completa: “as significações são o amálgama da comunicação”. Com base nessa afirmação, faz-se menção à empresa familiar Magazine Luiza S.A, a qual obteve destaque no Índice Global de Empresas Familiares 2023, descrito no tópico 1.1. no site oficial da empresa ao descrever sua história, que finaliza com: “Inovação e **comunicação transparente** sempre nortearam os princípios da Companhia” (Magazine Luiza, [s.d.] – **grifo nosso**).

3. FATORES QUE IMPACTAM E COMPROMETEM A COMUNICAÇÃO EFICIENTE

Assim como qualquer outro negócio, a gestão da empresa familiar baseia-se em planejamento, organização, execução e controle dos resultados. O Sebrae (2022), afirma que “a maioria dos problemas na empresa familiar envolve disputas por dinheiro ou poder e está diretamente ligada à relação entre os membros da família” e apresenta algumas características de tais empresas, como: centralização na tomada de decisões as quais, na maioria das vezes, são baseadas na emoção; os problemas do negócio influenciam no convívio familiar; possuem dificuldade na resolução de conflitos entre os próprios membros da família, ou seja, os desafios para as empresas familiares parecem maiores, pois há um agravante: os laços familiares.

Chinem (2010, p. 20), cita um estudo americano, no qual foi observado que “90% dos problemas das empresas são responsáveis pela ausência da comunicação e que à medida que o tempo vai passando, a predisposição desse índice é de se elevar ainda mais”, isto é, os problemas relacionados com a comunicação são a base dos grandes conflitos nas organizações, e quanto mais são ignorados, a tendência é a de que cresçam cada vez mais.

No caso das empresas familiares, para o Sebrae (2022), os conflitos no núcleo familiar, criam um clima organizacional ruim, nada favorável ao ambiente corporativo o que acaba afetando a qualidade de vida dos empregados. Essa disputa por poder, coloca as necessidades do negócio

em segundo plano, agrava os conflitos nos encontros familiares e influencia o estado motivacional dos empregados por conta do clima organizacional desfavorável (Chiavenato, 2009).

Como descrito anteriormente, a Comunicação Empresarial é uma somatória de todas as atividades de comunicação de uma empresa, e para se obter resultados satisfatórios na comunicação como planejamento estratégico, é preciso que as comunicações interna e externa estejam alinhadas, contribuindo para uma comunicação efetiva na organização (Chinem, 2010). No entanto, ao que se observa as empresas aplicam mais seus esforços na comunicação externa, pois acreditam que ela é responsável pelo sucesso da organização, mas este autor (2010, p. 44) alerta que “o perigo de investir mais na comunicação externa é deixar o colaborador em segundo plano e minar o sentimento de parceria com a empresa”.

Vale ressaltar que quando há comprovação de que um funcionário não é valorizado todos perdem: a empresa por passar uma imagem ruim ao seu público interno e, este, por sua vez, descontente e desmotivado não desempenhará sua função com excelência (Tavares, 2010). Logo, os produtos ou serviços desenvolvidos por ele não serão de boa qualidade, já que o funcionário poderá “descontar” sua frustração na equipe, o que tenderá a gerar desarmonia no clima organizacional ou, pior, descontar no cliente e aqui referenciamos novamente Chinem (2010, p. 64) quando aponta que “um cliente insatisfeito leva outros seis a pensarem da mesma maneira que ele a respeito da companhia” ou, ainda, a organização poderá perder um profissional talentoso com a saída dele da empresa.

Nesse contexto, o Sebrae (*s.d.*) destaca que nas empresas familiares, em certa medida, os profissionais que não fazem parte da família não se sentem reconhecidos, pois como os cargos de chefia geralmente são ocupados por familiares, não há expectativa de crescimento e sentem que não são ouvidos; isso causa desestímulo dos funcionários que, muitas vezes deixam a organização. Esses profissionais poderiam contribuir para o crescimento do negócio, já que possuem visão imparcial da empresa.

O Sebrae (2022) elenca, também, causas dos conflitos nas empresas familiares e afirma que uma parte significativa desses conflitos é gerada por ruídos e/ou ausência de comunicação na organização. Desta forma, para amenizar os problemas, a empresa familiar necessita deixar claro seus princípios e estes devem ser compreendidos por todos. É preciso igualmente clareza sobre o propósito do empreendimento, adotar boas políticas de compartilhamento de dados e transparência, planejamento do programa de sucessão, valorização de talentos externos, buscar resultado ganha-ganha entre as opiniões de gerações diferentes, os encontros familiares devem proporcionar bem-estar e, o mais importante: investir em melhoria contínua da comunicação empresarial como um todo.

Todas as práticas descritas no parágrafo anterior, fazem parte do sistema de governança corporativa, que de acordo com o Instituto Brasileiro de Governança Corporativa - IBGC (2019), refere-se ao sistema que orienta, supervisiona e motiva empresas e outras organizações. Ainda em conformidade com IBGC (2019), a governança corporativa, compreende as interações entre sócios, conselhos de administração, diretoria, órgãos de fiscalização e controle, bem como outras partes interessadas.

Nas empresas familiares, a governança corporativa abrange uma gama de práticas, tanto formais quanto informais, que moldam o desempenho da empresa, e é benéfico ter uma compreensão clara dessas práticas e de como a governança corporativa pode contribuir para o crescimento tanto da empresa quanto da família (IBGC, 2019). As grandes empresas familiares, contemplam essa realidade, no entanto, quando a temática envolve as empresas familiares de **pequeno** porte, há um longo caminho a ser percorrido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As empresas familiares movem consideravelmente a economia do país, se bem administradas e com uma comunicação efetiva, poderão obter maiores retornos financeiros, visto que a comunicação empresarial engloba todos os públicos de interesse da organização. No entanto, alguns fatores como, por exemplo, a sucessão nas empresas familiares, podem causar disputa de poder entre os gestores afetando os públicos-alvo da organização.

Os objetivos deste artigo foram contextualizar a empresa familiar abordando em específico, empresas de pequeno porte – EPP; foi possível conhecer suas características e como funcionam os processos sucessórios. Outro objetivo desse trabalho foi conceituar a comunicação empresarial, compreender seus tipos, suas características e ainda reconhecer sua importância no ambiente corporativo. Por fim, esse estudo foi capaz de elencar os principais fatores que influenciam os ruídos na comunicação em empresas familiares.

Ao pesquisar sobre o tema, observou-se que como característica nas empresas familiares, há forte tendência à resistência por parte dos membros da família em diversos aspectos para uma boa administração do empreendimento e adoção da comunicação efetiva, uma vez que os laços familiares acabam interferindo na gestão do negócio, deixando os interesses da empresa em segundo plano.

Mediante apuração bibliográfica do tipo exploratória-descritiva em fontes secundárias, que se dispôs a analisar a importância da comunicação empresarial nas empresas familiares de pequeno porte, constatou-se que a comunicação efetiva nessas empresas é impactada principalmente por

conflitos familiares mal resolvidos em decorrência dos laços afetivos, isto influencia no clima organizacional e traz inúmeras consequências para o negócio.

Algumas delimitações influenciaram o desenvolvimento desse artigo, dentre elas: o tema é amplo e abrange uma vasta ramificação, porém há certa escassez de recursos atualizados, dentre outros fatos os quais não contribuíram para que todos os aspectos fossem contemplados.

Diante desse contexto, recomenda-se um estudo ampliado do tema que proporcione outras análises e de um ponto de vista específico que esse trabalho não conseguiu contemplar, ou, quem sabe, a utilização de outras metodologias para a investigação de tal temática.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EY e a Universidade de St. Gallen. Índice global de empresas familiares da EY e Universidade de St. Gallen. Agência EY e Universidade de St. Gallen, 2023. Disponível em: <https://familybusinessindex.com/>. Acesso em 17 Mar. 2023.

AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS. Dia da Micro e Pequena Empresa evidencia a importância dos empreendedores para o Brasil. Agência Sebrae de Notícias, GO, 04 out. 2022. Disponível em: <https://agenciasebrae.com.br/brasil-empendedor/dia-da-micro-e-pequena-empresa-evidencia-a-importancia-dos-empresarios-para-o-brasil/#:~:text=Em%20mais%20um%20Dia%20Nacional,5%20milh%C3%B5es%20de%20pequenos%20neg%C3%B3cios>. Acesso em: 16 Mai. 2023.

AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS. Cinco dicas para administrar uma empresa familiar. Agência Sebrae de Notícias, GO, 08 jan. 2020. Disponível em: <https://agenciasebrae.com.br/brasil-empendedor/cinco-dicas-para-administrar-uma-empresa-familiar/>. Acesso em: 2 Jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Comunicação Empresarial. Comunicação Corporativa, afinal o que isso significa? *ABERJE*, São Paulo, mai. 2017. Disponível em: <https://www.aberje.com.br/?coluna=comunicacao-corporativa-afinal-o-que-isso-significa>. Acesso em: 20 Mar. 2023.

BANCO BRADESCO S/A. Nossa história. Bradesco, São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <https://www.bradesco.com.br/o-bradesco/historia/nossa-historia/>. Acesso em: 2 Jun. 2023.

BELMONTE, V. A. B.; FREITAS, W. R. S. EMPRESAS FAMILIARES E A PROFSSIONALIZAÇÃO DA GESTÃO: estudo de casos em empresas paulistas. *Revista de Administração da UFSM*, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 71-90, 2013.

BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. *Metodologia Básica para Elaboração de Trabalhos de Conclusão de Cursos (TCC): ênfase na elaboração de TDD de pós-graduação Lato Sensu*. São Paulo: Atlas, 2011.

BRASIL. Lei complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006. Institui o Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte; altera dispositivos das Leis no 8.212 e 8.213, ambas de 24 de julho de 1991, da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 130-151

Fatores que impactam a comunicação em empresas familiares: revisão

PONTEDEIRA, Vanessa Moreno; FORMAGGIO, Filomena Maria

Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, da Lei no 10.189, de 14 de fevereiro de 2001, da Lei Complementar no 63, de 11 de janeiro de 1990; e revoga as Leis no 9.317, de 5 de dezembro de 1996, e 9.841, de 5 de outubro de 1999. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 dez. 2006, republicado em 31 jan. 2009, republicado em 31 jan. 2012 e republicado em 6 mar 2012. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp123.htm. Acesso em: 16 Mai. 2023.

BUENO, Wilson da Costa. *Comunicação empresarial: políticas e estratégias*. São Paulo: Saraiva, 2009.

CAMPOS, Daniela Pedrosa. *ESTILO DE GESTÃO E PROFISSIONALIZAÇÃO: um estudo de caso em uma empresa familiar*. 2012. Dissertação de mestrado. FNH. Disponível em:

<https://mestrado.unihorizontes.br/wp-content/uploads/2012/08/DANIELA-PEDROSO-CAMPOS.pdf>. Acesso em: 14 Mar. 2023.

CHIAVENATO, Idalberto. *Recursos Humanos: o capital humano das organizações*. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

CHINEM, Rivaldo. *Introdução à comunicação empresarial*. São Paulo: Saraiva, 2010.

INSTITUTO Brasileiro de Governança Corporativa – IBGC. Governança em empresas familiares: evidências brasileiras. Instituto Brasileiro de Governança Corporativa – IBGC. São Paulo, SP, IBGC, 2019. (Série IBGC Pesquisa).

INSTITUTO Brasileiro de Governança Corporativa. Sucessão em Empresas Familiares. Instituto Brasileiro de Governança Corporativa – IBGC. São Paulo, SP: Instituto Brasileiro de Governança Corporativa – IBGC, 2020.

KUNSCH, Maria Margarida Krohling. *Planejamento de relações públicas na comunicação integrada*. 5. Ed. São Paulo: Summus, 2003.

LAKATOS, Eva Maria. *Sociologia da Administração*. São Paulo: Atlas, 1997.

MAGAZINE Luiza. Nossa história. Magazine Luiza, SP, [s.d]. Disponível em:

<https://ri.magazineluiza.com.br/ShowCanal/Nossa-historia?maMhsoEQNCOOr/Wxrb98OXA==>. Acesso em: 23 Mar. 2023.

MARCONDES NETO, Manoel. O que é comunicação institucional? *Observatório da Comunicação Institucional*, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:

<https://observatoriodacomunicacao.org.br/comunicacao-institucional/>. Acesso em: 20 Mar. 2023.

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. *Empresa familiar: como fortalecer o empreendimento e otimizar o processo sucessório*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

REGO, Francisco Gaudêncio Torquato do. *Comunicação Empresarial / Comunicação Institucional: conceitos, estratégias, sistemas, estrutura, planejamento e técnicas*. São Paulo: Summus, 1986.

SEBRAE. Empresas familiares: resolvendo conflitos com soluções eficientes. Sebrae, 29 nov. 2022. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/artigoshome/como->

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 14, n. 1, jan./jun. 2024. P. 130-151

Fatores que impactam a comunicação em empresas familiares: revisão

PONTEDEIRA, Vanessa Moreno; FORMAGGIO, Filomena Maria

resolver-conflitos-em-empresas-familiares,48e7b08847c9a510VgnVCM1000004c00210aRCRD.
Acesso em: 04 Abr. 2023.

SEBRAE. Pais e filhos: os desafios e valores entre gerações de empreendedores. Sebrae, MS, 27 set. 2021. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ms/artigos/pais-e-filhos-os-desafios-e-valores-entre-geracoes-de-empresendedores,f646cf80c782c710VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 14 Mar. 2023.

SEBRAE. Guia completo sobre a gestão de empresas familiares. Sebrae, PE, [s.d.]. Disponível em:

<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Arquivos/Guia%20sobre%20gesta%CC%83o%20de%20empresas%20familiares.pdf>. Acesso em: 14 Mar. 2023.

SEBRAE. Pesquisa Empresas familiares. Sebrae, abr. 2017. Disponível em:

https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1a5d95208c89363622e79ce58427f2dc/%24File/7599.pdf. Acesso em: 17 Mai. 2023.

TAVARES, Maurício. *Comunicação empresarial e planos de comunicação*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

PONTEDURA, Vanessa Moreno. É graduada em Tecnologia em Gestão Empresarial pela Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”.

FORMAGGIO, Filomena Maria. Possui graduação em Letras pela Universidade Metodista de Piracicaba (1985), graduação em Pedagogia pela Faculdade de Ciências e Letras Plínio Augusto do Amaral (1990), graduação incompleta em Comunicação Social Publicidade e Propaganda pela Universidade Metodista de Piracicaba (1980), mestrado em Educação - Filosofia da Educação- pela Universidade Metodista de Piracicaba (1999) e doutorado em Educação pela Universidade Metodista de Piracicaba (2004). Atualmente é professora, categoria Plena na FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PIRACICABA do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Métodos e Técnicas de Ensino, atuando principalmente nos seguintes temas: comunicação, leitura, educação, formação de professores, ensino e aprendizagem, história de leitura e metodologia científica. Coordena atualmente a revista "Bioenergia em Revista: Diálogos" da FATEC Piracicaba, do Centro Paula Souza-SP, Projeto de Extensão em Comunicação Empresarial Integrada da FATEC Piracicaba e Simpósio de Pesquisa do curso de Tecnologia em Gestão Empresarial.