

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**Estudo de Aplicação de Mucilagem de Chia na Supressão
de Poeira em Vagões de Minério de Ferro e da Utilização de
Óleos de Chia na Produção de Biodiesel**

**Study on the Application of Chia Mucilage in the Suppression of Dust in Iron
Ore Wagons and the Use of Chia Oils in the Production of Biodiesel**

Lucas de Almeida Gama

Tese de Doutorado em Química

**Vitória
2022**

Lucas de Almeida Gama

Estudo de Aplicação de Mucilagem de Chia na Supressão de Poeira em Vagões de Minério de Ferro e da Utilização de Óleos de Chia na Produção de Biodiesel

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Química, na área de Elementos traço e Química Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eloi Alves da Silva Filho

**VITÓRIA
2022**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

G184e Gama, Lucas de Almeida, 1990-
Estudo de aplicação de mucilagem de Chia na supressão de
poeira em vagões de minério de ferro e da utilização de óleos de
Chia na produção de biodiesel / Lucas de Almeida Gama. - 2022.
111 f. : il.

Orientador: Eloi Alves da Silva Filho.
Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Produção conjunta. 2. Aplicações industriais. 3. Chia. 4.
Supressão de poeira. 5. Biodiesel. I. Silva Filho, Eloi Alves da.
II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Exatas. III. Título.

CDU: 54

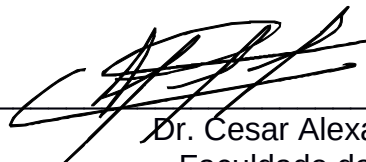
Estudo de Aplicação de Mucilagem de Chia na Supressão de Poeira em
Vagões de Minério de Ferro e da Utilização de Óleos de Chia na
Produção de Biodiesel

Lucas de Almeida Gama

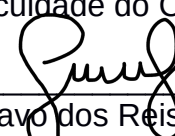
Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências
Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a
obtenção do Grau de Doutor em Química.

Aprovada em 08/03/2022 por:

Prof. Dr. Eloi Alves da Silva Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Dr. Cesar Alexandro da Silva
Faculdade do Centro Leste



Dr. Gustavo dos Reis Gonçalves
GRG Soluções

Dra. Natália de Aquino Portela Moncioso
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Marcos Benedito José Geraldo de Freitas
Universidade Federal do Espírito Santo

Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, março de 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
ELOI ALVES DA SILVA FILHO - SIAPE 297897
Departamento de Química - DQ/CCE
Em 15/03/2022 às 23:01

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/378925?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
NATALIA DE AQUINO PORTELA MONCIOSO - SIAPE 1350012
Diretoria de Desenvolvimento Pedagógico - DDP/PROGRAD
Em 21/03/2022 às 09:24

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/382152?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
MARCOS BENEDITO JOSE GERALDO DE FREITAS - SIAPE 1304876
Departamento de Química - DQ/CCE
Em 31/03/2022 às 10:18

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/392120?tipoArquivo=O>

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tornar tudo possível.

À Ana Cristina Tenes Cozer, por todo seu apoio e por me fazer pai do nosso Rafael.

Aos meus pais, Euda e Luiz, e meus irmãos, Leonardo e Victor, por acreditarem tanto em mim.

À minha vó, Edith, por me fazer sempre presente em suas orações.

Aos meus amigos e colegas de UFES que sempre me auxiliaram e são diretamente responsáveis para que conseguisse finalizar esse Doutorado.

Ao Prof. Dr. Eloi, por ter confiado em mim e ter dado liberdade na condução dessa tese.

À Carla e Carol por me ajudarem nos experimentos e nas discussões.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à Fundação de Amparo e Pesquisa do Espírito Santo – FAPES pelas bolsas concedidas.

À banca examinadora composta por Prof. Dr. Marcos Benedito, Prof. Dr. Cesar Alexandro, Dra. Natália Portela e Dr. Gustavo Gonçalves pelo aceite em participar da avaliação desta tese.

Ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Espírito Santo pela ajuda e contribuições necessárias para concluir este doutorado.

“Ninguém nunca fez a diferença sendo como todo mundo. Seja diferente, pense e aja fora da sua zona de conforto!”

Felipe Daniel Titto

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plantação de chia em destaque a floração da chia. Fonte: Montagem do próprio autor	15
Figura 2. a. Imagem microscópica de corte longitudinal da “semente” de chia. C: cotilédones; E: endosperma; P: pericarpo; T: Casca ou Tegumento b. Ampliação do pericarpo. c: cutícula; exo: exosperma; meso: mesosperma; lc: camada de células ósseas; endo: endosperma. Fonte: Adaptado de CAPITANI <i>et. al.</i> (2013) ⁷	16
Figura 3. Sementes de chia de diferentes tonalidades. Fonte: Adaptado de ZETTEL e HITZMANN (2018) ¹²	17
Figura 4. Mucilagem de chia aderida as sementes. Fonte: NILO (2018) ²⁸	20
Figura 5. a. Corte longitudinal da semente de chia hidratada (em azul: filamentos da mucilagem). b. Ampliação do epicarpo. Fonte: Adaptado de HERNANDEZ (2012). ⁵²⁰	
Figura 6. Estrutura química dos monossacarídeos (I - β -D-xilose, II - α -D-glucose, III - ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico e IV – tetrassacarídeo da mucilagem de chia) e da mucilagem (V). Fonte: Adaptada de LOPES (2017) ²⁴	21
Figura 7. Participação das principais substâncias metálicas no valor total da produção mineral brasileira do ano de 2019. Fonte: Adaptado de ANM (2020) ³	28
Figura 8. Exportações de substâncias metálicas para os 5 principais clientes brasileiros e a composição centesimal das mesmas sob o valor total de exportações. Fonte: ANM (2020) ³	29
Figura 9. Diagrama dos tipos de empilhamento de minério. Fonte: Adaptado de SLOSS (2014) ¹²	30
Figura 10. Vagões do tipo gôndola. Fonte: TRENTIN (2015) ¹⁵	31
Figura 11. Representação gráfica da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM). Fonte: BRASIL (2019) ¹⁶	32
Figura 12. Comparação entre os tamanhos de partículas MP2,5 e PM10 com o fio de cabelo. Fonte: EPA (2019) ¹⁹	34
Figura 13. Frações e locais de retenção de partículas no corpo humano. Fonte: GUARIEIRO <i>et al.</i> (2011) ²⁵	34
Figura 14. Supressão primária (η_1) e secundária (η_2) agindo sobre a emissão de pó. Fonte: SARTIM <i>et al.</i> (2015) ³²	37
Figura 15. Aplicação de solução polimérica em vagões de minério. Em destaque a	

camada de supressor de poeira sobre o vagão de minério de ferro. Fonte: Adaptado de Borba (2017) ¹⁴	39
Figura 16. Aplicação de solução polimérica em pilhas de minério e em vias. Fonte: Adaptado de BORBA (2017) ¹⁴ e TAVARES (2015) ¹⁰	39
Figura 17. Aplicação dos surfactantes Nalco para supressão de pó em indústrias do setor de mineração. Fonte: Adaptado de NALCO (2010) ²⁷	40
Figura 18. Região de descarga do Alimentador Vibratório. (a) sem uso de supressão de pó, (b) com supressão de pó. Fonte: SARTIM <i>et al.</i> (2015) ³²	41
Figura 19. Região de transferência de correia transportadora (a) sem uso de supressão de pó, (b) com supressão de pó. Fonte: SARTIM <i>et al.</i> (2015) ³²	41
Figura 20. Região de transferência de correia transportadora. (a) sem uso de supressão de pó, (b) com supressão de pó. Fonte: SARTIM <i>et al.</i> (2015) ³²	42
Figura 21. Reação de produção de biodiesel a partir da transesterificação de triglicerídeos	49
Figura 22. Evolução anual da utilização de matérias-primas oleosas na produção do biodiesel brasileiro. Fonte: Adaptado de ANP (2021) ¹¹	50
Figura 23. Evolução anual da produção brasileira de biodiesel (B100). Fonte: Adaptado de ANP (2021) ¹¹	53
Figura 24. Evolução anual da produção brasileira de biodiesel (B100). Fonte: Adaptado de ANP (2021) ¹¹	54
Figura 25. Estrutura do gel heteropolissacarídeo evidenciando as estruturas dos monômeros β -D-xilose (preto), α -D-glicose (vermelho) e ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico (azul). Fonte: Adaptado de LOPES (2017) ²⁷	62
Figura 26. Equipamento de túnel de vento. 1. Controlador do motor de ventilador industrial (Modelo AVR-F 500/20, rotação máxima 3540 rpm, 7 hélices arredondadas de 15x6 cm, OTAM®); 2. Retificador de fluxo de ventos; 3. Tubo de Pitot; 4. Manômetro; 5. Sistema de aspersão de água; 6. Lâmpadas incandescentes; 7. Protótipo de vagão de minério do tipo gôndola, em escala 1:20 (43,0 x 11,5 x 10,0 cm); 8. Módulo de vibração.	64
Figura 27. A - Protótipo de vagão de minério do tipo gôndola (3,6cm para preenchimento de minério, 3,8 cm preenchido com poliestireno expandido e 2,6cm de base). B – Protótipo preenchido com minério de ferro.	65
Figura 28. Termograma DSC da mucilagem de chia.	67
Figura 29. Espectro de FTIR da mucilagem de chia.	68

Figura 30. Avaliação da perda percentual de massa durante os testes.	70
Figura 31. Detalhes da espessura do filme formada sobre o minério, após teste e secagem.....	71
Figura 32. A – Sistema com mucilagem de concentração de 0,5% (m/m) após a quebra do filme. B – Sistema aspergido com água após a quebra do filme.....	72
Figura 33. A – Resultados de umidade inicial e final para os testes; B – Temperaturas e Umidades ambientais médias durante os testes. (1°) – primeiro teste; (2°) – segundo teste; 2,0 % e 1,0 % – concentração de sementes de chia.....	73
Figura 34. Curvas de DSC das mucilagens secas em estufa e no <i>spray dryer</i>	86
Figura 35. Espectros de IV das mucilagens secas em estufa e no <i>spray dryer</i>	87
Figura 36. Separação do sistema biodiesel/fase aquosa.	91
Figura 37. Espectros de IV de comparação entre o óleo extraído e seu biodiesel. ...	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição nutricional das sementes de chia	18
Tabela 2. Padrões de Qualidade do Ar – Material Particulado MP10 E MP 2,5.....	33
Tabela 3. Especificações do Biodiesel (B100) segundo ANP (2014) ¹²	52
Tabela 4. Especificações de índices de acidez e peróxidos para óleos e gorduras vegetais. ²²	54
Tabela 5. Composição centesimal das sementes de chia.....	66
Tabela 6. Condições climáticas e resultados dos testes de túnel de vento.....	69
Tabela 7. Condições climáticas e resultados dos testes de túnel de vento.....	87
Tabela 8. Composição centesimal das sementes de chia <i>in natura</i> e sem mucilagem.	89
Tabela 9. Parâmetros da caracterização do óleo extraído (OA) e do óleo comercial (OB).....	90
Tabela 10. Parâmetros da caracterização dos biodieseis A e B.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C – antes de Cristo

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

OMS – Organização Mundial da Saúde

EUA – Estados Unidos da América

et al. – “e colaboradores”

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas

MP – material particulado

PM – *particulate matter* (material particulado, em português)

EPA – *European Environment Agency*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

PEO – óxido de polietileno

etc. – *et cetra* (“e os restantes” ou “e outras coisas mais”)

BXX – termo usado para indicar o teor de biodiesel em diesel (B20 – 20 % de biodiesel e 80 % de diesel)

FAEE – *fatty acid ethyl esters* (etil éster de ácidos graxos)

FAME – *fatty acid methyl esters* (metil éster de ácidos graxos)

NaOH – hidróxido de sódio

KOH – hidróxido de potássio

H₂SO₄ – ácido sulfúrico

AGL – ácidos graxos livres

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Nº – número

IN – Instrução Normativa

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

RVQ – Revista Virtual de Química

PEAD – polietileno de alta densidade

DSC – Calorimetria de Varredura Diferencial

FTIR – Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier

N₂ – gás nitrogênio

LabPetro – Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Metodologias para Análise de Petróleos

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

ATR – Reflectância Total Atenuada

ZnSe – Seleneto de zinco

H₂O – água

CO – monóxido de carbono

CH₄ – metano

CO₂ – dióxido de carbono

Spray drying – secagem por aspersão

pH – potencial hidrogeniônico

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

IV – Infravermelho

LISTA DE SÍMBOLOS

kg – Quilograma
mm – milímetro
% – percentagem
µg – micrograma
g – grama
mg – miligrama
m/m – relação massa/massa
µm – micrometro
kDa – quilodalton
β – beta
α – alfa
m³ – metro cúbico
η₁ – emissão primária de particulado
η₂ – emissão secundária de particulado
II – Segunda
mm² – milímetro quadrado
s – segundo
°C – grau Celsius
mEq – miliequivalente
W – watt
mL – mililitros
min – minutos
cm – centímetros
rpm – rotações por minuto
cm² – centímetros quadrados
L – litros
Km/h – quilômetros por hora

RESUMO

O processo de produção conjunta consiste na obtenção de mais de um produto a partir de uma mesma matéria-prima e em um único processo. Na indústria da chia pode-se comercializar a semente, a mucilagem, o óleo e a biomassa. Esses produtos estão inseridos na indústria alimentícia, porém são poucos estudados quanto as aplicações industriais como, por exemplo, na mineração e na produção de biocombustível.

Nessa tese, os aproveitamentos industriais da mucilagem e do óleo são propostos como incentivo ao processamento conjunto da chia. Na primeira parte desse trabalho, foram realizados estudos de aplicação da mucilagem de chia como supressora de poeira utilizando simulador de transporte ferroviário, de minério de ferro, que é a principal via modal empregada para transportar o minério extraído em Minas Gerais até os portos do Espírito Santo. Avaliou-se a mucilagem de chia, em diferentes concentrações, como solução polimérica supressora de poeira e a comparou com produtos comerciais. Os resultados demonstraram que a mucilagem de chia na concentração mássica de 2,0 % (semente/água) se comporta como um supressor de poeira para o transporte ferroviário em condições de baixa umidade e em concentração de 1,0 % (semente/água) resiste a dias com umidade mais alta. Verificou-se que a utilização apenas de água não é efetiva nas condições estudadas e que a mucilagem de chia é comparável aos produtos comerciais. Na segunda parte, foi pesquisado a influência dos processos de secagem da mucilagem na efetividade como supressora de poeira. Comparou-se a supressão de poeira de mucilagem seca em estufa convencional e por aspersão. Os resultados no simulador de transporte ferroviário demonstraram que essas metodologias de secagem não interferiram na capacidade de supressão de poeira.

Também foi estudada a aplicação do óleo de chia, fora dos padrões de consumo, na produção de biodiesel. Foram utilizados óleos de chia vencido e fora dos padrões da Instrução Normativa ANVISA IN 87/2021 para a transesterificação. O procedimento permitiu obter biodieseis com viscosidade cinemática, massa específica, ponto de fulgor, número de acidez e corrosão de lâmina de cobre dentro dos padrões exigidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Os resultados de teor de água foram acima dos padrões estabelecidos, demonstrando a necessidade de adequação no processo de secagem do biodiesel produzido a partir dos óleos estudados. Esse estudo aumenta a quantidade de matérias-primas disponíveis para a produção desse biocombustível podendo diminuir a dependência de outras fontes.

Palavras-chave: PRODUÇÃO CONJUNTA. APLICAÇÕES INDUSTRIAIS. CHIA. SUPRESSÃO DE POEIRA. BIODIESEL.

ABSTRACT

The joint production process consists of obtaining more than one product from the same raw material and in a single process. In the chia industry, the seed, mucilage, oil, and biomass can be commercialized. These products are inserted in the food industry, but they are few studied in terms of industrial applications, such as mining and biofuel production.

In this thesis, the industrial uses of mucilage and oil are proposed as an incentive to jointly process chia. In the first part of this work, studies were carried out on the application of chia mucilage as a dust suppressor using a rail transport simulator for iron ore, which is the main modal route used to transport the ore extracted in Minas Gerais to the ports of Espírito Santo. Chia mucilage, at different concentrations, was evaluated as a dust-suppressing polymeric solution and compared with commercial products. The results showed that chia mucilage at a mass concentration of 2.0 % (seed/water) behaves as a dust suppressant for rail transport under low humidity conditions and at a concentration of 1.0 % (seed/water) withstands days with higher humidity. It was found that the use of water alone is not effective under the conditions studied and that chia mucilage is comparable to commercial products. In the second part, the influence of mucilage drying processes on effectiveness as a dust suppressor was investigated. Dust suppression of conventional oven-dried and spray-dried mucilage was compared. The results in the rail transport simulator showed that these drying methodologies did not interfere with the dust suppression capacity.

The application of chia oil, outside the consumption patterns, in the production of biodiesel was also studied. Expired chia oils outside the standards of ANVISA IN 87/2021 Normative Instruction were used for transesterification. The procedure allowed to obtain biodiesels with kinematic viscosity, specific mass, flash point, acidity index and copper foil corrosion within the standards required by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP). The water content results were above the established standards, demonstrating the need for adaptation in the drying process of the biodiesel produced from the oils studied. This study increases the number of raw materials available to produce this biofuel and may reduce dependence on other sources.

Keywords: JOINT PRODUCTION. INDUSTRIAL APPLICATIONS. CHIA. DUST SUPPRESSION. BIODIESEL.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	13
1.1. <i>Estrutura da tese</i>	13
1.2. <i>Objetivos</i>	13
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	13
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	13
CAPÍTULO II – CHIA	13
2.1. <i>Histórico</i>	13
2.2. <i>Propriedades e Composição Nutricional</i>	15
2.2.1. <i>Mucilagem</i>	19
2.3. <i>Aplicações</i>	22
Referências Bibliográficas.....	23
CAPÍTULO III – SUPRESSÃO DE POEIRA DE MINÉRIO	27
3.1. <i>Setor de Mineração</i>	27
3.1.1. <i>Estocagem e Transporte de Minério</i>	30
3.1.2. <i>Problemática Ambiental</i>	32
3.1.3. <i>Controle Ambiental – Supressores de Poeira</i>	36
Referências Bibliográficas.....	43
CAPÍTULO IV – BIODIESEL	48
4.1. <i>Biocombustíveis</i>	48
4.2. <i>Produção e classificação do Biodiesel</i>	49
4.3. <i>Biodiesel no Brasil</i>	52
Referências Bibliográficas.....	55
CAPÍTULO V – APLICAÇÃO 1: USO DA MUCILAGEM COMO SUPRESSORA DE POEIRA.....	59
5.1. <i>Introdução</i>	59
5.2. <i>Parte Experimental</i>	62
5.2.1. <i>Sementes de chia</i>	62
5.2.2. <i>Determinação de composição centesimal</i>	62
5.2.3. <i>Obtenção da mucilagem de chia</i>	63
5.2.4. <i>Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)</i>	63
5.2.5. <i>Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)</i> ..	63
5.2.6. <i>Análise de Supressão de Poeira</i>	64
5.3. <i>Resultados e Discussão</i>	65
5.4. <i>Conclusões</i>	74
Referências Bibliográficas.....	74

CAPÍTULO VI – APLICAÇÃO 2: INFLUÊNCIA DA SECAGEM DA MUCILAGEM NA SUPRESSÃO DE POEIRA E USO DE ÓLEO PARA BIODIESEL	80
6.1. <i>Introdução</i>	80
6.2. <i>Experimental</i>	82
6.2.1. Sementes de chia.....	82
6.2.2. Mucilagem de chia.....	82
6.2.3. Análise de Supressão de Poeira	83
6.2.4. Determinação de composição centesimal	84
6.2.5. Obtenção de óleo de chia e produção de Biodiesel	84
6.2.6. Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC).....	85
6.2.7. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) ..	85
6.3. <i>Resultados e Discussão.....</i>	85
6.4. <i>Conclusões</i>	94
Referências Bibliográficas.....	94
CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES GERAIS.....	100
PROPOSTAS FUTURAS	100

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Na atualidade, as indústrias necessitam que em um mesmo processo seja possível obter diversos produtos para distribuir os custos entre eles e aumentar o valor agregado. A indústria da chia também busca esse tipo de produção onde permite que da planta sejam obtidos a semente e outros coprodutos, esses que podem ter maior valor que a semente.

Da semente é possível obter a mucilagem, o óleo e a biomassa/farinha. A mucilagem da chia, um heteropolissacarídeo higroscópico e de alto peso molecular, ainda não é comercializada sendo necessários mais estudos de aplicações que induzam as indústrias vendê-la separadamente. Pensando nisso, nos propusemos a estudar aplicações da mucilagem da chia na indústria de mineração, o que acarretou na proposta inédita de utilização dela como supressora de poeira de minério. A poeira de minério é uma grande problemática ambiental devido às doenças cardiovasculares atribuídas a esse tipo de material particulado, por isso seu controle com soluções poliméricas supressoras de poeira é amplamente difundido e utilizado pelo setor de mineração.

O óleo de chia é comercial devido aos benefícios a saúde. É um óleo com ômega 3 e 6 que são essenciais para uma vida saudável. Contudo, ao extrair o óleo da semente, ele pode estar fora dos padrões recém estabelecidos pela IN 87/2021 da ANVISA, sendo considerado impróprio para o consumo. Esse óleo necessita de tratamentos prévios à comercialização, que podem inviabilizar a sua venda. Considerando essa possibilidade, e que esse óleo possui um prazo de validade e quando vencido necessita de um destino ambientalmente correto, também foi proposto nessa tese o uso do óleo extraído da semente, fora dos padrões da IN 87/2021, e do óleo vencido na produção de biodiesel.

1.1. Estrutura da tese

Esse trabalho propõe a aplicação da mucilagem de chia como supressora de pó de minério de ferro e a utilização de óleos de chia fora dos padrões de consumo e/ou vencidos como matéria-prima na produção de biodiesel. Os estudos de supressão de poeira de minério foram conduzidos em um simulador de transporte ferroviário em vagões do tipo gondola representando a realidade do transporte de

minério por meio deste modal e os resultados foram comparados com produtos comerciais já utilizados pela indústria de mineração. Os estudos de produção de biodieseis ocorreram via transesterificação em meio metanólico catalisado por KOH e os resultados foram verificados quanto aos padrões da ANP.

O Capítulo II apresenta o material foco do nosso trabalho, a chia. Para uma melhor compreensão da chia e suas propriedades e possibilidades de aplicações, apresenta-se o histórico, as propriedades e composição nutricional, aprofundando-se sobre a mucilagem e apresentando aplicações que vem sendo estudadas da semente da chia e seus coprodutos.

Para contextualizar a primeira aplicação industrial estudada, o Capítulo III trata da supressão de poeira de minério. Descreve-se brevemente o setor da mineração, os modos de estocagem e o transporte ferroviário do minério. Em seguida, relata-se os problemas ambientais relacionados ao material particulado do minério de modo a apresentar a importância do controle desse poluente e criar uma ligação com a discussão sobre os supressores de poeira.

O Capítulo IV aborda o biodiesel, a segunda aplicação industrial. O biodiesel e suas características são apresentadas como uma premissa para o capítulo que apresenta a produção dele.

Os Capítulos V e VI dedicam-se a apresentação dos artigos que são produtos dessa tese. Eles apresentam o artigo do estudo da eficiência da mucilagem de chia como supressora de poeira de minério de ferro e o artigo de avaliação da possibilidade de comercialização da mucilagem em pó para as indústrias de mineração e aproveitamento dos óleos impróprios para consumo na produção de biodiesel, respectivamente.

Por fim, o Capítulo VII traz consigo as conclusões gerais da tese e propostas futuras de trabalhos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar estudos da aplicação da mucilagem de chia na supressão de poeira e da utilização dos óleos de chia, impróprios para consumo, na produção de biodiesel.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Utilizar simulador de transporte ferroviário na avaliação da mucilagem de chia como supressora de poeira;
- ❖ Avaliar a influência de processos de secagem na aplicação da mucilagem;
- ❖ Produzir biodiesel a partir de óleos de chia impróprios para o consumo através da transesterificação metanólica catalisada por base.

CAPÍTULO II – CHIA

A produção conjunta é um fenômeno comum nas indústrias de transformação que se baseiam na obtenção de diferentes produtos a partir de uma mesma matéria-prima e em um único processo produtivo. Por exemplo, na agroindústria a partir de uma mesma matéria-prima como a soja é possível a obtenção do óleo e farelo e do boi são obtidos diferentes cortes de valores diversificados. A valorização diferenciada dos produtos da produção conjunta permite a classificação deles em coprodutos, subprodutos e sucatas.^{1,2}

Os produtos que representam o maior faturamento da indústria são denominados produtos principais ou coprodutos. Os produtos com menor faturamento, mas com condições comerciais favoráveis para a indústria são designados subprodutos. As sucatas são aqueles produtos que para o mercado não são atrativos tendo condições ruins e/ou preço de venda muito baixo sendo de pouca influência no faturamento. Também são classificados como sucatas os descartes e os produtos que a indústria considera imperfeitos para os clientes.^{1,2}

É importante salientar que a classificação dos produtos está vinculada à importância financeira que eles representam para a indústria e assim estão submetidas às necessidades do mercado a qual está inserida ao longo do tempo. A indústria do petróleo é um bom exemplo da mudança da classificação dos produtos visto que inicialmente possuía o querosene de iluminação como principal produto e hoje temos diesel e gasolina como coprodutos além de outros subprodutos. Até mesmo o diesel e a gasolina ora podem ser considerados subprodutos dependendo das características do petróleo e do mercado em que ele está inserido.³

A produção conjunta na agroindústria da chia permite a obtenção das sementes, do óleo, da farinha/biomassa e da mucilagem como coprodutos e subprodutos.

2.1. Histórico

A *Salvia hispanica* L. é popularmente conhecida como chia, mas também como “salvia espanhola”, “artemisa espanhola”, “chia mexicana” ou “chia negra”. O nome chia não possui uma origem consolidada visto que é uma adaptação do

espanhol para as palavras astecas “chian” ou “chien” que significa “oleosa”, como também significava “força” na linguagem maia.^{4,5}

Historicamente a chia é consumida desde 3.500 a.C. pelos povos da Mesoamérica, região hoje entre o sul do México e grande parte da América Central. Povos como astecas e maias utilizavam como alimento, medicamentos, pinturas, óleo e em rituais religiosos. Ela era usada como tributo de nações conquistadas pelo Império Asteca, essas eram responsáveis por enviar 5 – 15000 toneladas de chia para a capital. Na América antes de Cristóvão Colombo, seu consumo foi tão importante quanto de outros alimentos como milho, feijão e amaranto. Surpreendentemente, a dieta alimentar dos povos pré-colombianos é comparável aos requisitos determinados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A bebida refrescante “chia fresca” é originada desses povos e tem permanecido até os dias atuais no México.⁵⁻¹²

Com a chegada dos espanhóis e devido à colonização extrativista e supressão da cultura dos povos pré-colombianos, o consumo foi quase extinto sendo a chia substituída por cultivos advindos da Europa. A utilização em rituais religiosos pagãos fez com que os espanhóis, católicos, discriminassem a utilização da chia e como o clima europeu não era favorável ao cultivo, a chia foi esquecida por quase 500 anos.^{8-10,13}

Os primeiros estudos a respeito da chia são relatados no Códice Florentino, de Frei Bernardino de Sahagun, escrito durante a colonização europeia das Américas, entre 1548 e 1580. O fato de os povos pré-colombianos considerarem a chia um alimento básico as suas dietas consistiam em uma grande quantidade de nutrientes benéficos a saúde, geralmente superior aos alimentos consumidos pela maioria das pessoas na atualidade. Na década de 90, a Universidade do Arizona (EUA) em conjunto com pesquisadores argentinos voltou a pesquisar sobre a chia. Seu cultivo foi iniciado na Argentina e hoje, sua produção tem crescido devido aos indícios dos benefícios à saúde que estão sendo popularizados pelas pesquisas e aplicações de chia na indústria de alimentos. Atualmente está presente em diferentes mercados como América Latina, EUA, Ásia e Oceania, principalmente a Austrália, pois suas sementes, farinha, mucilagem e óleo estão se tornando aditivos

muito importantes por causa de suas propriedades físico-químicas e reológicas.^{5,8,13,14}

2.2. Propriedades e Composição Nutricional

A chia (*Salvia hispanica* L.), Figura 1, é uma planta herbácea anual que varia de 1 a 2 metros de altura, não suporta o frio e a falta de sol, necessita de baixa quantidade de água para cultivo e é comum em regiões montanhosas do México e Guatemala.^{5,12,15} Pertencente ao gênero *Salvia*, da família *Labiatae* ou *Lamiaceae* (a mesma da hortelã e menta) que possui 224 gêneros e 5600 espécies. O gênero *Salvia* é característico de regiões temperadas a subtropicais possuindo aproximadamente 1000 espécies. No Brasil temos cultivos de 61 dessas espécies no Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste e outras 47 são exclusivas do Brasil, ou seja, endêmicas do país. A chia é a única da espécie que permite cultivo caseiro.^{7,9,14,16-19}



Figura 1. Plantação de chia em destaque a floração da chia. Fonte: Montagem do próprio autor

A comumente denominada semente de chia na verdade é o seu fruto que não se abre quando maduro para liberar a semente (frutos secos indeiscentes) e que possuem uma única semente. A real semente se encontra presente dentro desse fruto que possuem ainda um pericarpo, células ósseas e o endocarpo envolta da

semente, Figura 2. Porém, para melhor compreensão, e utilizar a nomenclatura comercial, o termo semente de chia será o utilizado para denominar o fruto.^{4,7,14}

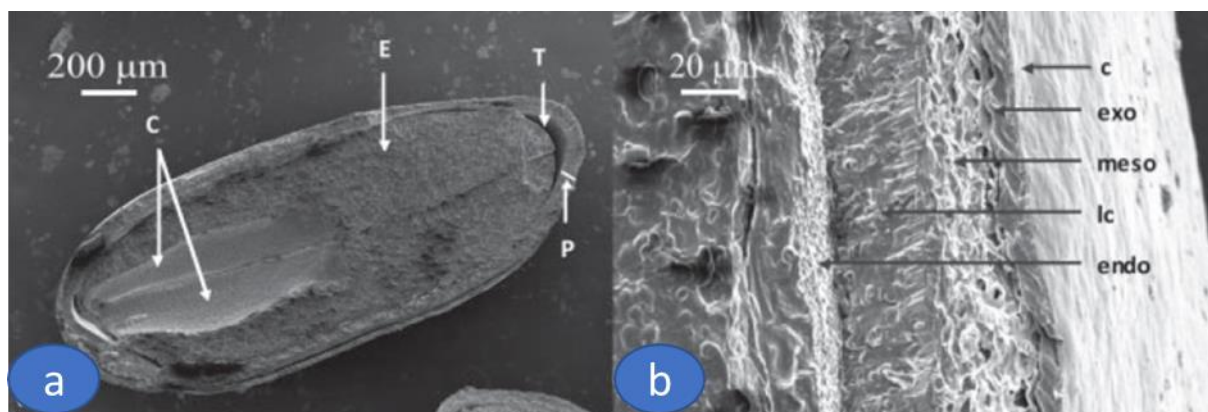


Figura 2. a. Imagem microscópica de corte longitudinal da “semente” de chia. C: cotilédones; E: endosperma; P: pericarpo; T: Casca ou Tegumento **b.** Ampliação do pericarpo. c: cutícula; exo: exosperma; meso: mesosperma; lc: camada de células ósseas; endo: endosperma. Fonte: Adaptado de CAPITANI *et. al.* (2013)⁷

A semente é o produto comercial e tem-se um rendimento de 500 – 600 kg por hectare e plantios em países da América Central e do Sul, além do México, Austrália e Europa, onde é cultivada em estufas. Locais na Argentina já obtiveram 2500 kg de semente por hectare em cultivo controlado. O plantio não necessita de pesticidas e produtos químicos para pragas devido às folhas conterem óleos essenciais repelentes.^{5,10,15}

Elas são de tonalidades marrons a pretas, Figura 3, grande maioria, e brancas (sem pigmentação) e geralmente são comercializadas como mistura. Possuem formas elipsoides com cerca de 2 mm de comprimento, 1 mm de largura e 0,8 mm de espessura. As sementes de chia possuem, como inúmeras plantas, composição variável com as condições ambientais.^{6,7,9,13,16}



Figura 3. Sementes de chia de diferentes tonalidades. Fonte: Adaptado de ZETTEL e HITZMANN (2018)¹²

As sementes têm sido amplamente estudadas devido sua composição química e os indícios de efeitos benéficos à saúde. Elas são grande fonte de nutrientes como proteínas, lipídeos (principalmente os ácidos graxos ômega-3 e ômega-6), fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes. Por isso, elas têm sido estudadas para aplicações na indústria farmacêutica e de alimentos.^{8,9,14,16,19}

O cultivo comercial de chia vem ocorrendo na Austrália, América Central e do Sul.⁸ A composição e o desempenho das sementes são dependentes de vários fatores entre eles o ambiente de cultivo.^{12,15} O cultivo, as suas condições e o genótipo da chia interferem na composição, por exemplo, em grandes altitudes tem-se menos proteínas e mais óleos se comparado com altitudes baixas.²⁰ DA SILVA *et al.* (2017)¹⁶ estudaram a influência do ambiente na composição química de sementes de chia no Brasil. Descreveram que as concentrações de proteínas (cerca de 19 %), lipídeos (aproximadamente 31 %), fibras (30-38 %) e vitamina E (8205,6 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) é semelhante aos valores encontrados em chias advindas de outros países. Por fim, relatam que a concentração de cálcio (631 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e ferro (7,72 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) encontradas foram 6x maiores do que no leite e 2,4-6x maiores do que na carne, respectivamente. A Tabela 1 é uma compilação de dados de alguns autores a respeito da composição nutricional das sementes de chia.

Tabela 1. Composição nutricional das sementes de chia

Nutriente	Quantidade
Proteínas	15,0 – 34,1 % (m.m ⁻¹)
Lipídeos	27,0 – 40,0 % (m.m ⁻¹)
Carboidratos	19,0 – 42,1 % (m.m ⁻¹)
Fibras	18,0 – 34,4 % (m.m ⁻¹)
Vitaminas	26,4 (mg.100 g ⁻¹)
Antioxidantes	121 (µg.g ⁻¹)
Minerais	2.345,9 (mg.100 g ⁻¹)
Cálcio	631 (mg.100 g ⁻¹)
Potássio	407 (mg.100 g ⁻¹)
Magnésio	335 (mg.100 g ⁻¹)
Fósforo	860 (mg.100 g ⁻¹)
Ferro	7,7 (mg.100 g ⁻¹)
Sódio	16 (mg.100 g ⁻¹)
Zinco	4,6 (mg.100 g ⁻¹)

FONTE: Adaptada de HERNÁNDEZ (2012)⁵, SEGURA-CAMPOS *et al.* (2014)⁹, ROCHA *et al.* (2017)¹⁰, PUNIA e DHULL (2019)¹⁸ e FERNADES *et al.* (2019)²¹

Segundo TAVARES (2016)⁴ a quantidade das proteínas das chias é comparável a alimentos como a lentilha, ervilha e grão de bico (23, 25 e 21 %, respectivamente). Outras culturas como milho, trigo, arroz, aveia, cevada e amaranto não possuem o mesmo conteúdo proteico da chia. A grande quantidade de proteínas benéficas às dietas humanas é de grande interesse para as indústrias de alimentos, pois geralmente são superiores às de farinhas comuns. As proteínas são comumente extraídas pela solubilização em meio alcalino e seguida precipitação em meio ácido, denominada precipitação isoelétrica, porém, esse procedimento pode afetar as estruturas delas. As proteínas da chia possuem todos os aminoácidos necessários para a dieta de adultos. As proteínas da chia retêm água e óleo de forma considerável permitindo o uso em salsichas e emulsões devido sua ação surfactante.^{5,6,8,22,23}

A chia possui grande quantidade de lipídeos, principalmente ácidos graxos como linolênico (ômega-3) (54-67 %) e linoleico (ômega-6) (12-21 %) que apresentam indícios de benefícios fisiológicos e da redução de riscos de doenças. A concentração de ômega-3 é a maior entre os vegetais conhecidos. A grande quantidade de ômega-3 permite reduzir a viscosidade do sangue, aumentar a

microcirculação, aumentar oxigenação dos tecidos, reduzir níveis de colesterol e triglicerídeos, reduzir a pressão arterial tornando a chia uma preventora de doenças cardiovasculares e auxiliar no combate dessas entre outras doenças como diabetes, obesidade e distúrbios imunológicos.^{4,6,8,14,16,17,21}

As sementes são uma excelente fonte de minerais. Segundo HERNÁNDEZ (2012)⁵ elas possuem concentrações de cálcio, fósforo e potássio (6x, 11x e 4x, respectivamente) maiores que o leite. Em relação a trigo, arroz, aveia e milho, possui 13-354x mais cálcio, 2-12x mais fósforo e cerca de 1,5x mais potássio. As sementes ainda possuem ferro, magnésio, zinco e sódio, além de outros micronutrientes. A quantidade de ferro é maior do que no espinafre, lentilhas e em fígados.

A chia é um dos alimentos que possui a maior quantidade de fibras. Quando na presença de água as sementes liberam uma parte dessas fibras na forma de um gel claro, denominado mucilagem que permanece firmemente ligada à semente e cuja aplicação vem sendo estudada a aplicação em produtos alimentícios, na formação de emulsões e no espessamento devido à grande retenção de água e óleos.^{5-7,10}

2.2.1. Mucilagem

A mucilagem é uma substância complexa contendo polissacarídeos ácidos e/ou neutros, proteínas e compostos fenólicos que é secretada quando a planta ou parte dela (como sua semente) entra em contato com a água aumentando a viscosidade podendo formar géis. Esses são advindos de processos que dependem das características de cada polissacarídeo envolvido e possuem diversas aplicações. Nas plantas, a mucilagem pode ser utilizada para proteção, retenção de água, lubrificação e no auxílio da dispersão e germinação de sementes, entre outras funções. Industrialmente possui diversas aplicações alimentares e farmacêuticas.^{8,11-13,24,25}

No caso específico das sementes de chia a mucilagem é um gel, Figura 4, heteropolissacarídeo aniônico pseudoplástico que resulta da liberação de filamentos que se linearizam totalmente na presença de água e distribuem-se ao redor da semente e permanecem firmemente aderidos na superfície, Figura 5. Na Figura 5b

tem-se a ampliação das células do epicarpo estouradas liberando a mucilagem. Essa liberação ocorre em solução ou devido à umidade relativa do ar e, em soluções, atinge a viscosidade e volume máximos (cerca de 414 μm de espessura) em 2 horas de contato. Na semente, a mucilagem representa 5-6 % (m/m) da massa, possui alto peso molecular (800 – 2000 kDa) e sua produção ocorre pelas células presentes no epicarpo da semente que o fazem inchar na presença de água e com o fim da elasticidade liberam a mucilagem por toda a superfície dela. Na Figura 5b tem-se a ampliação das células do epicarpo estouradas liberando a mucilagem. 8,11,13,14,25-27



Figura 4. Mucilagem de chia aderida as sementes. Fonte: NILO (2018)²⁸

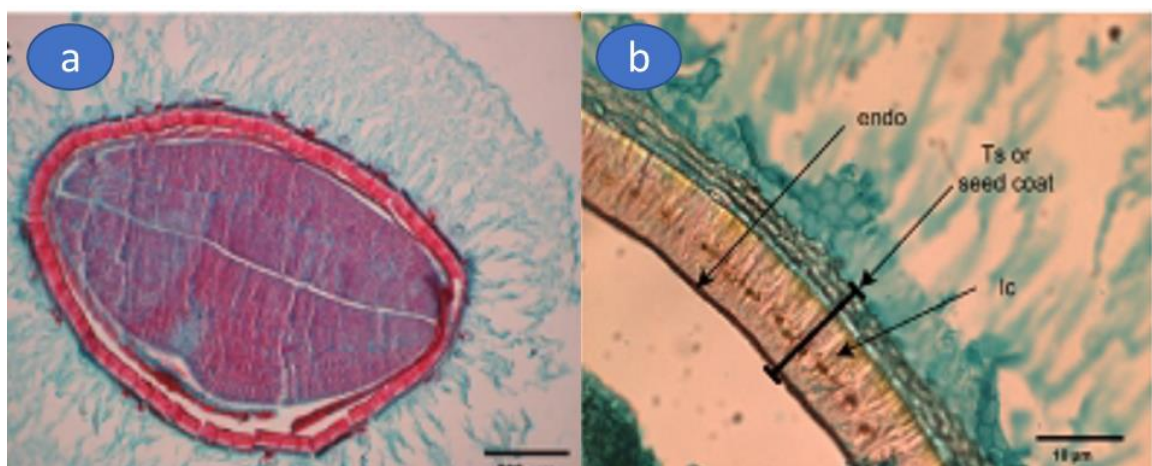


Figura 5. a. Corte longitudinal da semente de chia hidratada (em azul: filamentos da mucilagem). **b.** Ampliação do epicarpo. Fonte: Adaptado de HERNANDEZ (2012).⁵

A estrutura química da mucilagem foi proposta devido a estudos de hidrólise parcial e total que resultaram em um tetrassacarídeo composto na proporção 2:1:1

de monômeros β -D-xilose, α -D-glucose e ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico, respectivamente. A Figura 6 representa a estrutura dos monossacarídeos e do tetrassacarídeo proposto para a mucilagem.^{8,19,29}

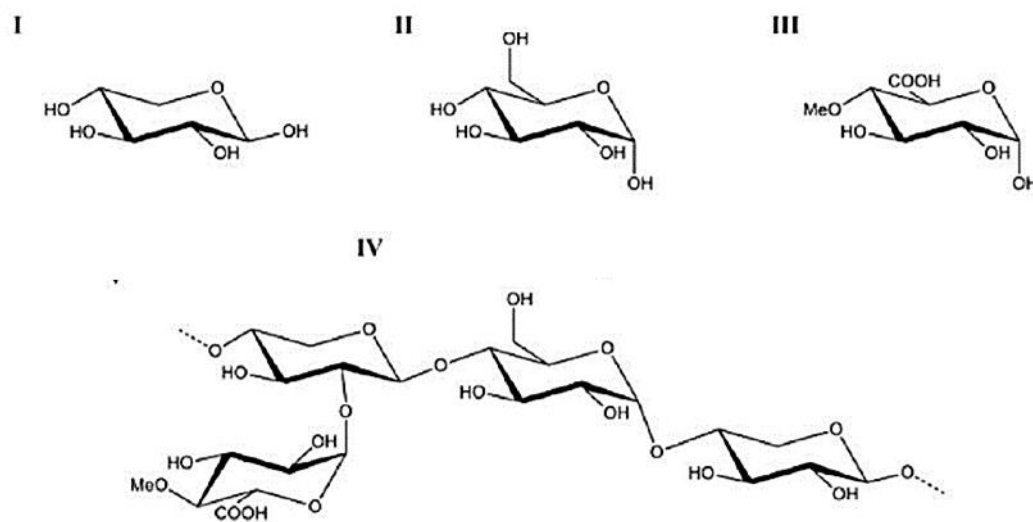


Figura 6. Estrutura química dos monossacarídeos (I - β -D-xilose, II - α -D-glucose, III - ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico e IV – tetrassacarídeo da mucilagem de chia) e da mucilagem (V). Fonte: Adaptada de LOPES (2017)²⁴

Polissacarídeos como a mucilagem têm a capacidade de formar ligações de hidrogênio com a água através dos grupos hidroxila, os átomos de oxigênio dos anéis e os que ligam um anel a outro. A grande quantidade de ligações de hidrogênio possíveis faz com que essas substâncias tenham grande afinidade por água facilitando a hidratação.²⁴

Segundo SALGADO-CRUZ *et al.* (2013)¹⁹ a mucilagem da chia retém água ao mesmo tempo que impede que ela penetre na semente. Os autores indicam que isso pode ser devido à alta absorção de água pela mucilagem. Segundo Di MARSICO *et al.* (2018)²⁹ ela se comporta de forma hidrofóbica após a perda de água e formação de filme.

A mucilagem é atóxica, biodegradável e digerível, diferente de outros espessantes veganos, como alginato. Ela permanece altamente aderida à semente necessitando de etapas de extração para que possa ser utilizada industrialmente e essas etapas podem acarretar mudanças na estrutura do biopolímero.¹¹

Os pós obtidos pela desidratação da mucilagem têm sua capacidade de reidratação afetada pelos métodos de secagem sendo mais aconselháveis

processos de liofilização devido à preservação da estrutura biopolimérica, contudo ainda há uma perda na força do gel.¹¹

CAPITANI *et al.* (2013)⁷ e MUÑOZ *et al.* (2012)¹³ citam que a reidratação da mucilagem pode ocorrer com um aumento de massa de 27x, o que a torna um excelente espessante.

2.3. Aplicações

As maiores pesquisas da chia são nas áreas de panificação, laticínios, carnes e peixes, produtos sem glúten e outros, como alimentos funcionais, hidrocolóides e espessantes.¹²

O uso de chia em produtos alimentícios ocorre na forma da semente, óleo, farinha ou moída. As aplicações são em produtos de panificação, laticínios, produtos de carne e peixe, produtos sem glúten, aplicação em outros produtos como alimentos funcionais, emulsões, hidrocolóides e como filme de embalagens comestíveis. Isso se dá pelas propriedades físico-químicas, reológicas e funcionais que as sementes de chia possuem.^{6,12,22,26}

De acordo com PUNIA e DHULL (2019)¹⁸, a mucilagem possui a capacidade de reter o frescor de panificações e por sua viscosidade tem sido empregada em diversas funcionalidades, tais como: substituta de gordura, emulsificante e estabilizante. Testes como substituto de gordura em maionese e de óleo ou ovo em bolos foram avaliados e obtiveram resultados aceitáveis quanto às propriedades organolépticas e sensoriais.^{25,27}

Também possui diversas aplicações farmacêuticas devido à capacidade de retenção de água e óleo, agindo como emulsificante, formador de espuma, espessante, gelificante e quelante.^{11,13,25}

O óleo de chia é utilizado como aditivo alimentar devido ser grande fonte de ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e ômega-6. Esses ainda podem evitar a perda de cabelo e problemas de pele ocasionados pelo déficit de ácidos graxos. É recomendado o consumo de 17 g/dia e 12 g/dia para homens e mulheres, respectivamente, de ácidos graxos poli-insaturados, contudo, 100 g de chia contém 18 g de ômega-3, ou seja, o consumo diário dos seres humanos.⁴

Outras aplicações industriais vêm sendo desenvolvidas. De acordo com Di MARSICO *et al.* (2018)²⁹ estudaram a utilização de mucilagem de chia como condicionadores de solo. Eles estudaram o controle de mobilidade de herbicidas e verificaram a eficiência da mucilagem no solo estudado, o que evita a contaminação do meio ambiente. HERNÁNDEZ (2012)⁵ informa outra aplicação: repelir insetos, visto que as folhas da chia possuem óleo essencial responsável por isso.

Referências Bibliográficas

1. MARTINS, E.; **Contabilidade de Custos**, 9a ed., Atlas: São Paulo, 2003.
2. HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M.; **Contabilidade de Custos**, 9a ed., LTC: Rio de Janeiro, 2000.
3. JURBERG, R. F. **A Evolução da Indústria Petrolífera Mundial e os Impactos no Comércio Internacional de Petróleo do Século XXI após o Início da Exploração de Fontes Não Convencionais pelos Estados Unidos** Monografia de Bacharelado. Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. 85 p.
4. TAVARES, L. S. **Extração e caracterização da mucilagem e de subprodutos da semente de chia (*Salvia hispanica* L.)**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, 2016. 109 p.
5. HERNÁNDEZ, L. M. **Mucilage from chia seeds (*Salvia Hispanica*): microestructure, physico-chemical characterization and applications in food industry**. Doctoral thesis in Engineering Sciences. Office of Research and Graduate Studies of Pontificia Universidade Catolica de Chile (PUC-Chile), Santiago de Chile, 2012. 120 p.
6. CAPITANI, M.I.; SPORTORNO, V.; NOLASCO, S.M.; TOMÁS, M.C. **Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina**. *LWT--Food Sci. Technol.*, **45**, 94 – 102, 2012.

7. CAPITANI, M. I.; IXTAINA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. **Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina.** *J Sci Food Agric*, **93**, 3856 – 3862, 2013.
8. COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. **Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos** *Braz. J. Food Technol.*, **17 (4)**, 259 – 268, 2014a.
9. SEGURA-CAMPOS, M. R.; CIAU-SOLIS, N.; ROSADO-RUBIO, G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA, D. **Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México.** *Agric. Sci.*, **5 (3)**, 220 – 226, 2014.
10. ROCHA, Y. M. A.; DA SILVA, L. P. E.; RÉGIS, W. C. B. **Chia (*Salvia hispanica*) benefícios para a saúde humana: uma revisão sobre ensaios clínicos em humanos** *Percorso Acadêmico*, **7 (14)**, 483 – 493, 2017.
11. BRÜTSCH, L.; STRINGER, F. J.; KUSTER, S.; WINDHAB, E. J.; FISCHER, P. **Chia seed mucilage – a vegan thickener: isolation, tailoring viscoelasticity and rehydration.** *Food Funct.*, **10**, 4854 - 4860, 2019.
12. ZETTEL, V.; HITZMANN, B. **Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products.** *Trends Food Sci. Technol.*, **80**, 43 – 50, 2018.
13. MUÑOZ, L. A.; COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J. M. **Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration** *J Food Eng.*, **108**, 216 – 224, 2012.
14. GOH, K. K. T.; MATIA-MERINO, L.; CHIANG, J. H.; QUEK, R.; SOH, S. J. B.; LENTLE, R. G. **The physico-chemical properties of chia seed polysaccharide and its microgel dispersion rheology.** *Carbohydr. Polym.*, **149**, 297 – 307, 2016.
15. IXTAINA, V. Y.; MARTÍNEZ, M. L.; SPOTORNO, V.; MATEO, C. M.; MAESTRI, D. M.; DIEHL, B. W. K.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. **Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction.** *J. Food Compos. Anal.*, **24**, 166 – 174, 2011.

16. DA SILVA, B. P.; ANUNCIAÇÃO, P. C.; MATYELKA, J. C. DA S.; LUCIA, C. M. D.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. **Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places.** *Food Chem.*, **221**, 1709 – 1716, 2017.
17. COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. **Chemical Characterization of CHIA (*Salvia hispanica* L.) for Use in Food Products** *J. Food Nutr. Res. (Newark, DE, U. S.)*, **2 (5)**, 263 – 269, 2014b.
18. PUNIA, S.; DHULL, S. B. **Chia seed (*Salvia hispanica* L.) mucilage (a heteropolysaccharide): Functional, thermal, rheological behaviour and its utilization.** *Int. J. Biol. Macromol.*, **140**, 2019, *in press*.
19. SALGADO-CRUZ, M. DE LA P.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; CHANONA-PÉREZ, J.; FARRERA-REBOLLO, R. R.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, J. V.; DÍAZ-RAMÍREZ, M. **Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. Amicrostructural and image analysis study.** *Ind. Crops Prod.*, **51**, 453 – 462, 2013.
20. DA SILVA, C. S.; KANAGUCHI, G.; BRUNIEIRA, L. F. R.; SAVIOLI, L. R. M.; RADZIAVICIUS, C. C.; FEDER, D.; PIRES, P. C. R.; PERAZZO, F. F.; AZZALIS L. A.; FONSECA, F. L. A. **A chia (*Salvia hispanica* L.) como nova alternativa alimentar e no tratamento de doenças crônicas não transmissíveis.** *Rev Bras Nutr Clin*, **28 (3)**, 234 – 238, 2013.
21. FERNANDES, S. S.; TONATO, D.; MAZUTTI, M. A.; DE ABREU, B. R.; CABRERA, D. DA C.; D'OCA, C. DA R. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SLAS-MELLADO, M. DE LAS M. **Yield and quality of chia oil extracted via different methods.** *J. Food Eng.*, **262**, 200–208, 2019.
22. LÓPEZ, D. N.; INGRASSIA, R.; BUSTI, P.; BONINO, J.; DELGADO, J. F.; WAGNER, J.; BOERIS, V.; SPELZINI, D. **“Structural characterization of protein isolates obtained from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds”.** *LWT – Food Sci. Technol.*, **90**, 396 – 402, 2018.
23. LÓPEZ, D. N.; BOERIS, V.; SPELZINI, D.; BONIFACINO, C.; PANIZZOLO, L. A.; ABIRACHED, C. **Adsorption of chia proteins at interfaces: Kinetics of foam**

and emulsion formation and destabilization. *Colloids Surf., B.*, **180**, 503–507, 2019.

24. LOPES, A. C. **Mucilagem de chia e sua utilização no processamento de biscoito salgado isento de glúten.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, 2017. 73 p.

25. CAMPOS, B. E.; RUIVO, T. D.; MADRONA, G. S.; BERGAMASCO, R. DE C. **Extração da mucilagem da chia e uso em sorvete como emulsificante.** In: *XX Simpósio Nacional de Bioprocessos – XI Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassa*, 2015, Fortaleza - CE, 2015.

26. TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; KASAPIS, S.; ADHIKARI, B. **Rheological and microstructural properties of the chia seed polysaccharide.** *Int. J. Biol. Macromol.*, **81**, 991 – 999, 2015.

27. GÁRCIA-SALCEDO, A. J.; TORRES-VARGAS, O. L.; DEL REAL, A.; CONTRETAS-JIMÉNEZ, B.; RODRIGUEZ-GARCIA, M. E. **Pasting, viscoelastic, and physicochemical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) flour and mucilage.** *Food Struct.*, **16**, 59 – 66, 2018.

28. NILO, M. S. **Chia.** In: *Palestra do Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (UFRJ)*, 2018, Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: http://www.unirio.br/ccbs/nutricao/ppgan_pt/acoes-ppgan/alimentacao-e-saude/palestras/2018/chia-propriedades-funcionais-importancia-industrial-e-aplicacao-culinaria. Acessado em: 30 de janeiro de 2022.

29. Di MARSICO, A.; SCRANO, L.; AMATO, M.; GÀMIZ, B.; REAL, M.; COX, L. **Mucilage from seeds of chia (*Salvia hispanica* L.) used as soil conditioner; effects on the sorption-desorption of four herbicides in three different soils.** *Sci. Total Environ.*, **625**, 531 – 538, 2018.

CAPÍTULO III – SUPRESSÃO DE POEIRA DE MINÉRIO

Existe diferença entre mineral e minério. Mineral é um sólido cristalino formado, em ambientes geológicos, por processos físico-químicos e é classificado tanto pela sua composição química como por sua estrutura cristalina. Uma mesma composição química pode resultar em estruturas cristalinas diferentes dependendo do ambiente em que esse sólido foi formado, por exemplo: o diamante e o grafite que são constituídos apenas por carbono são formados em condições ambientais diferentes que fornecem estruturas e propriedades distintas.¹

Minério é a denominação dada a um mineral ou conjunto de minerais com valor agregado suficiente para extração sendo esse valor determinado pela viabilidade técnica e econômica. É possível encontrar ferro e o mesmo ser denominado mineral de ferro/ferro mineral ou mineralização de ferro, ao invés de chamar-se minério de ferro, pois a aglomeração não é viável econômica/tecnicamente a ser extraída.^{1,2}

3.1. Setor de Mineração

A extração de minerais é uma atividade humana muito antiga que possuiu intenso desenvolvimento econômico e social durante a Revolução Industrial. A busca por substâncias metálicas, no Brasil, vem dos tempos dos bandeirantes que ocuparam o interior do país e exploraram ouro, principalmente em Minas Gerais, no período colonial.^{3,4}

Com o desenvolvimento das tecnologias e dos estudos geológicos, o manganês e o ferro se tornaram importantes para a economia nacional e impulsionaram a industrialização brasileira. Entre os anos de 2005 e 2015, o Brasil aumentou a extração mineral em 550 %, sendo catalogado, em 2014, 3354 minas que produziam 72 substâncias minerais, sendo 23 metálicas, 45 não metálicas e 4 energéticas, sem contabilizar os garimpos ilegais de ouro e diamante, principalmente.^{3,5}

Segundo o ANM (2020)³, a comercialização de substâncias metálicas correspondem 80 % do total da produção mineral comercializada pelo Brasil, sendo o ferro, cobre, ouro, alumínio, níquel, manganês, estanho, nióbio, zinco, cromo e vanádio os mais comercializados (juntos são 99,7 % dos metais comercializados)

valor que totalizou 129 bilhões de reais. A produção das substâncias metálicas está concentrada nos estados de Minas Gerais e Pará (89,4 % do valor da produção). Na Figura 7, temos a participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada em 2019.

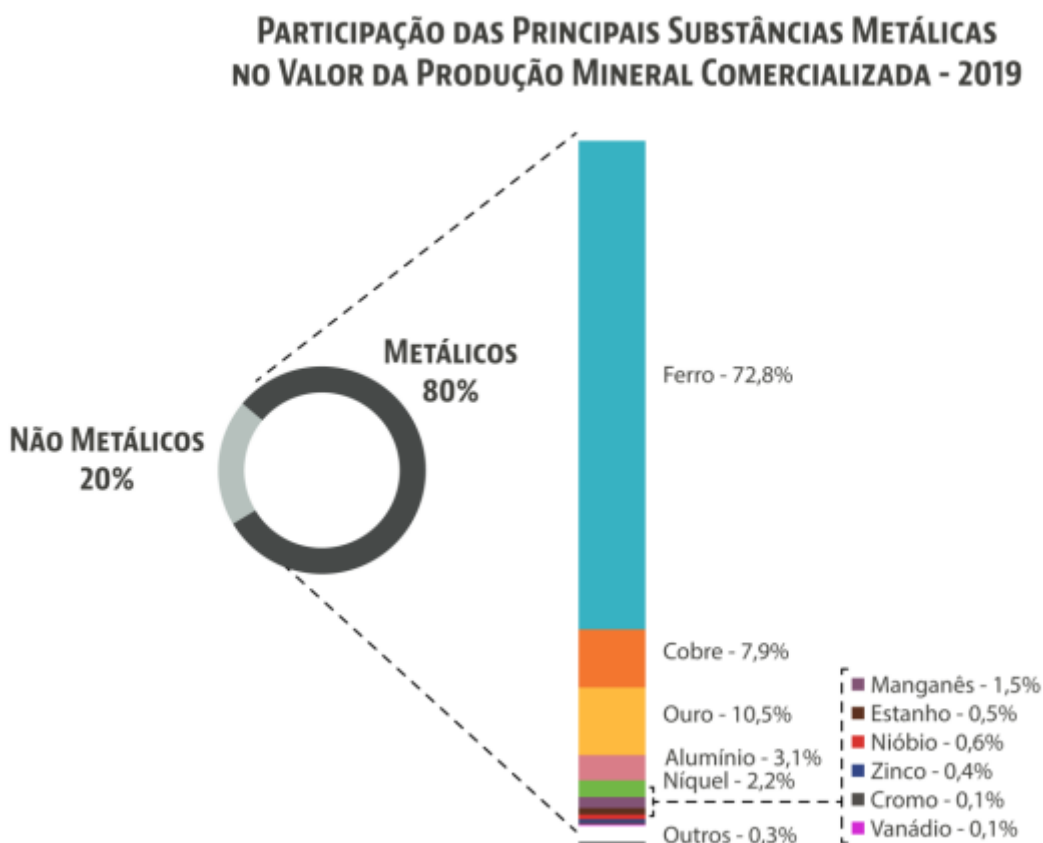


Figura 7. Participação das principais substâncias metálicas no valor total da produção mineral brasileira do ano de 2019. Fonte: Adaptado de ANM (2020)³.

A VALE S.A é responsável por 71,90 % e 70,60 % da produção brasileira de ferro e cobre, respectivamente, sendo o último através da Salobo Metais S. A (subsidiária VALE S.A) e da própria empresa. Segundo HOLMES e LU (2015)⁶, as empresas australianas RIO TINTO e BHP BILLITON e a brasileira VALE S.A formam o grupo de maiores exploradores de minério de ferro do mundo, compreendendo cerca de 74 % do mercado. No Brasil, a segunda maior indústria (CSN – Companhia Siderúrgica Nacional) produzia, em 2019, cerca de 7x menos do que era produzido pela VALE S.A em relação a minério e minério beneficiado.³

A balança de exportações brasileira é impulsionada pelo minério de ferro dentre outros 4 principais produtos (alumínio, cobre, ouro e nióbio). Os principais mercados das exportações brasileiras de substâncias metálicas são a China, Estados Unidos, Canadá, Malásia, Holanda e Argentina. Elas geraram um valor de cerca de 48,6 bilhões de dólares sendo o ferro responsável por 69,1 %. A Figura 8 representa as exportações metálicas brasileiras para seus principais clientes e as porcentagens que cabe a cada substância sob o valor total de exportações de substâncias metálicas em 2019.^{3,7}

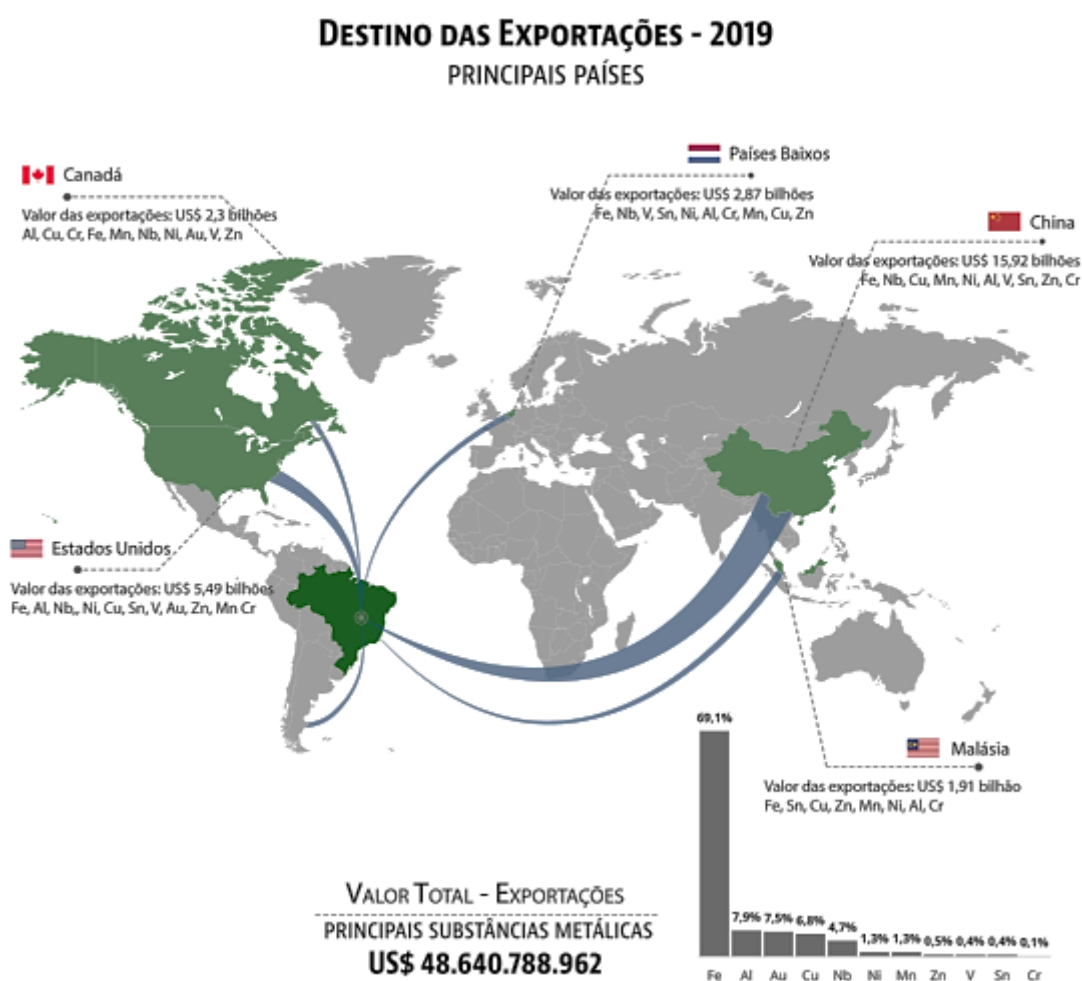


Figura 8. Exportações de substâncias metálicas para os 5 principais clientes brasileiros e a composição centesimal das mesmas sob o valor total de exportações. Fonte: ANM (2020)³.

O estado do Espírito Santo não possui reservas de substâncias metálicas sendo exploradas em minas regulares. Contudo, é um grande exportador de minério de ferro. Para ser comercializado o minério necessita de ser extraído, beneficiado, estocado e transportado.^{2,8,9}

3.1.1. Estocagem e Transporte de Minério

O minério pode ser estocado de diferentes formas, sendo as mais utilizadas em vagões ferroviários, silos e em pilhas. Os vagões não são amplamente utilizados para estocagem, mas sim para transporte do produto beneficiado. Os silos são empregados para estocar matérias-primas a processar ou produtos em beneficiamento visto que o volume desses é baixo. Por fim, as estocagens em pilhas que são amplamente utilizadas no setor de mineração, principalmente nas indústrias e seus portos, possuem grande vantagem por permitir estocagem de grandes dimensões, por longos períodos e a custos baixos. A armazenagem de minério e seus derivados, geralmente a céu aberto, gera grandes impactos ambientais nas redondezas devido aos efeitos dos ventos e das chuvas.^{7,10}

As pilhas de minério podem ser confeccionadas para aguardo do meio de transporte, homogeneização dos materiais para evitar variações nas características de interesse e manutenção de estoque preventivo contra flutuações na produção. Essas pilhas possuem diferentes formatos e alturas que dependem das características do material a ser estocado. A altura, por exemplo, depende de a capacidade do material suportar camadas adjacentes. Logo, para o correto dimensionamento de uma pilha, deve-se levar em consideração os parâmetros físicos, químicos e metalúrgicos dos minérios.⁷

Os empilhamentos longitudinais mais comuns são *Chevron*, *Windrow* e *Cone Shell* sendo baseados na sobreposição de camadas de minério no sentido longitudinal. A Figura 9 mostra o esquema de empilhamento dessas três metodologias.^{7,11}



Figura 9. Diagrama dos tipos de empilhamento de minério. Fonte: Adaptado de SLOSS (2014)¹².

O transporte de minério ocorre, em sua maioria, pela utilização de ferrovias que é um meio de transporte melhor do que o modal rodoviário. Elas permitem o escoamento de grandes volumes, com baixo número de acidentes, furtos e roubos, além de possuir maior eficiência energética, principalmente para longas distâncias.

Vários materiais, como o minério de ferro, são transportados pelo modal ferroviário como também pessoas.¹³

A Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), como todas as outras estradas de ferro, possui grande potencial de emissão de particulados por toda sua extensão visto o transporte de minério por vagões tipo gôndola, Figura 10. Esses são utilizados por permitirem a “viragem” nas estações de recebimento de minério, o que torna a descarga de minério mais produtiva e mais segura.^{14,15}



Figura 10. Vagões do tipo gôndola. Fonte: TRENTIN (2015)¹⁵

A EFVM possui 905 Km e transportou no ano de 2018, aproximadamente, 112 milhões de toneladas de minério de ferro, 4 milhões de produtos siderúrgicos, 3 milhões de carvão mineral e 1 milhão de celulose, entre outras mercadorias e pessoas. A Figura 11 representa a extensão da EFVM.¹⁶



Figura 11. Representação gráfica da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM). Fonte: BRASIL (2019)¹⁶

Como mencionado, o setor de mineração é um potencial poluidor e nos últimos anos toda a população pôde perceber a dimensão desse potencial. Um dos grandes problemas para um desenvolvimento sustentável do setor de mineração é o transporte ferroviário. Os locais de exploração de minério são longe dos oceanos, sendo necessário as ferrovias para escoamento da produção das minas. As comunidades vizinhas às ferrovias sofrem com a poluição ambiental originada das partículas de minério dispersas no ar.^{6,17}

3.1.2. Problemática Ambiental

A poluição ambiental é muito grave devido aos problemas a saúde e ao ambiente.¹⁸ Segundo BORBA (2017)¹⁴ os poluentes são classificados de 3 maneiras:

- forma de emissão, sendo divididos em primários (liberados diretos das fontes de emissão, como em obras, estradas, incêndios) e secundários (resultantes de reações químicas de produtos químicos emitidos, pelas indústrias e automóveis, na atmosfera);¹⁹
- quanto a composição, desta forma, como orgânicos e inorgânicos e,
- quanto ao estado físico: material particulado, gases e vapores.

Dentre as poluições, temos a do ar ocasionada, também, por material particulado (MP) (no inglês, *particulate matter* – PM) que é constituído por contaminantes, poeiras, gases e vapores.¹⁸

Segundo EPA (2019)¹⁹ e CONAMA (2018)²⁰, material particulado são partículas suspensas no ar, sejam elas líquidas ou sólidas. Elas podem ter dimensões macroscópicas como também microscópicas.

O material particulado é o maior causador de doenças respiratórias e cardiovasculares. Sabe-se que mesmo em baixas concentrações ele é responsável por danos significativos. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América, EPA (*Environmental Protection Agency*), classificou, em 1987, as partículas menores ou igual a 2,5 µm de diâmetro (MP_{2,5}) e entre 2,5 a 10 µm de diâmetro (MP₁₀), visando padronizar e regular as emissões dessas partículas.^{19,21-23}

Em 2018, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) revogou a antiga Resolução CONAMA 03/1990 e editou a Resolução CONAMA 491/2018 visando atender aos padrões de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A Resolução 491/2018 define os seguintes padrões de qualidade do ar para os materiais particulados MP₁₀ e MP_{2,5}, além de tomar outras providências para melhoria da qualidade do ar. A Tabela 2 apresenta os padrões de qualidade do ar para materiais particulados.²⁰

Tabela 2. Padrões de Qualidade do Ar – Material Particulado MP10 E MP 2,5

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI – 1	PI – 2	PI – 3	PF
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Material Particulado – MP10	24 horas	120	100	75	50
	Média Anual	40	35	30	20
Material Particulado – MP2,5	24 horas	60	50	37	25
	Média Anual	20	17	15	10

Legenda: PI - metas intermediárias e PF - meta final. Fonte: Adaptada de CONAMA (2018).²⁰

Na tabela 2 temos o período de referência que representa o intervalo de tempo de exposição; PI – 1, PI – 2 e PI – 3 que são metas intermediárias a serem cumpridas em etapas e PF o valor guia da OMS, em 2005. A meta intermediária PI – 1 já está em vigor e a próxima (PI – 2) será avaliada a sua adoção em 2023.

As partículas MP_{10} e $MP_{2,5}$ são consideradas muito perigosas a saúde. Partículas MP_{10} são as principais causas de problemas pulmonares, e as menores, $MP_{2,5}$, podem chegar à corrente sanguínea, ocasionando efeitos mais severos aos seres humanos. Partículas com diâmetro de 2,5 micrômetros são cerca de 30x menores do que o diâmetro do cabelo humano.¹⁹

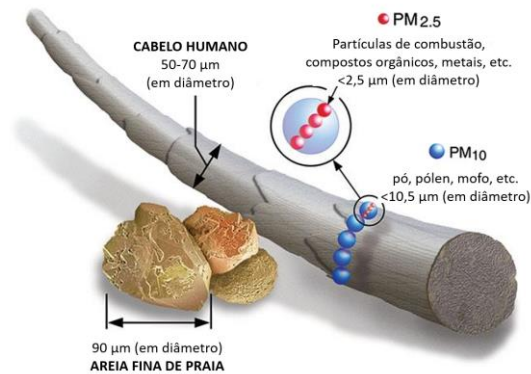


Figura 12. Comparação entre os tamanhos de partículas $MP_{2,5}$ e PM_{10} com o fio de cabelo. Fonte: EPA (2019)¹⁹

Há também partículas ainda menores, denominadas ultrafinas, que são oriundas de fumaça de cigarro, cozinhas, indústrias e, principalmente, carros. Elas afetam diretamente os alvéolos pulmonares, Figura 13. Com o passar dos tempos vão sendo descobertas maiores implicações dos materiais particulados na saúde humana e novas restrições vão sendo estabelecidas.^{14,18,24,25}

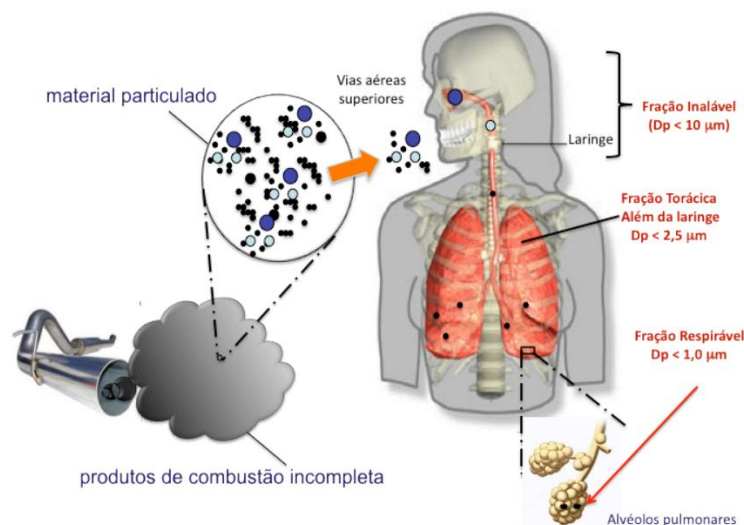


Figura 13. Frações e locais de retenção de partículas no corpo humano. Fonte: GUARIEIRO *et al.* (2011)²⁵

Segundo EPA (2019)¹⁹, o material particulado pode acarretar morte precoce (em cardíacos e doentes pulmonares), ataques e arritmias cardíacas, além de problemas respiratórios como asma, irritações, tosse e dificuldade de respirar. Vale salientar que algumas doenças de pele possuem relação com material particulado, como dermatite atópica, acne e psoríase.¹⁸

De acordo com a OMS (2016)²⁶, uma a cada nove mortes no mundo é devido à poluição do ar, e isso se mostra lógico devido ao fato que apenas uma a cada dez pessoas vive em cidades que cumprem as diretrizes de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde – OMS. É visto uma tendência de diminuição das emissões de MP_{2,5} e MP₁₀ em países da Europa e das Américas enquanto na África e em alguns países asiáticos se tem valores crescentes até muitas vezes maiores do que os recomendados pela OMS.

O setor de mineração é responsável pela emissão de particulados menores que 100 µm, sendo que as maiores partículas (acima de 30 µm) permanecem nas regiões próximas às emissões e as menores tendem a ser carregadas pelos ventos para locais mais distantes. Como já visto, esses particulados menores são os mais prejudiciais à saúde, visto que, quando menores do que 10 µm, eles não são retidos nas mucosas e no nariz atingindo diretamente os pulmões, levando a doenças como silicose e pneumoconioses devido à presença de sílica e chumbo.^{10,27}

As operações de movimentações (correias transportadoras, *bags*, vagões, navios entre outras formas de transporte), estocagem, a ação dos ventos sobre as coberturas de poeiras sobre as vias e os maquinários são grandes responsáveis pela suspensão de material particulado. Além da problemática ambiental, há um aumento do custo de manutenção devido o material particulado interferir no tempo de vida e na operação normal de máquinas e equipamentos que pode desencadear acidentes. Outro problema que se pode destacar é a grande perda de material que onera ainda mais as empresas.^{10,14,28-30}

Os particulados podem percorrer longas distâncias devido a ação dos ventos e, dependendo da composição química, afetam bacias hidrográficas, solo, florestas e diversidade de ecossistemas.^{30,31}

Condições de armazenamento e as ambientais são, também, agravantes na emissão e dispersão de particulados no setor de mineração. Formato e tamanho de pilhas, tamanho de partículas, umidade relativa do ar, temperatura ambiente e velocidade e direção do vento têm sido estudados para compreender a mecânica de erosão causada pelo vento. Segundo AFSHAR-MOHAJER e TORKIAN (2011)³⁰ a dinâmica da movimentação de partículas ocorre em dois estágios: rolagem e desprendimento. O primeiro estágio é a saída da inércia, mas sem deslocamento real, enquanto a segunda ocorre com a suspensão das partículas.

Quando a dispersão de particulados ocorre em local fechado é “mais simples” a operação de retirada dos particulados, basta ocorrer a limpeza. Essa operação deve ser realizada apenas por profissionais capacitados utilizando vestimentas adequadas e geralmente com as operações do recinto paralisadas. Quando ocorre em locais abertos, temos a dispersão também para os arredores da planta de processo o que pode infringir as leis ambientais e causar incomodo e doenças a sociedade vizinha, sendo recomendado o uso de supressores de poeira para conter a dispersão.^{14,27}

3.1.3. Controle Ambiental – Supressores de Poeira

Está havendo uma maior conscientização quanto aos malefícios dos materiais particulados e, conseqüentemente, um aumento de regulamentações de emissões. Logo, tem-se intensificado os estudos em busca de controles mais efetivos e para isso é necessário entender o funcionamento desses.²⁴ Para o controle das emissões pode-se destacar duas metodologias: extração e coleta de particulados e supressão de pó. Basicamente, a extração e coleta de particulados é realizada por equipamentos como ciclones, filtros manga, precipitadores eletrostáticos e lavadores de gases. A supressão de pó é realizada utilizando *sprays* de água ou soluções poliméricas com surfactantes para umidificar os particulados evitando sua dispersão. A extração e coleta é empregada no controle das fontes de particulados fixas e a supressão de pó é, principalmente, utilizada no controle das fontes móveis (vagões) e fixas difusas (aleatórias, como pátio de minério).^{10,14,21,27,32}

A ação dos supressores se dá em duas etapas. Quando evita a geração da emissão do particulado é denominada de supressão primária (η_1) e quando age

sobre a poeira emitida, chamada supressão secundária (η_2), conforme a Figura 14.³²

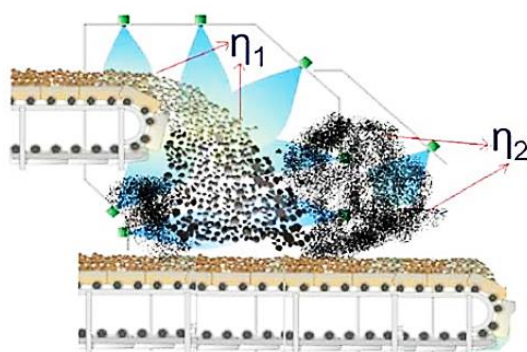


Figura 14. Supressão primária (η_1) e secundária (η_2) agindo sobre a emissão de pó. Fonte: SARTIM *et al.* (2015)³²

O uso de água para supressão do pó é amplamente difundido. A força capilar da água nos interstícios das partículas aumenta a força de adesão de forma a se opor ao cisalhamento ocasionado pelas correntes de ar inibindo a emissão de particulados. Essa metodologia possui limitações, como: baixas viscosidade e consolidação de partículas. Essa devido às partículas hidrofóbicas as quais não permitem uma adequada captura delas.^{17,21-23,29}

Uma alternativa é a utilização de soluções poliméricas com aditivos, geralmente surfactantes. Os surfactantes são substâncias químicas com características anfifílicas (possui região hidrofílica e hidrofóbica na mesma molécula) que proporcionam a interação nas interfaces fluídas com diferentes polaridades. Essa interação é responsável pela redução da tensão interfacial e/ou superficial devido à formação de microemulsões as quais podem acarretar a dispersão de substâncias com baixa polaridade em substâncias com alta polaridade e vice-versa. A redução da tensão superficial é benéfica para supressão de particulados, pois proporciona a redução do diâmetro de gota do *spray* e diminuição do ângulo de contato entre o líquido e a superfície do sólido. O uso de surfactantes diminui a quantidade de água utilizada para “molhar” um sólido mesmo sendo utilizados em pequenas quantidades (diluições de 1:700 a 1:1500). Também pode ser utilizado ar comprimido para que a aspersão seja na forma de espuma.^{10,27,29,32}

O poder de umectação era considerado fundamental para a escolha de um bom supressor e a avaliação desse poder era avaliada por parâmetros como: ângulo

de contato, absorção de partículas finas e taxas de penetração de partículas em gotículas de líquido. Contudo, o poder de umectação e a redução da tensão superficial não são os únicos meios de escolher um bom supressor. Também se pode valer de substâncias higroscópicas, que retêm a umidade suprimindo a geração de poeira, e de agentes aglutinantes, que mantêm a poeira unida mesmo depois de evaporada a água.²²⁻²⁴

Segundo SANTOS JR *et al.* (2017)^{17,21}, estudos vêm sendo realizados para compreender a efetividade dos supressores de poeira visto que a molhabilidade e, conseqüentemente, a diminuição do ângulo de contato não refletem em uma maior efetividade. Resultados preliminares indicam que a umidade, o formato das partículas e a porcentagem delas menores que 35 µm são, também, determinantes na geração e controle de particulados.

Hoje, ainda não se tem certeza de que parâmetros são os mais relevantes para a supressão. É consenso que a forma mais eficaz é o aumento de peso das partículas, seja pelo umedecimento ou aglomeração.^{17,21-23}

Segundo LIU *et al.* (2018)²⁹, a modificação química de supressores tem originado supressores com alta absorção de umidade, coagulação e solidificação, fatores que prolongam a eficiência. Segundo COPELAND e KAWATRA (2005)²² e COPELAND *et al.* (2009)²³, soluções de compostos higroscópicos são mais efetivas que água pura e possuem a mesma eficácia que soluções aquosas de surfactantes.

As soluções poliméricas formam um filme na superfície do minério. Esse filme é responsável por minimizar a ação do vento sobre o minério e não necessita ser removido antes dos processos metalúrgicos. Os polímeros estão presentes em pouca quantidade, são geralmente orgânicos e sofrem combustão em temperaturas consideradas baixas na metalurgia. Essas soluções poliméricas promovem a aglomeração de partículas e retenção de umidade. A Figura 15 a seguir mostra a aplicação de solução polimérica em vagões com minério e o filme formado sobre ele.^{14,31}

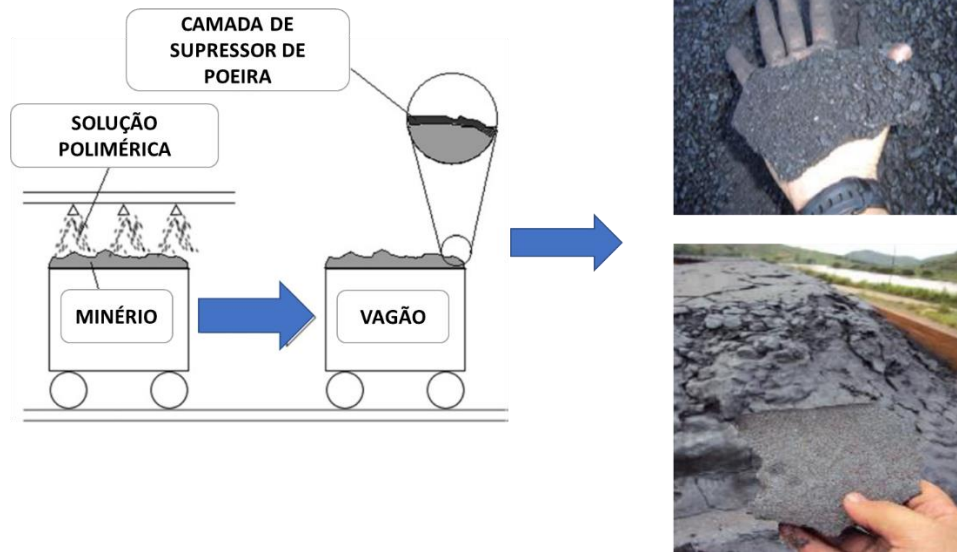


Figura 15. Aplicação de solução polimérica em vagões de minério. Em destaque a camada de supressor de poeira sobre o vagão de minério de ferro. Fonte: Adaptado de Borba (2017)¹⁴

Na EFVM não se utiliza apenas água como supressor de poeira devido a evaporação. As soluções poliméricas são aplicadas por aspersores distribuídos nos pontos de carregamento e ao longo da EFVM. A aplicação de soluções poliméricas é justificável devido à eficiência, relação custo/benefício, rápida implementação, baixo custo de manutenção e ser ecologicamente correto. O setor de mineração também utiliza o processo de aspersão em pátios de estocagem de minério, em transportes e armazenamento de matérias-primas e resíduos e na umectação de vias.^{10,14,28,32} A Figura 16, representa a utilização da técnica de supressão de pó no armazenamento em pilhas e vias.



Figura 16. Aplicação de solução polimérica em pilhas de minério e em vias. Fonte: Adaptado de BORBA (2017)¹⁴ e TAVARES (2015)¹⁰

Segundo KAVAZANJIAN *et al.* (2009)³³ o uso de biopolímeros em solo tem demonstrado ser muito efetivo para evitar erosão do solo e o desprendimento de poeira devido à ação dos ventos. Essa metodologia apresenta resultados melhores que o uso apenas de água que necessita constante rega do solo, principalmente em climas quentes e áridos. Eles aumentam a resistência do solo formando uma camada na superfície que é eficaz por muitos dias. Os biopolímeros são polímeros naturais produzidos por plantas, microrganismos ou animais ou sintetizados a partir de materiais biológicos. Suas aplicações são amplas sendo empregados em diversos segmentos industriais.

CHEN *et al.* (2015)³⁴ verificaram que supressores de poeira, com o emprego de biopolímeros, são eficazes na manutenção da umidade, aumento da resistência a erosão e penetração do solo e são utilizados, também, na poeira dos rejeitos de minas, principalmente nos solos de barragens desativadas. Os polímeros vêm se mostrando bons estabilizadores de represamento.

Segundo a NALCO (2010)²⁷, seus supressores comerciais têm tido efeitos satisfatórios no controle de particulados como pode-se perceber na Figura 17.



Figura 17. Aplicação dos surfactantes Nalco para supressão de pó em indústrias do setor de mineração. Fonte: Adaptado de NALCO (2010)²⁷

No estudo de SARTIM *et al.* (2015)³², os autores informam que a Siderurgia possui a etapa de aglomeração de minério para a produção de aço. Essa pode ser realizada por nodulização, briquetagem, pelletização e sinterização. A sinterização é empregada para produzir o sinter, que é a carga metálica que alimenta os Altos Fornos de ferro gusa, e auxilia no controle ambiental da siderurgia, pois ela utiliza pó do Alto Forno e dos precipitadores eletrostáticos, dentre outros materiais, para a produção do sinter, trabalhando para reciclagem de resíduos gerados na indústria. Ainda, de acordo com SARTIM *et al.* (2015)³², a sinterização também é produtora de material particulado seja durante a operação da máquina de sinter (emissões primárias) ou nas demais etapas do processo (emissões secundárias) como resfriamento, peneiramento, alternâncias entre correias transportadoras, dentre outras. Por isso, eles avaliaram a utilização do *spray* com surfactantes na supressão de pó na sinterização. Os resultados podem ser verificados nas Figuras 18, 19 e 20.



Figura 18. Região de descarga do Alimentador Vibratório. (a) sem uso de supressão de pó, (b) com supressão de pó. Fonte: SARTIM *et al.* (2015)³²



Figura 19. Região de transferência de correia transportadora (a) sem uso de supressão de pó, (b) com supressão de pó. Fonte: SARTIM *et al.* (2015)³²



Figura 20. Região de transferência de correia transportadora. (a) sem uso de supressão de pó, (b) com supressão de pó. Fonte: SARTIM *et al.* (2015)³²

É perceptível a efetividade da supressão de pó na descarga do Alimentador Vibratório e nas regiões de transferências entre correias. Segundo SARTIM *et al.* (2015)³² isso incentiva as empresas a investirem nessa técnica de controle ambiental dos particulados.

JIN *et al.* (2019)²⁸ relatam que supressores efetivos vêm sendo descobertos para demandas específicas. Soluções compostas com glicerol, álcool polivinílico, óxido de polietileno (PEO) apresentaram ótimos resultados como capacidade de resistir à chuva, camada espessa e endurecida na superfície aplicada e diminuição da corrosão de equipamentos.

MEDEIROS *et al.* (2012)³¹ informam que o uso de álcool polivinílico e polímeros do ácido acrílico são amplamente difundidos para os supressores de poeira e realizaram experimentos para verificar a efetividade do glicerol como supressor. Como resultado, perceberam que oligômero/polímero de glicerol é um bom supressor e, também, que o glicerol, um coproduto da produção de biodiesel, é economicamente e ambientalmente favorável.

SANTOS JR *et al.* (2017)¹⁷ e BORBA (2017)¹⁴ recomendam a utilização de túnel de vento para estudar os mecanismos de geração de poeira em vagões de trem, permitindo avaliar a efetividade de um supressor de poeira frente aos parâmetros que simulam o transporte ferroviário e as intempéries (vento, vibração etc.) que esse transporte está suscetível. O estudo de MONCIOSO (2019)³⁵ também demonstrou que o túnel de vento pode ser usado para estimar a aplicabilidade de um supressor para pilhas de minério.

Devido a efetividade de soluções poliméricas no controle de poeira e sabendo-se que compostos higroscópicos são efetivos como supressores, a busca de novos materiais como a mucilagem de sementes de chia é válida, pois é altamente absorvedora de água e biodegradável. O uso de biopolímeros é amplamente estudado devido serem provenientes de fontes renováveis, sem impacto ao meio ambiente, indo ao encontro das políticas de desenvolvimento sustentável.

Referências Bibliográficas

1. VALE S.A. **Descubra a diferença entre minério, metal, minerais e rochas.** Home, Sobre a Vale, Notícias, 01 de junho de 2018. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/descubra-diferenca-entre-minerio-metal-minerais-rochas.aspx>. Acessado em: 04 de setembro de 2019.
2. CLOUT, J. M. F.; MANUEL, J. R. **Mineralogical, chemical and physical characteristics of iron ore.** *Iron Ore - Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*. Woodhead Publishing, Chapter 2, 2015. 45-84 p.
3. ANM – Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas.** Brasília: ANM, 2020. 30p.
4. EGGER, V. A.; DA FONSECA, F. J.; DA COSTA, A. F. **Desenvolvimento Sustentável na Mineração.** *Revista Científica Intelletto*, **2 (2)**, 143-153, 2016.
5. FERNANDES, F. R. C.; ARAÚJO, E. R. **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais.** In: GUIMARÃES, P. E.; CEBADA, J. D. P (Org.). *Conflitos Ambientais na Indústria Mineira e Metalúrgica: o passado e o presente*. 65-88, 2016.
6. HOLMES, R. J.; LU, L. **Introduction: overview of the global iron ore industry.** *Iron Ore - Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*. Woodhead Publishing, Chapter 1, 2015. 1-42 p.
7. DOS GUARANY, C. A. L. B; PESSANHA, R. R.; DE FARIA, R. M.; MORGADES, R. F. K. de M.; MACIEL, G. S. **Principais Métodos de Estocagem de**

Minério de Ferro: Uma Abordagem Teórica. *Persp. Online: exatas & eng.*, **3 (6)**, 42-44, 2013.

8. DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual – Espírito Santo**. Brasília: DNPM, 2018. 20p.

9. DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Balanço Mineral Brasileiro 2001(Ferro)**. Belo Horizonte: DNPM, 2001. 27 p.

10. TAVARES, B. G. **Problemas Ambientais Associados à Movimentação Portuária de Minérios, com Ênfase em Efluentes Líquidos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. 94 p.

11. FLSMIDTH. **Stacker and reclaimer systems for cement plants**. Copenhagen – Dinamarca: FLSMIDTH, 2013. 16 p.

12. SLOSS, L. L. **Stockpile Blending**. *Blending of coals to meet power station requirements*, IEA Clean Coal Centre, Chapter 4.1, 2014. 33-37 p.

13. ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Ferrovário**. Disponível em: http://www.antt.gov.br/cargas/arquivos_old/Ferrovuario.html. Acessado em: 10 de setembro de 2019.

14. BORBA, M. V. S. **Avaliação do uso de diferentes tipos de polímeros Supressores de Pó no controle de emissões atmosféricas durante o transporte de minério de ferro na EFVM - Estrada de Ferro Vitória a Minas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico VALE (ITV), Belém – PA, 2017. 101 p.

15. TRENTIN, F. **Verificação estrutural utilizando o MEF em perfis na construção de vigas centrais em vagões ferroviários do tipo gôndola**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul – RS, 2015. 85 p.

16. BRASIL. **Programa de Parcerias de Investimentos – EFVM – Estrada de**

Ferro Vitória a Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/efvm-estrada-de-ferro-vitoria-a-minas>. Acessado em: 06 de setembro de 2019.

17. SANTOS JR, R. M.; FONTANA A. R. L.; CUNHA, A. J. L.; MESQUITA, A. L. A.; GONTIJO, C. F.; LEAL FILHO, L. S. **Experimentos em Túnel de Vento para secagem e emissão de particulados de minério de ferro em modelo de vagões de trem.** In: *XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Belém – PA, 2017. 8 p.

18. KIM, K. E.; CHO, D.; PARK, H. J. **Air pollution and skin diseases: Adverse effects of airborne particulate matter on various skin diseases.** *Life Sciences.*, **152**, 126–134, 2016.

19. EPA – United States Environmental Protection Agency. **Particulate Matter (PM) Pollution.** Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. Acessado em: 05 de setembro de 2019.

20. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 491, de 19 de Novembro de 2018.** Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acessado em: 05 de setembro de 2019.

21. SANTOS JR, R. M.; FONTANA A. R. L.; CUNHA, A. J. L.; MESQUITA, A. L. A.; GONTIJO, C. F.; LEAL FILHO, L. S. **Bancada para caracterização de emissão de poeira de minérios e técnicas de supressão de poeira.** In: *XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Belém – PA, 2017. 8 p.

22. COPELAND, C. R.; KAWATRA, S. K. **Dust suppression in iron ore processing plants.** *Miner. Metall. Process.*, **22 (4)**, 177–191, 2005.

23. COPELAND, C. R.; EISELE, T. C.; KAWATRA, S. K. **Suppression of airborne particulates in iron ore processing facilities.** *Int. J. Miner. Process.*, **93**, 232–238, 2009.

24. COPELAND, C. R.; KAWATRA, S. K. **Design of a dust tower for suppression of airborne particulates for iron making.** *Miner. Eng.*, **24 (13)**, 1459 – 1466, 2011.

25. GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. **Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão.** *Rev. Virtual Quim.*, **3 (5)**, 434–445, 2011.
26. OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.** Suíça: WHO - World Health Organization, 2016.
27. NALCO. **Dust Control Engineers to the Minerals Extraction and Processing Industry.** Wolverhampton – Reino Unido: Enviroflo Engineering Limited, 2010. 16 p.
28. JIN, H.; NIE, W.; ZHANG, Y.; WANG, H.; ZHANG, H.; BAO, Q.; YAN, J. **Development of Environmental Friendly Dust Suppressant Based on the Modification of Soybean Protein Isolate.** *Processes*, **7 (3)**, 165, 2019. 17 p.
29. LIU, Y.; NIE, W.; JIN, H.; MA, H. HUA, Y.; CAI, P.; WEI, W. **Solidifying dust suppressant based on modified chitosan and experimental study on its dust suppression performance.** *Adsorpt. Sci. Technol.*, **36 (1-2)**, 640-654, 2018.
30. AFSHAR-MOHAJER, N.; TORKIAN, A. **Diffuse Emissions of Particles from Iron Ore Piles by Wind Erosion.** *Environ. Eng. Sci.*, **28 (5)**, 333 – 339, 2011.
31. MEDEIROS, M. A.; LEITE, C. M. M.; LAGO, R. M. **Use of glycerol by-product of biodiesel to produce an efficient dust suppressant.** *Chem. Eng. J.*, **180**, 364 – 369, 2012.
32. SARTIM, R.; GOMES, T. V.; DA SILVA, B. E. C.; ROSI, T. A.; BUSATTO, F.; JÚNIOR, C. M. D. C.; COSMO, P. da C. **Estudo da aplicação da técnica de supressão de pó nas emissões secundárias de material particulado total da planta de sinterização da ArcelorMittal Tubarão.** In: *45º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 16º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 3º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro*, 2015, Rio de Janeiro – RJ. 882-890 p.
33. KAVAZANJIAN JR, E.; IGLESIAS, E.; KARATAS, I. **Biopolymer soil stabilization for wind erosion control.** In: *17th International Conference on Soil*

Mechanics and Geotechnical Engineering, Alexandria – Egypt, 2009. 4 p.

34. CHEN, R.; LEE, I.; ZHANG, L. **Biopolymer Stabilization of Mine Tailings for Dust Control**. *J. Geotech. Geoenviron. Eng*, **141 (2)**, 2015.

35. MONCIOSO, N. A. P. **Quimiometria associada à espectroscopia no infravermelho na previsão da eficiência de sequestrantes de H₂S e supressores de poeira de minério de ferro**. Tese de Doutorado. Pós Graduação em Química da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019. 100 p.

CAPÍTULO IV – BIODIESEL

4.1. Biocombustíveis

Com o aumento do consumo de energia por todo o mundo a busca por energias renováveis é de grande importância.^{1,2} Para a sociedade é indispensável a utilização de fontes energéticas. Energias não renováveis estão sendo preteridas devido à necessidade de minimizar os impactos do aumento do preço, diminuição das reservas e problemas ambientais e mudanças climáticas. causados, principalmente, pelos combustíveis fósseis.^{1,3,4}

Existem diversas fontes de energia alternativas ao uso de combustíveis fósseis, entre elas temos: as células de hidrogênio, energia solar, ventos, marés e a biomassa.^{2,5,6} Essa tem sido proposta através de processo de conversão como: torrefação gaseificação, pirólise e reações de conversão química, como é o caso da microemulsão, pirólise, hidroprocessamento e transesterificação.²

Através da biomassa é possível a obtenção de biocombustíveis. O estudo deles tem se tornado frequente devido aos benéficos ambientais dessa fonte renovável de energia. Dentre os biocombustíveis destaca-se o biodiesel que é um combustível biodegradável, não tóxico, com menor emissão de particulados e de monóxido de carbono comparando-se com o diesel. O biodiesel é uma alternativa sustentável e ecologicamente correta para esse derivado de petróleo.^{3,7}

Os primeiros testes com combustíveis alternativos foi realizado por Rudolf Diesel (1858-1913) que utilizou óleo de amendoim no funcionamento de um motor de combustão interna. Porém, devido ao alto custo, em relação ao abundante petróleo, a iniciativa foi interrompida.⁸ Sua retomada se deu na II Guerra Mundial devido à escassez de petróleo. Com o final dos conflitos, iniciou-se as exportações de petróleo do Oriente Médio tornando novamente o petróleo muito acessível desestimulando a produção dos demais combustíveis. Essas oscilações do petróleo continuaram acontecendo até que em 2005, através da Lei 11.097 o Brasil determinou a utilização da mistura diesel/biodiesel. Comercialmente, o biodiesel utiliza o termo BXX para expressar o teor dele na mistura com diesel, sendo B100 o biodiesel puro e uma mistura como B20 composta de 20 % de biodiesel e 80 % de diesel. No Brasil, iniciou-se a mistura com 2 % (B2) de biodiesel no diesel até 5 %

(B5) com o passar dos anos.⁹ O percentual chegou a ser 12 % (B12) em março de 2020, ao longo desse mesmo ano variou para 10 % (B10) terminando o ano em 11 % (B11).^{10,11}

4.2. Produção e classificação do Biodiesel

O biodiesel é produzido através da transesterificação, Figura 21, e/ou esterificação de matérias graxas com álcoois na presença de catalisadores e com aquecimento. A reação possui o glicerol (glicerina) como coproduto. O aquecimento pode ser de forma convencional, ultrassom, fluido supercrítico, em reator de membrana, destilação reativa e por micro-ondas.¹²⁻¹⁶

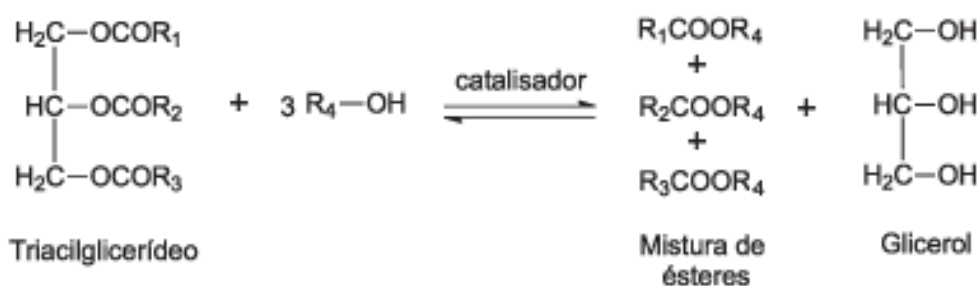


Figura 21. Reação de produção de biodiesel a partir da transesterificação de triglicerídeos

Na União Europeia os biodieseis são classificados de acordo com o tipo de matéria-prima utilizada. São considerados de primeira geração os biodieseis obtidos de matérias-primas comestíveis como óleo de soja, coco, milho, azeite entre outros. O biodiesel de primeira geração são bastante populares devido a quantidade de matérias-primas obtidas por safra e conversões mais facilitadas. O uso desses materiais como alimentos e o alto custo são as principais desvantagem. O uso de matérias-primas comestíveis eleva o custo dos produtos alimentícios.¹⁷

Os biodieseis de segunda geração utilizam matérias-primas não comestíveis como óleo de pinhão manso, algodão e mamona.¹⁸ As matérias-primas são mais baratas e não afetam a alimentação humana, como as de primeira geração. O rendimento das plantas são geralmente menores e são necessárias quantidades de álcoois maiores.¹⁷

Os óleos residuais, gorduras animais e de microalgas são as matérias-primas dos biodieseis de terceira geração. Suas vantagens são elevada produtividade,

baixo impacto no efeito estufa, no abastecimento alimentar e baixo custo da matéria-prima. A desvantagem é que exigem grandes investimentos dependendo do material.^{17,18}

As especificações, custo, composição e rendimentos dos biodieséis são dependentes das matérias-primas utilizadas. A escolha delas está diretamente ligada à disponibilidade e aspectos econômicos da região de produção sendo que no Canadá utiliza-se óleo de canola, no Brasil e EUA o óleo de soja, na Indonésia e Malásia os óleos de coco e palma e o óleo de colza na Itália, Alemanha, Finlândia e Reino Unido.¹⁸ No contexto brasileiro outras matérias-primas em proporção muito menor, além do óleo de soja, são utilizadas na produção de biodiesel, Figura 22.

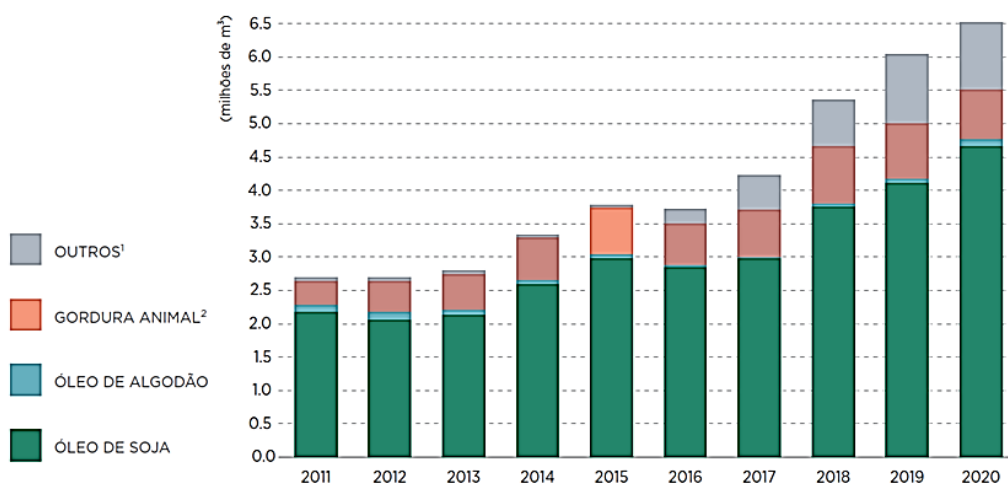


Figura 22. Evolução anual da utilização de matérias-primas oleosas na produção do biodiesel brasileiro. Fonte: Adaptado de ANP (2021)¹¹

O uso direto desses óleos e gorduras não é recomendado devido à alta viscosidade e a formação de grandes depósitos de carbono nos motores.^{4,6} Após a obtenção do óleo, geralmente, são necessários os processos de refino para a remoção de impurezas como sólidos, água e outros materiais que possam atrapalhar na conversão do óleo em biodiesel. As características das matérias-primas influenciam no processo de refino sendo necessários processos de filtragem, degomagem, desacidificação, desidratação entre outros. A desacidificação é necessária para eliminar ácidos graxos livres e outros interferentes como metais pesados, fenol, fosfatídeos e compostos graxos oxidados e a desidratação para remoção de água. Ambos os processos favorecem a produção de biodiesel frente à produção de sabões na reação de transesterificação, principalmente pela eliminação

de água.¹⁸

A razão estequiométrica (1:3) necessita ser maior em relação ao álcool devido à reversibilidade da reação. Desloca-se o equilíbrio de forma a favorecer a produção dos alquil ésteres e glicerol. Os álcoois preferencias são os primários etanol e metanol produzindo-se etil éster de ácidos graxos (FAEE, em inglês *fatty acid ethyl esters*) e metil éster de ácidos graxos (FAME, em inglês *fatty acid methyl esters*), respectivamente. O uso do metanol é mais disseminado devido ao baixo custo, facilidade de separação da glicerina e maiores rendimentos na produção de biodiesel mesmo sendo tóxico.^{5,19,20}

A produção de biodiesel pode ser realizada em processos em batelada ou contínuo. As diferenças entre eles são principalmente o custo de implementação e o tempo de reação. Os processos em batelada utilizam reatores de volume muito grandes para a produção de biodiesel em quantidade adequada e possuem conversão de 80-94 % em tempos de 30 minutos a 2 horas. Processos contínuos são menores, diminuindo o custo de implementação, e são processados em tempos muito curtos, em alguns casos na razão 1 minuto em processo contínuo equivale a 1 hora do processo em batelada. Eles vêm empregando maiores concentrações de álcool para a transesterificação, o que aumenta o custo de produção.²¹

Os catalisadores são utilizados nas reações de produção de biodiesel e são classificados como homogêneos e heterogêneos.^{5,16,19} Catalisadores heterogêneos básicos possuem seis categorias: óxidos metálicos simples e misto, metais alcalinos terrosos suportados, zeólitas, hidrotalcitas e resinas de troca iônica. Eles são preferíveis aos heterogêneos ácidos devido ao melhor comportamento em relação à água e ácidos graxos livres. Os catalisadores heterogêneos permitem reutilização e facilitam a separação de fases e tratamento dos resíduos ¹⁹

Os catalisadores homogêneos são ácidos ou básicos (H_2SO_4 , NaOH e KOH, os principais). Os catalisadores básicos são amplamente utilizados devido a temperaturas e tempos mais baixos de reação e menor custo. A utilização de óleos e gorduras com ácidos graxos livres (AGL) maior que 3 % dificultam a utilização desse tipo de catalisador devido à concorrência entre as reações de saponificação e de produção de biodiesel que acarreta um menor rendimento e dificulta a purificação do

biodiesel. Nesses casos, a catalise ácida é mais indicada.^{4,16,19}

A presença de água em catálise básica diminui o rendimento das reações podendo tornar o processo inviável devido à competição da transesterificação com a saponificação. A água pode reagir com os ácidos graxos e os alquil ésteres produzindo sabão.²¹

4.3. Biodiesel no Brasil

O Biodiesel produzido no Brasil tem que seguir as normas determinadas pela ANP que em 2014 publicou o Resolução N°45 no qual especifica as características do biodiesel (B100) e as obrigações de controle de qualidade para comercialização dele no território nacional. A Tabela 3 apresenta algumas especificações do biodiesel.¹²

Tabela 3. Especificações do Biodiesel (B100) segundo ANP (2014)¹²

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas
Massa específica a 20° C	kg/m ³	850 a 900
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 a 6,0
Teor de água, máx.	mg/kg	200,0
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24
Ponto de fulgor, mín.	°C	100,0
Teor de éster, mín	% massa	96,5
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx.	-	1
Número Cetano (6)	-	Anotar
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02
Glicerol total, máx. (10)	% massa	0,25
Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,7
Diacilglicerol, máx.	% massa	0,20
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,20
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20
Índice de Iodo	g/100g	Anotar
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.	hora	12
(Redação dada pela Resolução ANP N° 798 DE 01/08/2019).		

Através dessas especificações assegura-se a qualidade do biodiesel sendo

obrigatório a recusa do recebimento em caso de não conformidade e a mesma deve ser comunicada a ANP em até 48 horas.¹²

A produção brasileira vem aumentando aos longos dos anos, Figura 23, atingindo 6,4 milhões de m³ de biodiesel em 2020 correspondendo cerca de 63 % da capacidade total de produção (10,2 milhões de m³) que o país possui, Figura 24. A região sul foi, em 2020, a maior produtora nacional destacando-se o Rio Grande do Sul que produziu aproximadamente 28 % da produção nacional.¹¹

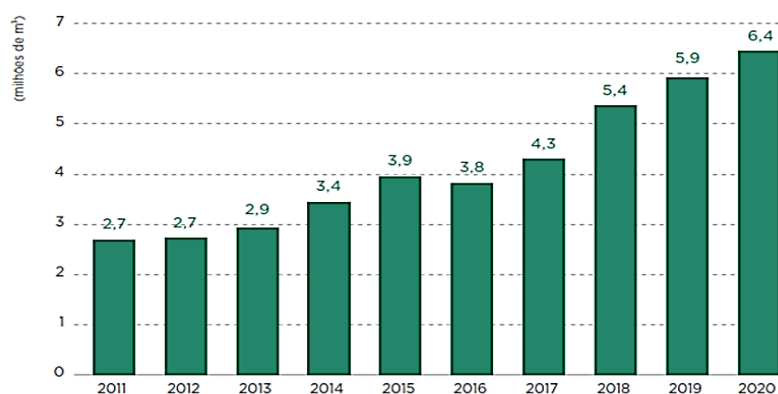


Figura 23. Evolução anual da produção brasileira de biodiesel (B100). Fonte: Adaptado de ANP (2021)¹¹

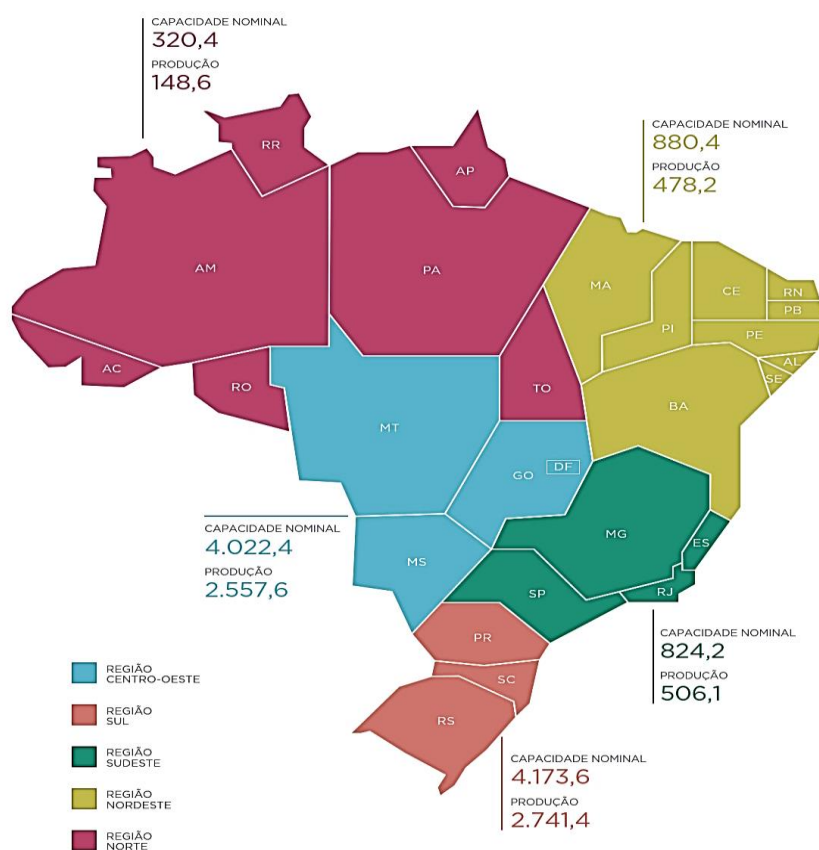


Figura 24. Evolução anual da produção brasileira de biodiesel (B100). Fonte: Adaptado de ANP (2021)¹¹

O custo da produção de biodiesel ainda é alto e, por isso, novas matérias-primas e tecnologias estão sendo buscadas para diminuir o custo.²⁰

Uma das possibilidades de novas matérias-primas são as fora do padrão da INSTRUÇÃO NORMATIVA ANVISA IN 87/2021. Ela apresenta as espécies vegetais, designações e a composição de ácidos graxos, determina os índices de acidez e peróxidos máximos para os óleos e gorduras vegetais destinados a comercialização para consumo.²² A Tabela 4 apresenta esses valores máximos em relação ao tipo de óleo ou gordura.

Tabela 4. Especificações de índices de acidez e peróxidos para óleos e gorduras vegetais.²²

Tipo de óleo ou gordura	Índice de acidez (máx.)	Índice de peróxido (máx.)
Óleos e gorduras refinados	0,6 mgKOH/g	10 mEq/kg
Óleos prensados a frio e não refinados	4,0 mgKOH/g	15 mEq/kg

Óleo de palma virgem

10,0 mgKOH/g

enquadrar aos valores
acima

As matérias-primas propostas neste trabalho são os óleos impróprios para o consumo, seja pelo fato de estarem vencidos ou apenas fora das especificações da IN 87/2021. Essa proposta tem por objetivo aumentar a disponibilidade de matérias-primas para a produção de biodiesel, dando uma destinação ambientalmente mais correta do que o descarte em aterros sanitários. Essa destinação pode até mesmo gerar receita para as empresas visto que a resolução da ANVISA (RDC 24/2015) salienta que o recolhimento e destinação final dos produtos impróprios ou fora da validade é de competência das empresas produtoras e distribuidoras observando as normas ambientais.^{22,23}

Referências Bibliográficas

1. SHARMA, A.; KODGIRE, P.; KACHHWAHA, S. **Biodiesel production from waste cotton-seed cooking oil using microwaveassisted transesterification: Optimization and kinetic modeling.** *Renewable Sustainable Energy Rev.*, **116**, 109394, 2019.
2. PHROMPHITHAK, S.; MEEPOWPAN, P.; SHIMPALEE, S.; TIPPAYAWONG, N. **Transesterification of palm oil into biodiesel using ChOH ionic liquid in a microwave heated continuous flow reactor.** *Renewable Energy*, **154**, 925 – 936, 2020.
3. ZHANG, L.; XIN, Z.; LIU, Z.; OU, Y.; YE, Z.; LI, Z. **Microwave-assisted catalytic transfer hydrogenation of biodiesel at constant microwave power.** *Fuel*, **270**, 117510, 2020.
4. SUPRAJA, K., V.; BEHERA, B.; PARAMASIVAN, B. **Optimization of process variables on two-step microwave-assisted transesterification of waste cooking oil.** *Energy Sources, Part A.*, 2019.
5. LEADBEATER, N. E., STENCEL, L. M. **Fast, Easy Preparation of Biodiesel Using Microwave Heating.** *Energy & Fuels*, **20**, 2281–2283, 2006.
6. YARI, N.; MOSTAFAEI, M.; NADERLOO, L.; ARDEBILI, S. M. S. **Energy**

indicators for microwave-assisted biodiesel production from waste fish oil. *Energy Sources, Part A*, 2019.

7. EL SHERBINY, S. A.; REFAAT, A. A.; EL SHELTAWY, S. T. **Production of biodiesel using the microwave technique**. *J. Adv. Res.*, **1**, 309-314, 2010.
8. SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. **70º Aniversário do Biodiesel em 2007: Evolução Histórica E Situação Atual No Brasil**. *Quim. Nova*, **30 (8)**, 2068-2071, 2007.
9. BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm. Acesso em: 13 de setembro de 2021.
10. BRASIL. **Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016**. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13263.htm. Acesso em: 13 de setembro de 2021.
11. ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2021. 264p.
12. ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). **Resolução Nº45, de 25 de agosto de 2014**. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014>. Acesso em: 14 de setembro de 2021.
13. NAYAK, M. G.; VYAS, A. P. **Optimization of microwave-assisted biodiesel production from Papaya oil using response surface methodology**. *Renewable Energy*, **138**, 18-28, 2019.
14. DUBÉ, M. A.; TREMBLAY, A. Y.; LIU, J. **Biodiesel production using a**

membrane reactor. *Bioresour Technol.*, 98 (3), 639–647, 2007.

15. PRADANA, Y. S.; HIDAYAT, A.; PRASETYA, A.; BUDIMAN, A. **Biodiesel production in a reactive distillation column catalyzed by heterogeneous potassium catalyst.** *Energy Procedia*, **143**, 742-747, 2017.

16. HSIAO, M. C.; KUO, J. Y.; HSIEH, P. H.; HUO, S. S. **Optimized conversion of waste cooking oil to biodiesel using modified calcium oxide as catalyst via a microwave heating system.** *Fuel*, **266**, 117114, 2020.

17. EASAC – European Academies Science Advisory Council (European Union). **The current status of biofuels in the European Union, their environmental impacts and future prospects.** Halle/Saale (Germany): DVZ-Daten-Service GmbH, 2012.

18. SINGH, D.; SHARMA, D.; SONI, S.L.; SHARMA, S.; SHARMA, P. K.; **A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel.** *Fuel*, **262**, 116553, 2020.

19. ALI, M. A. M.; GIMBUN, J.; LAU, K. L.; CHENG, C. K.; VO, D. V. N.; LAM, S. S.; YUNUS, R. M. **Biodiesel synthesized from waste cooking oil in a continuous microwave assisted reactor reduced PM and NO_x emissions.** *Environ. Res.*, **185**, 109452, 2020.

20. ALLAMI, H. A.; TABASIZADEH, M.; ROHANI, A.; FARZAD, A.; NAYEBZADEH, H. **Precise evaluation the effect of microwave irradiation on the properties of palm kernel oil biodiesel used in a diesel engine.** *J. Cleaner Prod.*, **241**, 2019.

21. LERTSATHAPORNISUK, V., RUANGYING, P., PAIRINTRA, R., KRISNANGKURA, K. **Continuous transesterification of vegetable oils by microwave irradiation.** *Proceedings of the 1st conference on energy network*, Thailand. 2005.

22. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). **Instrução Normativa (IN) N°87, de 15 de março de 2021.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-87-de-15-de-marco-de-2021-309008143>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

23. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). **Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) N°24, de 08 de junho de 2015**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-24-de-8-de-junho-de-2015.pdf/view>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

CAPÍTULO V – APLICAÇÃO 1: USO DA MUCILAGEM COMO SUPRESSORA DE POEIRA

Supressão de material particulado de minério de ferro utilizando mucilagem de chia (*Salvia hispanica* L.)

Artigo publicado na RVQ - Revista Virtual de Química, 2021, Volume 13, No. 2, DOI: [10.21577/1984-6835.20200154](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200154)

5.1. Introdução

Materiais particulados são partículas suspensas no ar, líquidas ou sólidas.^{1,2} Sabe-se que mesmo em baixas concentrações, dependendo do diâmetro, são responsáveis por danos significativos a saúde, sendo considerados os maiores causadores de doenças respiratórias e cardiovasculares. Visando padronizar e regular a emissão dessas partículas, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA - Environmental Protection Agency) classificou, em 1987, as partículas menores ou iguais a 2,5 µm de diâmetro (MP 2,5) e entre 2,5 – 10,0 µm de diâmetro (MP10) como as mais danosas.^{1,3-5}

O setor de mineração é responsável pela emissão de materiais particulados menores que 100 µm, sendo que as maiores partículas (acima de 30 µm) permanecem nas regiões próximas às emissões e, as menores tendem a serem carregadas pelo vento.⁶ Os materiais particulados podem percorrer longas distâncias devido à ação do vento e, dependendo da composição química, afetam bacias hidrográficas, solo, florestas e à diversidade de ecossistemas.^{7,8}

Para o controle das emissões de materiais particulados se pode empregar a técnica de supressão de pó utilizando sprays de água ou soluções poliméricas para umidificar os particulados, evitando sua dispersão. A supressão de pó é utilizada principalmente, no controle das fontes móveis (vagões) e fixas difusas (aleatórias, como um pátio de minério).^{3,6,9-11}

De acordo com SARTIM *et al.*,⁹ a ação dos supressores se dá em duas etapas: a supressão primária, quando evita a emissão do particulado e a supressão

secundária, quando age sobre a poeira emitida.

O uso de água para supressão do pó é amplamente difundido.^{3,12} Essa metodologia é eficaz, porém ela possui limitações como: baixa viscosidade e consolidação de partículas devido às partículas hidrofóbicas que não permitem uma captura adequada.^{4,5,13}

Atualmente, não se tem certeza de quais parâmetros são os mais relevantes para a supressão. Entretanto, é consenso que a forma mais eficaz é o aumento do peso das partículas, seja pelo umedecimento ou pela aglomeração.^{3-5,12}

Segundo LIU *et al.*,¹³ fatores como alta absorção de umidade, coagulação e solidificação prolongam a eficiência de um supressor de poeira. Conforme COPELAND *et al.*,^{4,5} soluções de compostos higroscópicos são mais efetivas que água pura.

Após a aplicação de soluções poliméricas de supressores de poeira em minério, forma-se um filme de proteção na superfície. Esse filme é responsável por minimizar a ação dos ventos sobre o minério e não necessita ser removido antes dos processos metalúrgicos, pois os polímeros estão presentes em pouca quantidade, são geralmente orgânicos e sofrem combustão em temperaturas consideradas baixas na metalurgia.⁷ Essas soluções também promovem a aglomeração de partículas e retenção de umidade.

Devido a efetividade de soluções poliméricas no controle de poeira e sabendo-se que compostos higroscópicos são efetivos como supressores, a busca por novos materiais como a mucilagem de sementes de chia é válida, pois essa mucilagem é altamente absorvedora de água, além de ser biodegradável.

A chia (*Salvia hispanica* L.) é um alimento consumido pelos povos mesoamericanos desde 3.500 a.C.^{14,15} A comumente denominada semente de chia é o seu fruto. A semente da chia, na verdade, está dentro desse fruto que possui ainda um pericarpo, células ósseas e o endocarpo em volta da semente. Mas, a designação semente de chia deve ser utilizada para o fruto para uma melhor compreensão e adequação à nomenclatura comercial.^{16,17}

A semente de chia foi, inicialmente, estudada por Frei Bernardino de Sahagun

durante a colonização espanhola, entre os anos de 1548 e 1580 e teve um hiato até a década de 90 quando pesquisadores argentinos, em conjunto com a Universidade do Arizona retomaram as pesquisas. A popularização dos seus benefícios a saúde vem tornando a chia um alimento funcional popular nos mercados da América Latina, EUA, Ásia e Oceania. As sementes, a farinha, a mucilagem e o óleo da chia são importantes devido suas propriedades físico-químicas.¹⁷⁻¹⁹

As sementes são grande fonte de nutrientes como proteínas, lipídeos (principalmente os ácidos graxos ômega-3 e ômega-6), fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes.^{17,18,20,21} As fibras presentes na chia possuem propriedades físico-químicas interessantes. Na presença de água, por exemplo, as sementes liberam uma parte dessas fibras na forma de um gel claro denominado mucilagem, que permanece firmemente ligado à semente e vem sendo aplicado na formação de emulsões e no espessamento devido à grande retenção de água e óleos.^{16,22}

A mucilagem da chia é um gel heteropolissacarídeo aniônico pseudoplástico que resulta da liberação de filamentos que se linearizam totalmente na presença de água e distribuem-se ao redor da semente. Na semente, a mucilagem representa 5-6 % (m/m) da massa, possui alto peso molecular (800 – 2000 kDa) e sua produção ocorre pelas células presentes no epicarpo da semente que o fazem inchar na presença de água e, com o fim da elasticidade, liberam a mucilagem por toda a superfície dela.^{17-19,23,24}

A estrutura química da mucilagem foi proposta devido a estudos de hidrólise parcial e total que resultaram em um tetrassacarídeo composto na proporção 2:1:1 de monômeros β -D-xilose, α -D-glicose e ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico, respectivamente. A Figura 25 representa a estrutura do tetrassacarídeo evidenciando os monômeros, propostos para a mucilagem.^{18,25,26}

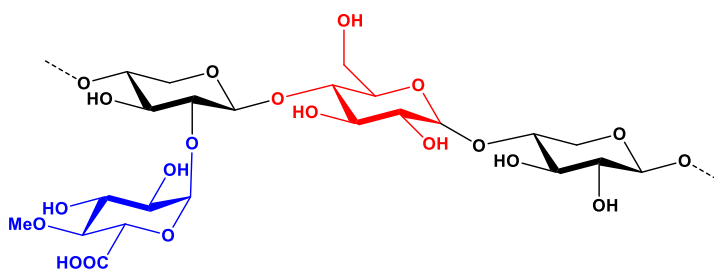


Figura 25. Estrutura do gel heteropolissacarídeo evidenciando as estruturas dos monômeros β -D-xilose (preto), α -D-glicose (vermelho) e ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico (azul). Fonte: Adaptado de LOPES (2017)²⁷

A mucilagem é atóxica e biodegradável, mas sua aderência à semente requer etapas de extração para que possa ser utilizada industrialmente.²⁴

Dentre as aplicações da chia destacam-se os produtos alimentícios, farmacêuticos, condicionantes de solo e repelentes de insetos. Essas aplicações se dão devido aos poderes de formação de espuma, espessante, gelificante, quelante, e da presença de óleos essenciais repelentes.^{15,19,24,26,28,29}

Esse artigo propõe a utilização da mucilagem da chia para a supressão de material particulado de minério de ferro em vagões, sendo esse transporte simulado em túnel de vento com vagão em escala 1:20 (43,0 x 11,5 x 10,0 cm) em relação as dimensões reais. Nessa proposta de utilização da mucilagem não haverá danos à semente para que futuramente se possa aproveitar, por exemplo, seu óleo gerando assim valor agregado. Dessa forma, se contribui para o estado da arte de aplicações desse alimento, introduzindo-o na indústria de mineração e possibilitando o aproveitamento da mucilagem pelas indústrias de beneficiamento de chia.

5.2. Parte Experimental

5.2.1. Sementes de chia

As sementes de chia foram adquiridas no comércio local do município de Serra, Espírito Santo, Brasil. Elas são uma mistura de sementes pretas e brancas e passaram pelo processo de catação onde materiais indesejáveis (pedras e sementes quebradas) foram retirados.

5.2.2. Determinação de composição centesimal

A determinação da proteína bruta, fibra bruta, gordura total (lipídeos), cinzas (resíduo mineral fixo) e umidade foram realizadas no Laboratório Agrolab em Vila Velha, Espírito Santo, Brasil. Os procedimentos foram realizados conforme metodologias do Instituto Adolfo Lutz.³⁰

A estimativa do conteúdo de carboidratos foi calculada a partir das

porcentagens de proteínas, fibras, lipídeos, cinzas e umidade, conforme TAVARES e CAPITANI *et al.*,^{14,16} segundo a Eq. 1:

$$\text{Carboidratos \% (m/m)} = 100 - (\text{proteínas} + \text{fibras} + \text{lipídeos} + \text{cinzas} + \text{umidade}) \quad \text{Eq. 1}$$

5.2.3. Obtenção da mucilagem de chia

A forma de obtenção foi adaptada de LOPES (2017)²⁷. A mucilagem utilizada na caracterização foi obtida a partir de um sistema semente/água com concentração de semente de 5,0 % (massa/massa). Para o teste de supressão de poeira, foram estudadas as concentrações de semente de 2,0 %, 1,0 %, 0,5 % e 0,0 % (massa/massa). Para ambos o sistema foi agitado por 3 horas com agitador mecânico (Modelo 175, 70W, FISATOM BRASIL) à temperatura ambiente (24°C). A mucilagem foi removida da semente com a utilização de um liquidificador de mão (Modelo FPSTHB2801-017, 550W, OSTER®), por 30 segundos. As hélices foram revestidas com fita de silicone (NEXCARE®, 3M®). O sistema foi filtrado em tecido 100 % poliéster com abertura de, aproximadamente, 0,8 mm (20 mesh). Para a caracterização, a filtração foi realizada sobre um tabuleiro de secagem antiaderente. Esse, para secagem, foi colocado em estufa a temperatura de 50°C durante 24 horas. Para o teste de supressão de poeira, a filtração foi em um balde de PEAD, com tampa, e o filtrado foi armazenado sob refrigeração até a utilização.

Para a caracterização da mucilagem foram empregadas análises de calorimetria de varredura diferencial (DSC) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

5.2.4. Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)

Para a análise de DSC foi utilizado o equipamento da empresa TA Instruments, modelo Q200, sob atmosfera inerte (N₂), no Laboratório Multiusuário de Instrumentação do LabPetro (UFES, Brasil). Os ensaios foram realizados em cadinho e haste de alumina, taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹ de 20°C até a temperatura de 400°C com fluxo de N₂ de 50 mL.min⁻¹, com amostras de 1,415 mg.

5.2.5. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR foram obtidos em um espectrofotômetro Perkin Elmer

Spectrum 400 utilizando como parâmetros 32 *scans* (varreduras) e resolução de comprimento de 2 cm^{-1} e janela espectral de $4000\text{-}650\text{ cm}^{-1}$. Utilizou-se o modo de Reflectância Total Atenuada (ATR) com cristal horizontal de seleneto de zinco (ZnSe). As análises de FTIR foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Instrumentação do LabPetro (UFES, Brasil).

5.2.6. Análise de Supressão de Poeira

Baseados em BORBA (2017)¹⁰, os experimentos foram conduzidos em um túnel de vento, Figura 26, onde se simulou o transporte ferroviário de minério de ferro.

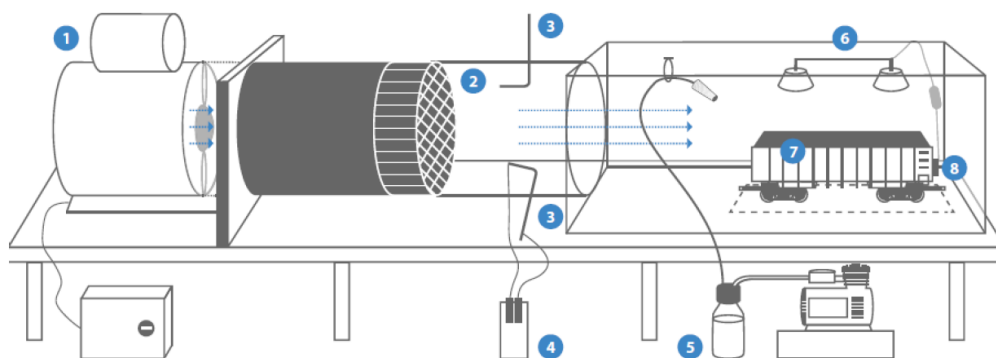


Figura 26. Equipamento de túnel de vento. 1. Controlador do motor de ventilador industrial (Modelo AVR-F 500/20, rotação máxima 3540 rpm, 7 hélices arredondadas de 15x6 cm, OTAM®); 2. Retificador de fluxo de ventos; 3. Tubo de Pitot; 4. Manômetro; 5. Sistema de aspersão de água; 6. Lâmpadas incandescentes; 7. Protótipo de vagão de minério do tipo gôndola, em escala 1:20 (43,0 x 11,5 x 10,0 cm); 8. Módulo de vibração.

Para os testes foram pesados cerca de 4 kg de minério de ferro, previamente secos em estufa à 50°C por 24 horas, sobre uma forma e adicionou-se 6 % (240 g), em base seca, de água até completa homogeneização. Em seguida, pesou e registrou-se a massa do protótipo de vagão (Figura 27A). Por fim, foi adicionado o minério de ferro úmido ao vagão sem que houvesse compactação e usado um molde com abertura triangular para o formato da pilha sobre o vagão. A massa do sistema vagão e minério de ferro (Figura 27B) foi anotada para determinação da massa de minério seco e quantidade de água inicial.

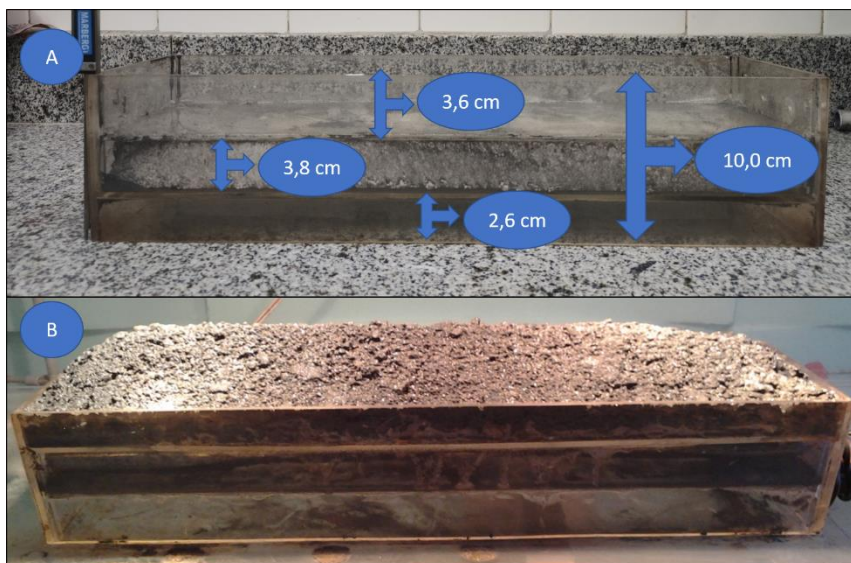


Figura 27. A - Protótipo de vagão de minério do tipo gôndola (3,6cm para preenchimento de minério, 3,8 cm preenchido com poliestireno expandido e 2,6cm de base). B – Protótipo preenchido com minério de ferro.

Então, se aspergiu 100 g de solução de teste (2,0 %, 1,0 %, 0,5 % e 0,0 %), supressor de poeira, sobre a superfície do minério de ferro de forma homogênea. O sistema foi levado ao túnel de vento onde permaneceu sob ação de duas lâmpadas por 30 minutos. Posteriormente, o sistema foi pesado e inserido, novamente, no túnel de vento e foram ligados o motor em velocidade compatível a 60 km/h (velocidade do vento aferida pelo Tubo de Pitot) e o sistema de vibração, com acionamento por temporizador a cada 15 minutos. A cada uma hora de teste, o túnel de vento era desligado e a massa do sistema era registrada, descontando-se a massa do protótipo.

Os procedimentos descritos para análise de supressão de poeira foram, também, utilizados para testar três produtos comerciais denominados Comercial 1, Comercial 2 e Comercial 3. Eles foram testados na concentração de 1 % indicada pelos fornecedores.

5.3. Resultados e Discussão

A composição centesimal das sementes de chia está apresentada na Tabela 5. Elas possuem grande porção de proteínas sendo maior do que as de outros cereais como arroz, cevada, aveia, trigo e milho (6,50, 12,48, 16,89, 13,68 e 9,42 %, respectivamente).¹⁵ Segundo TAVARES (2016)¹⁴, chias de origem no México, Chile e

Argentina apresentaram quantidade de lipídeos de 30-33 % m/m e as brasileiras apresentaram de 27,8 % m/m, sendo semelhante ao encontrado nesse estudo (27,50 % m/m). Variações nas concentrações de lipídeos são comuns devido à dependência de fatores climáticos e variedade dos grãos. Os valores de umidade e cinzas estão de acordo com os valores encontrados para chias brasileiras e de outras regiões, conforme TAVARES (2016)¹⁴ e CAPITANI *et al.* (2013)¹⁶.

Tabela 5. Composição centesimal das sementes de chia.

Parâmetros	Resultados (%)
Proteína bruta	19,10
Gordura total (lipídeos)	27,50
Fibra bruta	22,20
Cinzas (resíduo mineral fixo)	4,70
Umidade	7,44
Carboidratos	19,06

O processo de obtenção de mucilagem para caracterização obteve um rendimento de 5,92 %. GOH *et al.* (2016)¹⁷ relata que os rendimentos de obtenção de mucilagem variam de 5 – 12,56 %. Ressalta-se que a forma de obtenção proposta nesse trabalho facilita o *scale-up* do procedimento e não é uma proposta destrutiva para remoção da mucilagem permitindo o aproveitamento dos demais constituintes das sementes de chia.

No termograma de DSC da mucilagem (Figura 28) nota-se a presença de uma transição endotérmica e duas exotérmicas. A endotérmica possui um pico em 54,56°C correspondente à perda de umidade. Devido ao armazenamento em frasco fechado, após a obtenção, a mucilagem não possuía grandes quantidades de água, diferenciando assim dos valores obtidos por HERNÁNDEZ (2012)¹⁵, TIMILSENA *et al.* (2016)³¹ e PUNIA e DHULL (2016)³², 86,2°C, 97,5°C e 107,9°C, respectivamente. ZOHURIAAN e SHOKROLAHI (2004)³³ encontraram o valor próximo de 62,7°C, para hidroxietil celulose com umidade de 5,8 % e afirmaram que essa transição é devido à natureza hidrofílica dos grupos funcionais de polissacarídeos naturais e modificados. Ainda se tem uma transição exotérmica com um pico intenso (304,89°C) e um suave (362,54°C), conforme descrito por ZOHURIAAN e SHOKROLAHI (2004)³³. Esses picos são devidos, geralmente, a processos de decomposição e despolimerização. De acordo com HERNÁNDEZ (2012)¹⁵ e

TIMILSENA *et al.* (2016)³¹ o pico intenso é resultante da degradação oxidativa do polissacarídeo. Segundo ZOHURIAAN e SHOKROLAHI (2004)³³ e PUNIA e DHULL (2016)³², a formação de H₂O, CO, CH₄ e CO₂ são prováveis nas transições térmicas à essas temperaturas.

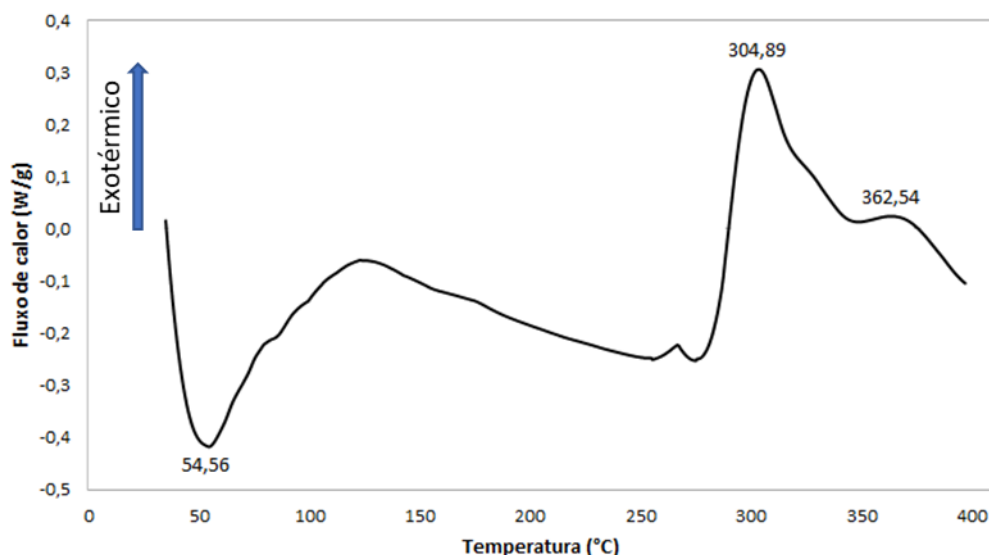


Figura 28. Termograma DSC da mucilagem de chia.

Na Figura 29, observa-se o espectro de infravermelho no qual destacam-se os sinais em, aproximadamente, 3259 cm⁻¹, 2916 cm⁻¹ e na região entre 990-1200 cm⁻¹ que são provenientes do estiramento O-H, C-H de grupos -CH₂ de sacarídeos, simultaneamente, e estão presentes em todos os polissacarídeos.^{15,31,34,35} Com base em LOPES e FASCIO (2004)³⁶ o formato do sinal entre 1026 cm⁻¹ e 1147 cm⁻¹ se deve aos álcoois primários, secundários e alquil-éter predominantes na estrutura da mucilagem. Conforme GARCÍA-SALCEDO *et al.*(2018)³⁵, o sinal de 883 cm⁻¹ corresponde à gorduras insaturadas. De acordo com GOH *et al.* (2016)¹⁷ e TIMILSENA *et al.* (2016)³¹ o sinal em 1410 cm⁻¹ é devido à presença de ácido urônico que possui estiramento simétrico de grupos carboxílicos nessa região. TIMILSENA *et al.* (2016)³¹ atribui a região entre 3000 e 2800 cm⁻¹ à sinais de estiramento de grupos metílicos (-CH₃) e o sinais entre 1800 e 1500 cm⁻¹, à presença de ácidos carboxílicos.

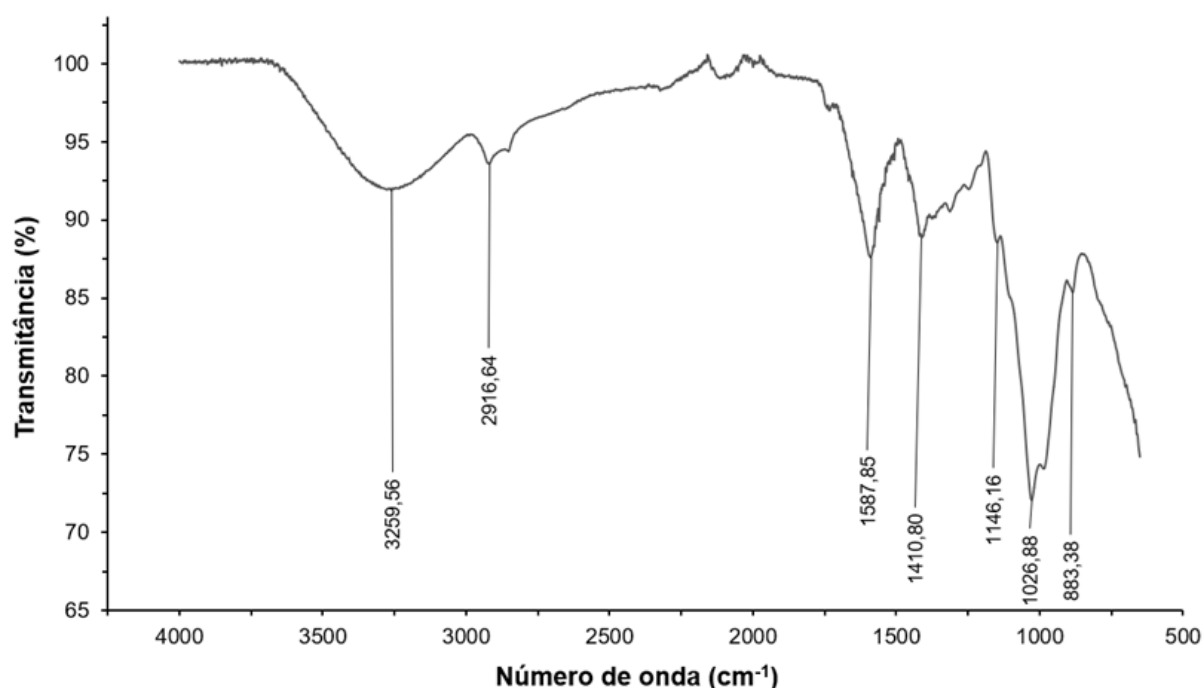


Figura 29. Espectro de FTIR da mucilagem de chia.

Os testes de supressão de poeira foram realizados em vagão de acrílico na proporção 1:20 em relação ao tamanho real. O vagão foi confeccionado em acrílico devido ao peso total do protótipo e a facilidade de visualizar as camadas de minério. Já o tamanho é bastante representativo e possui uma área superficial de minério, exposta as ações do vento, de aproximadamente 661 cm².

O minério de ferro foi previamente seco e adicionado água para garantir a umidade, em base seca, de aproximadamente 6 %, conforme proposto por BORBA (2017)¹⁰. Essa é uma umidade comum para minérios de ferro transportados nas ferrovias brasileiras.

A adição de supressor de poeira foi de 100 g o que representa uma quantidade de 0,15 g.cm⁻² (1,5 L.m⁻²). Ao avaliarmos esse resultado com a área superficial na escala de 1:20 verificamos que em escala real seriam utilizados cerca de 40 L de supressor por vagão.

A velocidade dos ventos utilizada foi de cerca 60 Km.h⁻¹, pois corresponde à velocidade dos trens que percorrem uma das principais estradas de ferro do Brasil, a Estrada de Ferro Vitória-Minas.¹⁰

<i>Massa Total</i> (minério + água + supressor) (g)	3480,80	3544,91	3565,63	3518,99	3284,07	3464,18	3483,22	3427,13
<i>Umidade Inicial Total</i> (água + solução de supressor) (%, em Base Seca)	9,14	9,08	9,45	9,49	9,72	9,55	9,53	9,58
RESULTADOS DOS TESTES								
<i>(Final) 8ª hora</i>	3289,64	3310,38	3369,17	3311,81	*	*	*	*
<i>Após 8ª hora e</i>								
<i>Secagem em 12 horas à</i>	3217,59	3259,23	3273,09	3226,23	*	*	*	*
<i>105°C</i>								
<i>Umidade Final do</i>								
<i>Minério</i>	2,24	1,57	2,94	2,65	*	*	*	*
<i>(%, em Base Seca)</i>								
<i>Variação Umidade do</i>								
<i>Minério (%)</i>	6,90	7,51	6,52	6,84	*	*	*	*
<i>Massa Residual Total (g)</i>	100,21	60,46	111,48	97,96	*	*	*	*
<i>Massa Residual "Seca"</i>								
<i>(g)</i>	28,16	9,31	15,40	12,38	*	*	*	*

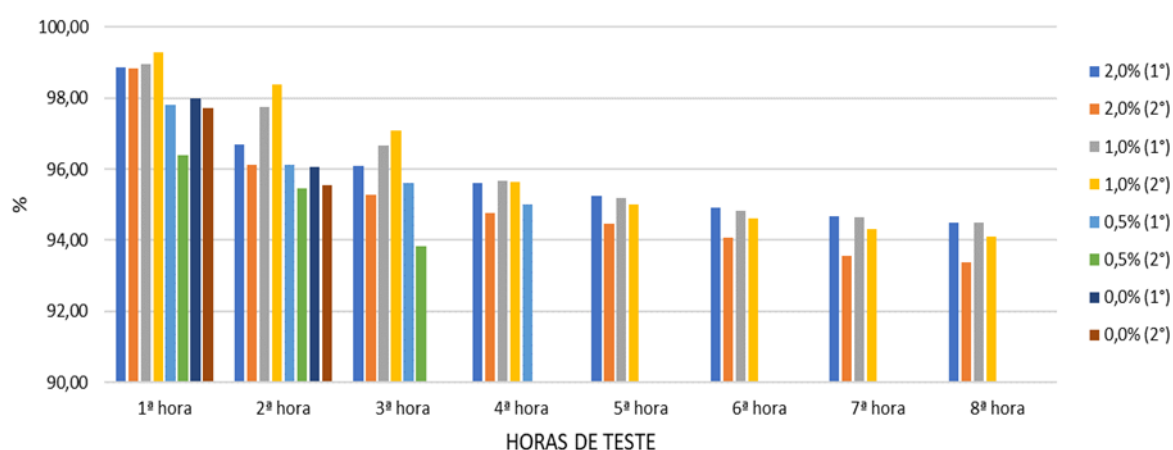


Figura 30. Avaliação da perda percentual de massa durante os testes.

Nota-se que, apesar das condições adversas o supressor na concentração de 2,0 % resistiu aos testes. Após 8 horas de testes o minério de ferro, inicialmente a 6 % de umidade, ainda continha de 1,5-2,2 % de umidade, demonstrando que o supressor de poeira é capaz de reter água, como já era esperado devido ao fato de

a mucilagem ser higroscópica. Finalizados os testes, o sistema ainda continha de 60 – 100 g de material residual (umidade inicial + massa de supressor) impedindo o desprendimento de minério.

Em seguida, o sistema foi levado a estufa (105°C) por 12 horas para avaliar a quantidade de material seco que ainda restava. Os resultados foram de 28,16 g e 9,31 g demonstrando que o filme formado, além de resistir aos testes, continha água incorporada, possibilitando testes superiores a 8 horas. A Figura 31 mostra a espessura de filme formada junto à superfície de minério para teste à 2,0 %, após o tempo em estufa. A espessura variou entre 2 a 4 mm e se apresentou na forma de placas firmes que podiam ser seguradas sem que ocorresse esfarelamento.

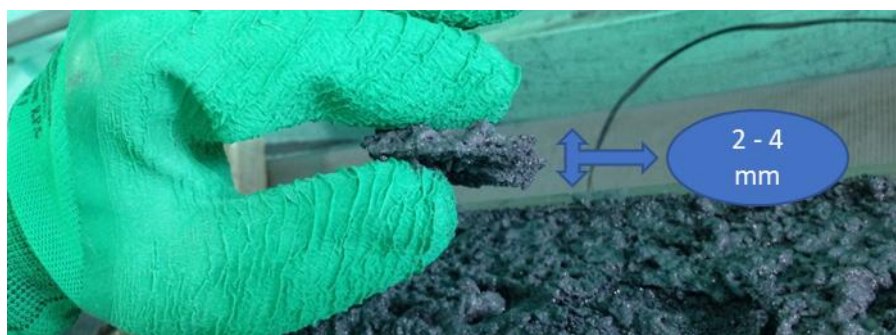


Figura 31. Detalhes da espessura do filme formada sobre o minério, após teste e secagem.

Os mesmos procedimentos foram realizados para os testes com supressor na concentração de 1,0 %. Essa concentração se mostrou eficaz para as condições estudadas.

O supressor na concentração de 0,5 % não suportou os testes e, o filme formado sobre o vagão de minério entre a 4ª e 5ª hora (Teste 5) e 3ª e 4ª hora (Teste 6) quebrou, conforme as Figuras 30 e 32A. Nota-se que a ruptura do filme ocorreu em um dos lados e não por inteiro. A quebra do filme ocorreu em um ponto e se propagou por uma grande área, demonstrando que a forma de aplicação pode ter grande influência na eficácia de um supressor, devendo assim ser mais estudada.

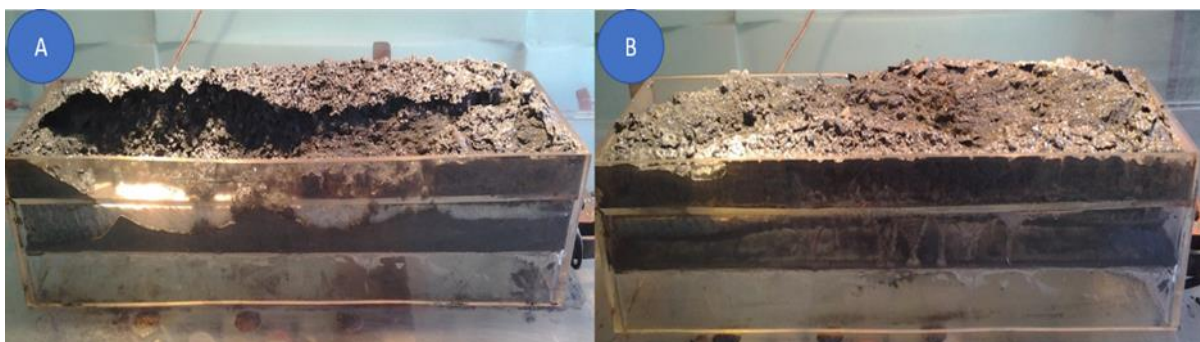


Figura 32. A – Sistema com mucilagem de concentração de 0,5% (m/m) após a quebra do filme. B – Sistema aspergido com água após a quebra do filme.

A utilização de água como supressor também não tolerou os testes (Testes 7 e 8). Entre a 2ª e 3ª hora ocorreu a quebra do filme (Figuras 30 e 32B) em ambos os estudos, demonstrando a ineficácia da utilização de apenas água como supressor de poeira para o transporte ferroviário. A propagação da quebra ocorreu de forma tão rápida que não se pode afirmar se o início foi em um determinado ponto ou ocorreu de forma generalizada por toda a superfície.

Ainda pela Figura 30 pode-se notar que as duas primeiras horas de teste são as que apresentaram maior perda de massa para a concentração de 2,0 % e, para a concentração de 1,0 %, isso acontece nas quatro primeiras horas. Afirma-se que a grande perda de massa foi de água devido a incompleta formação do filme da mucilagem durante os períodos citados, e como a concentração de 1,0 % possui menor quantidade de mucilagem, esta demorou mais tempo para formar o filme ideal para supressão. Supõe-se que o efeito predominante na supressão de poeira é inicialmente exercido pela água e em seguida pelo filme da mucilagem formado nas camadas superficiais do minério.

Também foram realizados testes com três produtos comerciais para avaliar a efetividade dos supressores de poeira à base de chia. A Figura 33A apresenta a comparação dos resultados obtidos para o parâmetro umidade, no qual foram avaliadas a umidade inicial e final, além da variação dessas. A Figura 33B demonstra as temperaturas e umidades ambientais médias, durante os testes.

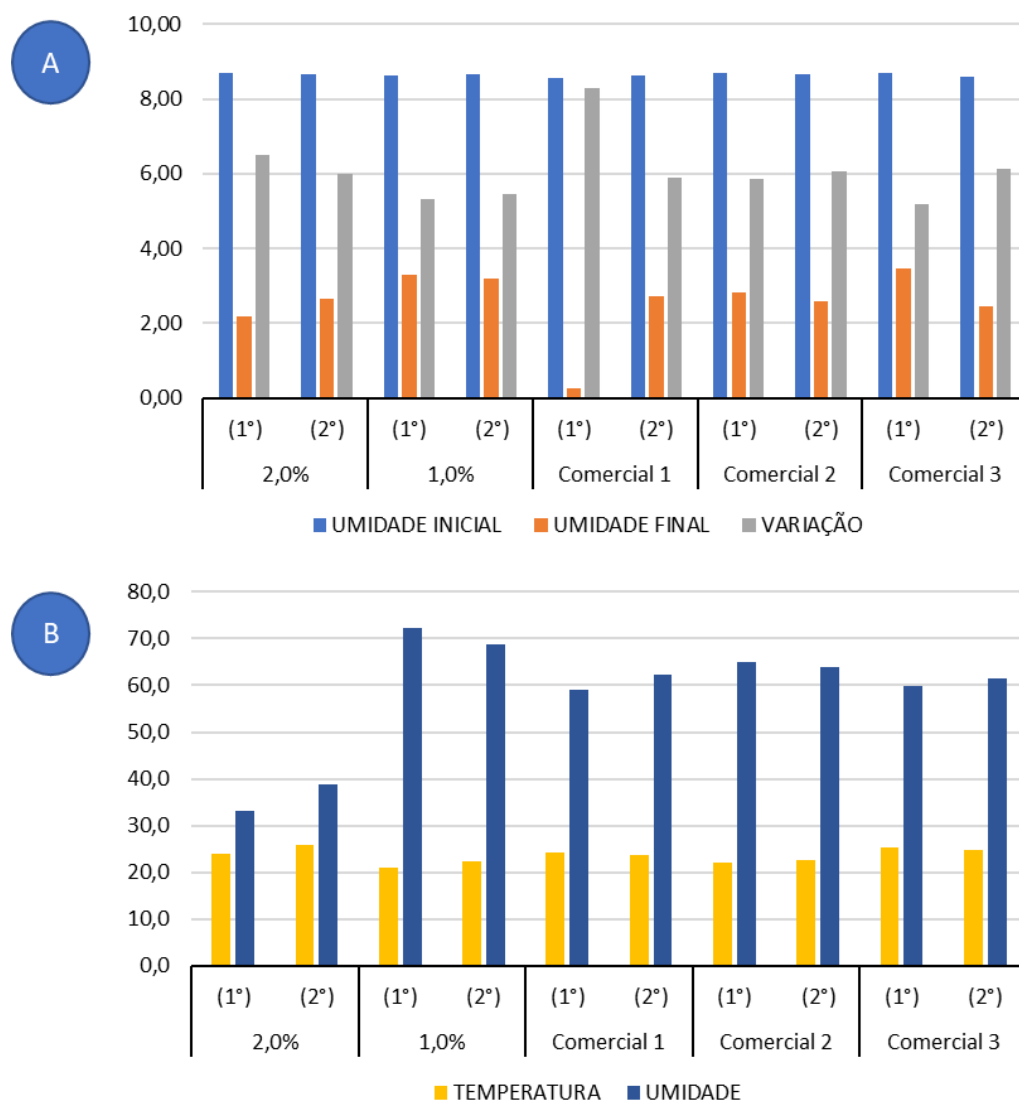


Figura 33. A – Resultados de umidade inicial e final para os testes; B – Temperaturas e Umidades ambientais médias durante os testes. (1°) – primeiro teste; (2°) – segundo teste; 2,0 % e 1,0 % – concentração de sementes de chia.

Percebe-se que os supressores propostos, a 2,0 % e 1,0 % de sementes são comparáveis aos três produtos comerciais testados. A umidade final dos testes se deve às condições ambientais, mas também à formação de filme sobre o minério durante os testes. Esse filme é responsável por, reter a água no minério e dificultar o arraste mecânico de minério pela ação dos ventos.

Os resultados de umidade para o produto Comercial 1 apresentam maior diferença entre os testes. Isso demonstra a importância da realização de testes, no mínimo em duplicata, para a comprovação da efetividade de um supressor de poeira.

5.4. Conclusões

Os resultados desse estudo demonstraram uma forma fácil e rápida de se obter a mucilagem de chia para a utilização no transporte ferroviário de minério de ferro. A mucilagem de chia demonstrou excelentes resultados como supressor de poeira na simulação de transporte em vagões do tipo gondola, permitindo a retenção de material particulado que é prejudicial à saúde humana. A utilização de concentração de 2,0 % (m/m) de semente de chia em água se mostrou com alto poder de formação de filme sendo capaz de resistir a simulação de velocidade dos ventos em 60Km/h e dias com baixa umidade relativa do ar em um transporte ferroviário. Já uma concentração de 1,0 % (m/m) possui um desempenho satisfatório para dias com umidade relativa do ar mais elevada e temperatura média mais amena. A água não mostrou eficiência para a retenção do material particulado. O supressor de poeira à base de chia demonstrou efetividade comparável aos produtos comerciais testados. Estudos posteriores sobre a influência de parâmetros como: posição, tempo, intensidade de vibração e formas de aplicação, devem ser realizados para melhor compreensão e simulação do transporte real de minério de ferro em ferrovias. Também devem ser realizados estudos para avaliar a qualidade do óleo de chia que permanece presente nas sementes após remoção da mucilagem e, sendo de boa qualidade, propor o aproveitamento total do conteúdo da chia (mucilagem, óleo e biomassa).

Referências Bibliográficas

1. EPA – United States Environmental Protection Agency. **Particulate Matter (PM) Pollution**. Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. Acessado em: 05 de setembro de 2019.
2. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 491, de 19 de Novembro de 2018**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acessado em: 05 de setembro de 2019.
3. SANTOS JR, R. M.; FONTANA A. R. L.; CUNHA, A. J. L.; MESQUITA, A. L. A.; GONTIJO, C. F.; LEAL FILHO, L. S. **Experimentos em Túnel de Vento para**

secagem e emissão de particulados de minério de ferro em modelo de vagões de trem. In: *XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Belém – PA, 2017. 8 p.

4. COPELAND, C. R.; KAWATRA, S. K. **Dust suppression in iron ore processing plants.** *Miner. Metall. Process.*, **22 (4)**, 177–191, 2005.

5. COPELAND, C. R.; EISELE, T. C.; KAWATRA, S. K. **Suppression of airborne particulates in iron ore processing facilities.** *Int. J. Miner. Process.*, **93**, 232–238, 2009.

6. NALCO. **Dust Control Engineers to the Minerals Extraction and Processing Industry.** Wolverhampton – Reino Unido: Enviroflo Engineering Limited, 2010. 16 p.

7. MEDEIROS, M. A.; LEITE, C. M. M.; LAGO, R. M. **Use of glycerol by-product of biodiesel to produce an efficient dust suppressant.** *Chem. Eng. J.*, **180**, 364 – 369, 2012.

8. AFSHAR-MOHAJER, N.; TORKIAN, A. **Diffuse Emissions of Particles from Iron Ore Piles by Wind Erosion.** *Environ. Eng. Sci.*, **28 (5)**, 333 – 339, 2011.

9. SARTIM, R.; GOMES, T. V.; DA SILVA, B. E. C.; ROSI, T. A.; BUSATTO, F.; JÚNIOR, C. M. D. C.; COSMO, P. da C. **Estudo da aplicação da técnica de supressão de pó nas emissões secundárias de material particulado total da planta de sinterização da ArcelorMittal Tubarão.** In: *45º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 16º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 3º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro*, 2015, Rio de Janeiro – RJ. 882-890 p.

10. BORBA, M. V. S. **Avaliação do uso de diferentes tipos de polímeros Supressores de Pó no controle de emissões atmosféricas durante o transporte de minério de ferro na EFVM - Estrada de Ferro Vitória a Minas.** Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico VALE (ITV), Belém – PA, 2017. 101 p.

11. TAVARES, B. G. **Problemas Ambientais Associados à Movimentação Portuária de Minérios, com Ênfase em Efluentes Líquidos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. 94 p.
12. SANTOS JR, R. M.; FONTANA A. R. L.; CUNHA, A. J. L.; MESQUITA, A. L. A.; GONTIJO, C. F.; LEAL FILHO, L. S. **Bancada para caracterização de emissão de poeira de minérios e técnicas de supressão de poeira**. In: *XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Belém – PA, 2017. 8 p.
13. LIU, Y.; NIE, W.; JIN, H.; MA, H. HUA, Y.; CAI, P.; WEI, W. **Solidifying dust suppressant based on modified chitosan and experimental study on its dust suppression performance**. *Adsorpt. Sci. Technol.*, **36 (1-2)**, 640-654, 2018.
14. TAVARES, L. S. **Extração e caracterização da mucilagem e de subprodutos da semente de chia (*Salvia hispanica* L.)**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, 2016. 109 p.
15. HERNÁNDEZ, L. M. **Mucilage from chia seeds (*Salvia Hispanica*): microestructure, physico-chemical characterization and applications in food industry**. Doctoral thesis in Engineering Sciences. Office of Research and Graduate Studies of Pontificia Universidade Catolica de Chile (PUC-Chile), Santiago de Chile, 2012. 120 p.
16. CAPITANI, M. I.; IXTAÍNA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. **Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina**. *J Sci Food Agric*, **93**, 3856 – 3862, 2013.
17. GOH, K. K. T.; MATIA-MERINO, L.; CHIANG, J. H.; QUEK, R.; SOH, S. J. B.; LENTLE, R. G. **The physico-chemical properties of chia seed polysaccharide and its microgel dispersion rheology**. *Carbohydr. Polym.*, **149**, 297 – 307, 2016.
18. COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. **Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos** *Braz. J. Food Technol.*, **17 (4)**, 259 – 268, 2014.

19. MUÑOZ, L. A.; COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J. M. **Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration** *J Food Eng.*, **108**, 216 – 224, 2012.
20. DA SILVA, B. P.; ANUNCIAÇÃO, P. C.; MATYELKA, J. C. DA S.; LUCIA, C. M. D.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. **Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places.** *Food Chem.*, **221**, 1709 – 1716, 2017.
21. SEGURA-CAMPOS, M. R.; CIAU-SOLIS, N.; ROSADO-RUBIO, G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA, D. **Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México.** *Agric. Sci.*, **5 (3)**, 220 – 226, 2014.
22. CAPITANI, M.I.; SPORTORNO, V.; NOLASCO, S.M.; TOMÁS, M.C. **Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina.** *LWT--Food Sci. Technol.*, **45**, 94 – 102, 2012.
23. TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; KASAPIS, S.; ADHIKARI, B. **Rheological and microstructural properties of the chia seedpolysaccharide.** *Int. J. Biol. Macromol.*, **81**, 991 – 999, 2015.
24. BRÜTSCH, L.; STRINGER, F. J.; KUSTER, S.; WINDHAB, E. J.; FISCHER, P. **Chia seed mucilage – a vegan thickener: isolation, tailoring viscoelasticity and rehydration.** *Food Funct.*, **10**, 4854 - 4860, 2019.
25. SALGADO-CRUZ, M. DE LA P.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; CHANONA-PÉREZ, J.; FARRERA-REBOLLO, R. R.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, J. V.; DÍAZ-RAMÍREZ, M. **Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. Amicrostructural and image analysis study.** *Ind. Crops Prod.*, **51**, 453 – 462, 2013.
26. Di MARSICO, A.; SCRANO, L.; AMATO, M.; GÀMIZ, B.; REAL, M.; COX, L. **Mucilage from seeds of chia (*Salvia hispanica* L.) used as soil conditioner; effects on the sorption-desorption of four herbicides in three different soils.** *Sci. Total Environ.*, **625**, 531 – 538, 2018.

27. LOPES, A. C. **Mucilagem de chia e sua utilização no processamento de biscoito salgado isento de glúten.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, 2017. 73 p.
28. ZETTEL, V.; HITZMANN, B. **Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products.** *Trends Food Sci. Technol.*, **80**, 43 – 50, 2018.
29. LÓPEZ, D. N.; INGRASSIA, R.; BUSTI, P.; WAGNER, J.; BOERIS, V.; SPELZINI, D. **Effects of extraction pH of chia protein isolates on functional properties.** *LWT – Food Sci. Technol.*, **97**, 523 – 529, 2018.
30. IAL - Instituto Adolfo Lutz; **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos**, 1a ed. digital, Insituto Adolfo Lutz: São Paulo, 2008.
31. TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; KASAPIS, S.; ADHIKARI, B. **Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds.** *Carbohydr. Polym.*, **136**, 128-136, 2016
32. PUNIA, S.; DHULL, S. B. **Chia seed (*Salvia hispanica* L.) mucilage (a heteropolysaccharide): Functional, thermal, rheological behaviour and its utilization.** *Int. J. Biol. Macromol.*, **140**, 2019, *in press*.
33. ZOHURIAAN, M. J.; SHOKROLAHI, F. **Thermal studies on natural and modified gums.** *Polym. Test.*, **23(5)**, 575-579, 2004.
34. FREITAS, F.; ALVES, V. D.; PAIS, J.; COSTA, N.; OLIVEIRA, C.; MAFRA, L.; HILLIOU, L.; OLIVEIRA, R.; REIS, M. A. M. **Characterization of an extracellular polysaccharide produced by a *Pseudomonas* strain grown on glycerol.** *Bioresour. Technol.*, **100(2)**, 859-865, 2009.
35. GÁRCIA-SALCEDO, A. J.; TORRES-VARGAS, O. L.; DEL REAL, A.; CONTRETAS-JIMÉNEZ, B.; RODRIGUEZ-GARCIA, M. E. **Pasting, viscoelastic, and physicochemical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) flour and mucilage.** *Food Struct.*, **16**, 59 – 66, 2018.
36. LOPES, W. A.; FASCIO, M. **Esquema para interpretação de espectros de**

substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Quim. Nova*, **27(4)**, 670-673, 2004.

CAPÍTULO VI – APLICAÇÃO 2: INFLUÊNCIA DA SECAGEM DA MUCILAGEM NA SUPRESSÃO DE POEIRA E USO DE ÓLEO PARA BIODIESEL

Avaliação da Mucilagem de Chia em Pó como Supressora de Poeira de Minério de Ferro e Aproveitamento do Óleo de Chia, Impróprio para o Consumo, na Produção de Biodiesel

Artigo submetido à RVQ - Revista Virtual de Química.

6.1. Introdução

Na agroindústria é comum a obtenção de mais de um produto a partir de uma mesma matéria-prima como a obtenção do óleo e farelo de soja ou das diferentes peças de carne de um mesmo animal. A essa obtenção é dado o nome de Produção Conjunta e seus produtos são classificados como coprodutos, subprodutos e sucatas.^{1,2}

Os produtos principais são chamados coprodutos e são responsáveis por um faturamento significativo da empresa. Os subprodutos são aqueles materiais que não possuem representatividade no faturamento em comparação com os coprodutos e são obtidos no processo produtivo normal da empresa. As sucatas são produtos com valor de venda baixo ou condições ruins de comercialização sejam por serem consideradas descartes ou imperfeitas aos clientes. Esses produtos são diferenciados basicamente pelo valor comercial que possuem para a empresa.^{1,2} Na indústria de transformação da chia temos como coprodutos e subprodutos as sementes, o óleo, a farinha/biomassa e a mucilagem, sendo essa ainda não comercializada diretamente para o mercado.

A chia (*Salvia hispânica L.*) é uma planta herbácea anual que varia de 1 a 2 metros de altura, não suporta o frio e a falta de sol, necessita de baixa quantidade de água para cultivo e é comum em regiões montanhosas do México e Guatemala³⁻⁵ A semente é o produto comercial e possui um rendimento de 500 – 600kg por hectare e plantios em países da América Central e do Sul, além do México, Austrália e Europa, localidade onde é cultivada em estufas. Na Argentina já obtiveram 2500kg

de semente por hectare em cultivo controlado. O plantio não necessita de pesticidas e produtos químicos para pragas devido as folhas conterem óleos essenciais repelentes.^{3,4,6}

A composição e o desempenho das sementes de chia são dependentes de vários fatores entre eles o ambiente de cultivo.^{4,5,7} As sementes possuem entre 15,0-34,1 % de proteínas, 27,0-40,0 % de lipídeos, 19,0-42,1 % de carboidratos e 18,0-34,4 % de fibras entre outros componentes.^{3,6,8-11}

Parte dessas fibras é composta pela mucilagem, um tetrassacarídeo formado por monômeros β -D-xilose, α -D-glicose e ácido 4-O-metil- α -D-glicurônico na proporção 2:1:1, respectivamente.^{12,13} Ela é liberada no contato da semente com água e permanece aderida a superfície necessitando força mecânica para sua separação.¹⁴ Polissacarídeos como esse têm a capacidade de formar ligações de hidrogênio com a água através dos grupos hidroxila, os átomos de oxigênio dos anéis e os que ligam um anel a outro. A grande quantidade de ligações de hidrogênio possíveis faz com que essas substâncias tenham ampla afinidade pela água facilitando a hidratação.¹³

Segundo SALGADO-CRUZ *et al.* (2013),¹⁵ a mucilagem da chia retém água ao mesmo tempo que impede que ela penetre na semente. Os autores indicam que isso pode ser devido à alta absorção de água pela mucilagem. Di MARSICO *et al.* (2018),¹⁶ relatam que ela se comporta de forma hidrofóbica após a perda de água e formação de filme. GAMA *et al.* (2021),¹¹ utilizaram essas características para o aproveitamento da mucilagem como supressora de poeira de minério de ferro. O estudo foi realizado sem avaliar os processos de secagem da mucilagem. Isso é importante para determinar a melhor forma de comercialização dela, seja na forma de pó ou em solução, sendo a solução mais cara para as indústrias de mineração devido aos custos com transporte.

Os pós obtidos pela desidratação da mucilagem têm sua capacidade de reidratação afetada pelos métodos de secagem sendo mais aconselhável processos de liofilização devido a preservação da estrutura biopolimérica, mesmo ocorrendo perda na força do gel.¹⁴ Isso demonstra a importância do estudo da influência dos métodos de secagem da mucilagem para as aplicações pretendidas.

As sementes de chia também possuem elevado teor de óleo de alto valor nutricional devido à grande parcela de ácidos graxos como linolênico (ômega-3) e linoleico (ômega-6) que apresentam benefícios fisiológicos e reduz risco de doenças. O consumo tem aumentado devido a sua utilização como alimento funcional por trazer benefícios a saúde humana, não apresentar efeitos adversos ou alérgicos e reduzir risco de doenças cardiovasculares e cânceres. Contudo, para a comercialização do óleo de chia, ele deve-se enquadrar na mais recente instrução normativa publicada pela ANVISA.^{9,17-19}

Em março de 2021 a ANVISA publicou a INSTRUÇÃO NORMATIVA (IN) 87/2021 na qual se encontra as espécies vegetais, designações, composição de ácidos graxos e índices de acidez e peróxidos máximos para os óleos e gorduras vegetais voltados para o consumo humano. Óleos e gorduras que não se enquadrem nos índices estabelecidos devem passar por tratamentos que os adequem podendo torná-los mais caros. Ressalta-se que um óleo comestível comercializado fora dos padrões seja por causa de alterações dos seus parâmetros ou por atingir a data de vencimento deve ser recolhido e ter destinação ambiental correta pelo seu fabricante.^{20,21} Para fornecer novos coprodutos e subprodutos para a agroindústria da chia, esse artigo tem por objetivo o estudo da influência dos processos de secagem convencional e por aspersão (*spray drying*) da mucilagem na aplicação dela como supressora de poeira de minério de ferro e destinação de óleos de chia, em desacordo com as exigências da IN 87/2021 e/ou vencidos, como mais uma matéria-prima para a indústria do biodiesel.

6.2. Experimental

6.2.1. Sementes de chia

As sementes de chia, utilizadas nesse trabalho, foram compradas em comércio de produtos naturais no município da Serra (ES-Brasil). Houve a necessidade de retirada de materiais como sementes quebradas e outros materiais como gravetos e pedras. As sementes continham como composição centesimal (massa/massa): 19,10 % de proteína bruta, 27,50 % de lipídeos, 22,20 % de fibra bruta, 4,70 % de cinzas, 7,44 % de umidade e 19,06 % de carboidratos.

6.2.2. Mucilagem de chia

A mucilagem foi extraída das sementes em sistema semente/água a 5,0 % (massa/massa) conforme GAMA *et al.* (2021),¹¹ com adaptações no processo de secagem.

Após o desprendimento da mucilagem da semente, o sistema foi filtrado em bandeja de silicone para desidratar a mucilagem em estufa (50°C por 24 horas) e em balde de PEAD para secagem por aspersão em equipamento *Spray Dryer* (Modelo ADL311S, Yamato Scientific America (Waltham, EUA). As mucilagens foram reservadas em pó para avaliação da eficiência como supressores de poeira de minério. As mucilagens obtidas foram analisadas por calorimetria de varredura diferencial (DSC) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

As sementes foram secas em desidratador (Modelo PD-15, Polidryer (Viçosa, Brasil)) e separadas para posterior análise de composição centesimal e comparação com as sementes in natura. As secagens das sementes e a da mucilagem por aspersão foram realizadas pelo Laboratório de Operações Unitárias – UFES/ALEGRE.

6.2.3. Análise de Supressão de Poeira

Os testes de supressão de poeira foram realizados em simulador de transporte ferroviário de minério, conforme Gama *et al.* (2021).¹¹

Para cada teste de supressão de poeira foram necessários 4 kg de minério de ferro (secos por 24 horas à 50°C, em estufa) homogeneizados com 240 g de água (umidade de 6 %, em base seca). Sem compactação, esse minério umedecido foi adicionado ao protótipo de vagão ferroviário, previamente pesado. Utilizou-se molde triangular para formatação da pilha sobre o vagão. Logo após, pesou-se todo o conjunto (protótipo + vagão). Através da massa de minério úmido adicionada foi possível determinar a quantidade de minério seco e de água dentro do vagão.

Em seguida, pulverizou-se a solução supressora de poeira contendo 120 mg de mucilagem em pó dissolvidas em 100 g de água. O protótipo foi colocado no simulador sob duas lâmpadas por 30 minutos. Os sistemas de ventilação e vibração foram ligados em condições de fornecerem ventos de 60 km.h⁻¹ e vibração a cada 15

minutos, respectivamente. Em intervalos de 1 hora, os sistemas foram desligados e o conjunto (protótipo com minério) foi pesado para verificação de perda de massa. Após 8 horas, o teste foi considerado concluído e o conjunto pesado e levado a estufa por 12 horas a 105°C. Com o fim desse período, o conjunto foi pesado novamente e determinadas a umidade final e massas residuais.

6.2.4. Determinação de composição centesimal

As sementes separadas da mucilagem foram secas a 50°C por 16 horas em estufa e submetidas a análise de composição centesimal de acordo com IAL (2008).²² Foram empregadas as metodologias 036/IV Proteína Bruta – Método Kjeldahl clássico, 044/IV Fibra bruta, 032/IV Lipídios ou extrato etéreo – Extração direta em Soxhlet, 018/IV Resíduo por incineração – Cinzas, 012/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem direta em estufa a 105°C. Como em CAPITANI *et al.* (2013) e TAVARES (2016),^{18,23} a determinação dos carboidratos foi realizada por meio indireto através da Equação 1:

$$\text{Carboidratos \% (m/m)} = 100 - (\text{proteínas} + \text{fibras} + \text{lipídios} + \text{cinzas} + \text{umidade}) \quad \text{Eq. 1}$$

6.2.5. Obtenção de óleo de chia e produção de Biodiesel

A sementes secas foram prensadas, sem aquecimento prévio, utilizando um extrator de óleo de rosca sem fim (Modelo X3T, YTK (Shenzhen, China)). O óleo obtido foi comparado com o óleo comercial quanto aos índices de acidez (325/IV – Determinação de acidez), peróxido (326/IV – Determinação do índice de peróxido), saponificação (327/IV – Determinação do índice de saponificação), iodo (329/IV – Determinação do índice de iodo pelo método Wijs), conforme IAL (2008)²², além de massa específica e data de fabricação,

A produção de biodiesel foi realizada através da reação de transesterificação do óleo de chia utilizando razão molar 1:6 (óleo/metanol) com catalisador hidróxido de potássio (1% m/m óleo). A reação ocorreu a 60 °C com aquecimento em banho de glicerina e refluxo. Após separação das fases (aquosa/orgânica), o biodiesel foi seco com sulfato de sódio anidro e, em seguida, em estufa a 50 °C por 1 hora.

A caracterização do biodiesel foi feita a partir dos parâmetros viscosidade cinemática a 40 °C (ASTM D-445), massa específica a 20 °C (ASTM D-1298), teor

de água (ASTM D-6304), ponto de fulgor (ASTM D-93), número de acidez (ASTM D-664) e corrosão a lâmina de cobre (ASTM D-130).

Foram utilizados espectros de infravermelho para avaliar as mudanças oriundas da transesterificação do óleo de chia.

6.2.6. Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)

A análise de DSC foi realizada em atmosfera inerte (N₂), fluxo de 50mL.min⁻¹, com cadinho e haste de alumina, aquecimento a 10°C.min⁻¹ com temperaturas de 20°C a 400°C. Equipamento: TA Instruments (Newcastle, EUA), modelo Q200.

6.2.7. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Foram obtidos espectros de 4000-650cm⁻¹, resolução de 2cm⁻¹ com 32 *scans*. Modo ATR (Reflectância Total Atenuada) com cristal horizontal de ZnSe (seleneto de zinco). Equipamento: Espectrofotômetro Perkin Elmer (Waltham, EUA), modelo Spectrum 400.

Os ensaios de DSC e FTIR foram realizados no Laboratório Multiusuário de Instrumentação do LabPetro (UFES, Vitória, Brasil).

6.3. Resultados e Discussão

Nesse trabalho avaliamos possíveis diferenças nas mucilagens de chia secas em estufa e por aspersão. A secagem em estufa e por aspersão resultaram em um rendimento de extração das mucilagens de 6,13 % e 1,26 %, respectivamente. O rendimento em estufa é condizente com GOH *et al.* (2016) (5 – 12,56 % de rendimento).²⁴ A secagem por aspersão (*spray drying*) foi uma metodologia mais rápida. Mas, obteve-se um baixo rendimento que se deve a necessidade de otimização dos parâmetros inerentes ao processo, como: vazões de entrada da solução e de ar comprimido, diâmetro do bico de aspersão, temperatura do ar de secagem, entre outros. Estudos posteriores da otimização dos parâmetros devem ser realizados para melhor emprego da técnica.

Através dos termogramas, Figura 34, para as diferentes formas de secagem é possível verificar que possuem transições endotérmicas e exotérmicas na mesma

região de temperatura. A transição endotérmica ($\sim 50^{\circ}\text{C}$) correspondendo a perda de água livre (umidade) e as transições exotérmicas (~ 300 e 365°C) evidenciando a decomposição e despolimerização com formação de H_2O , CO , CH_4 e CO_2 .^{11,25,26} Um processo exotérmico de decomposição, de uma possível degradação, da mucilagem seca em estufa está em temperatura próxima a 272°C . Em estufa utiliza-se uma determinada temperatura por tempos prolongados o que resulta em uma secagem não homogênea e tempo de residência muito alto que pode acarretar pequenas degradações visto o grande contato com a fonte de calor. Na secagem por aspersão a vantagem é a evaporação em segundos devido a ampla área superficial oriunda das inúmeras gotículas geradas.²⁷

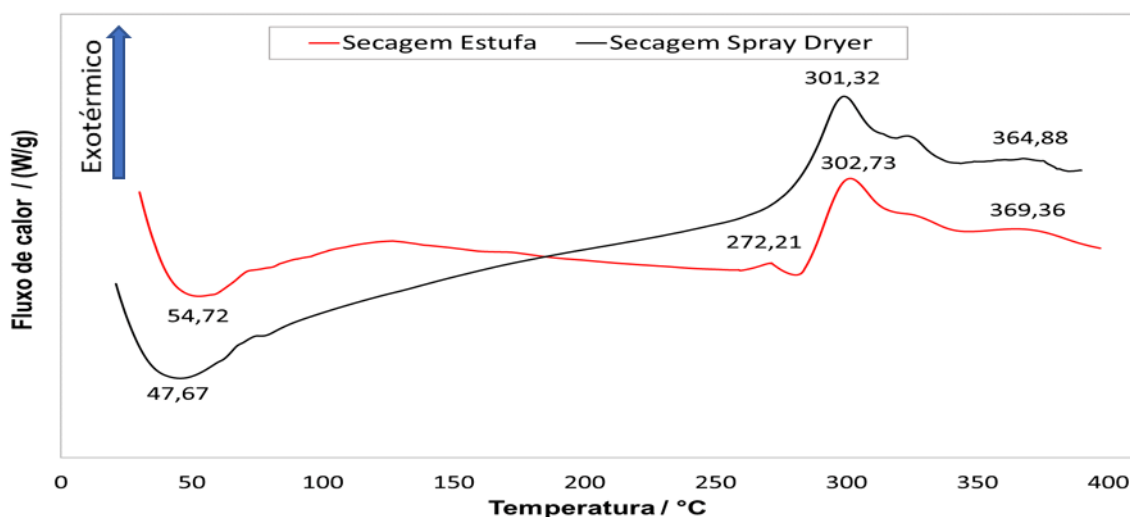


Figura 34. Curvas de DSC das mucilagens secas em estufa e no *spray dryer*.

A Figura 35 apresenta os espectros de infravermelho para os diferentes processos de secagem. Não são perceptíveis alterações entre os espectros. Nota-se os estiramentos característicos de sacarídeos (próximos a 3200cm^{-1} , 2900cm^{-1} e região de $990\text{--}1200\text{cm}^{-1}$),^{3,28-30} de álcoois primários ($\sim 1020\text{cm}^{-1}$ e 1140cm^{-1}),³¹ do ácido urônico ($\sim 1400\text{cm}^{-1}$),^{24,28} grupos metílicos ($2800\text{--}3000\text{cm}^{-1}$) e ácidos carboxílicos ($1500\text{--}1800\text{cm}^{-1}$).²⁸ Sendo esses resultados condizentes com a estrutura do tetrassacarídeo correspondente a mucilagem da chia.^{12,13,15,16}

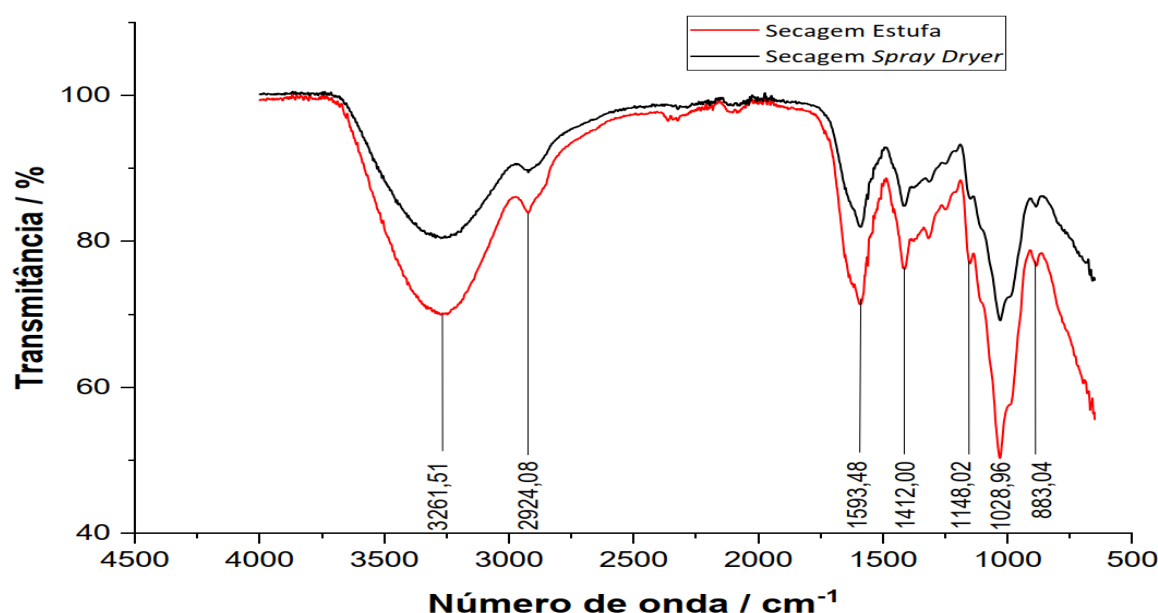


Figura 35. Espectros de IV das mucilagens secas em estufa e no *spray dryer*.

Ambas as mucilagens foram testadas como supressores de poeira no simulador de transporte ferroviário. Testes anteriores verificaram que sistemas 2,0 % e 1,0 % (m/m) semente de chia/água apresentam eficácia contra emissão de particulados e que a mucilagem corresponde a 5-6 % m/m da semente.¹¹ Dessa forma, utilizou-se 120mg de mucilagem em pó para 100g de água como solução supressora, que corresponde a 6,0 % de um sistema 2,0 % (m/m) semente/água. Vale salientar que a mucilagem seca por aspersão apresentou dissolução mais rápida. A Tabela 7 representa os resultados obtidos.

Tabela 7. Condições climáticas e resultados dos testes de túnel de vento.

CONCENTRAÇÕES DE SEMENTES DE CHIA	SECAGEM ESTUFA		SECAGEM SPRAY DRYER	
	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE 4
CONDIÇÕES AMBIENTAIS				
Umidade Relativa Média do Ar (%)	53,1	62,2	65,1	64
Temperatura Média (°C)	29,8	28,70	27	27,7
CONDIÇÕES DO MINÉRIO E VAGÃO				

<i>Massa do Vagão (g)</i>	1384,79	1377,76	1373,42	1387,55
<i>Massa (Vagão + Minério Úmido 6 %, em base seca) (g)</i>	4861,45	4847,51	4765,06	4813,53
<i>Massa de Minério Seco (g)</i>	3268,06	3261,57	3188,14	3220,42
<i>Massa de Água Acrescida (6 %) (g)</i>	208,60	208,19	203,50	205,56
APLICAÇÃO DE SUPRESSOR				
<i>Solução de Supressor (g)</i>	100	100	100	100
<i>Massa Total (minério + água + supressor) (g)</i>	3576,66	3569,75	3491,64	3525,98
<i>Umidade Inicial Total (água + solução de supressor) (%, em Base Seca)</i>	9,44	9,45	9,52	9,49
RESULTADOS DOS TESTES				
<i>(Final) 8ª hora</i>	3349,25	3362,59	3275,17	3310,91
<i>Após 8ª hora e Secagem em 12 horas à 105 °C</i>	3275,30	3284,65	3205,42	3247,38
<i>Umidade Final do Minério (%, em Base Seca)</i>	2,26	2,37	2,18	1,96
<i>Variação Umidade do Minério (%)</i>	7,19	7,08	7,34	7,53
<i>Massa Residual Total (g)</i>	81,19	101,03	87,03	90,49
<i>Massa Residual "Seca" (g)</i>	7,24	23,09	17,28	26,96

A massa residual seca representa a massa de água e de supressor de poeira que ainda reside no sistema com o minério de ferro após todo o procedimento. Nota-se que ela apresenta valores bem acima das 120mg de mucilagem em pó utilizada, logo constata-se a grande capacidade de retenção de água da mucilagem no minério mesmo após secagem a 105°C por 12 horas. Percebe-se que dias com alta

temperatura e baixa umidade são aqueles que mais exigem do supressor de poeira para vagões de minério pois ocorre aumento da taxa de evaporação de água, facilitando o desprendimento de poeira.

Os resultados obtidos comprovam que a solubilização da mucilagem em pó, mesmo obtida em diferentes processos de secagem, não interfere na efetividade de supressão de poeira de minério em transporte ferroviário. As mucilagens suportaram ventos a 60 Km/h em condições climáticas de temperaturas elevadas e umidade normal para o clima do estado do Espírito Santo. Isso demonstra que é possível futuras comercializações de mucilagem de chia em pó não sendo necessário o transporte de grandes volumes de água em solução para os locais de aplicação do supressor de poeira, o que reduz significativamente o custo com transporte.

As sementes, após a retirada da mucilagem, foram secas e determinou-se a composição centesimal. A Tabela 8 apresenta comparação entre as composições centesimais das sementes *in natura* e sem mucilagem.

Tabela 8. Composição centesimal das sementes de chia *in natura* e sem mucilagem.

Parâmetros	" <i>in natura</i> "	"sem mucilagem"
	Resultados (%)	Resultados (%)
Umidade	7,44	5,12
Cinzas (resíduo mineral fixo)	4,70	4,83
Proteína bruta	19,10	21,11
Gordura total (lipídeos)	27,50	32,83
Fibra bruta	22,20	13,57
Carboidratos	19,06	22,54

Pode-se verificar uma diminuição da porcentagem de umidade entre as sementes após a retirada da mucilagem, visto que a mucilagem é a porção mais higroscópica da semente de chia e sua retirada tende a uma menor retenção de umidade pela semente. Devido ao processo de secagem das sementes, após a retirada da mucilagem, não se pode afirmar que a diminuição da porcentagem de umidade se dá exclusivamente pela remoção dela. TAVARES (2016) obteve semente sem mucilagem com maior teor de umidade que a semente *in natura* (17,2 e 5 %, respectivamente). Porém, em sua metodologia de extração regulou-se o meio a pH 8 e utilizou-se liofilização para secagem. Quanto ao teor de cinzas que indica o

conteúdo mineral presente nas sementes percebe-se pouca variação.²³

O teor de fibra bruta é menor na semente sem mucilagem. Não se pode relacionar diretamente à mucilagem. A fibra bruta é uma medida de uma fração das fibras a qual não inclui gomas, mucilagens e pectina. Assim, podemos inferir que sua diminuição está provavelmente vinculada ao processo de liberação da mucilagem na qual as células do epicarpo incham e ao perder a elasticidade a liberam juntamente com componentes da parede celular solubilizados, o que induz a diminuição do teor de fibra bruta.³²

Os teores de proteína bruta, carboidratos e lipídeos tiveram aumento com a remoção de mucilagem. O aumento do teor de lipídeos foi importante para esse trabalho devido ao objetivo de aproveitamento do óleo de chia para a produção de biodiesel. Esse aumento facilita a remoção do óleo através da extração por prensagem.

A extração de óleo foi realizada por prensagem a frio das sementes sem mucilagem com rendimento de 23,85 % em base seca, sendo um valor condizente ao obtido por IXTAINA *et al.* (2011) (24,8 % para sementes argentinas e 20,33 % para guatemaltecas).⁴ O óleo extraído (OA) foi comparado com óleo de chia comercial (OB) conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Parâmetros da caracterização do óleo extraído (OA) e do óleo comercial (OB).

Parâmetros	Unidade	Resultado OA	Resultado OB
Acidez	mgKOH/g	5,85	9,23
Índice de Peróxido	mEq/Kg	5,84	10,40
Índice de Saponificação	mgKOH/g	192,99	191,87
Índice de Iodo	-	181,72	184,99
Massa Específica	g/cm ³	0,92899	0,92968
Data fabricação	-	02/10/2021	10/2018
Validade	-	-	10/2020

A chia é uma das espécies vegetais autorizadas para se extrair o óleo vegetal

para consumo humano desde que possua composição de ácidos graxos, acidez e índice de peróxidos de acordo com a IN 87/2021 emitida pela ANVISA. Ela exige que o índice de acidez e de peróxidos sejam, para óleos prensados a frio e não refinados, de 4,0 mgKOH/g e 15 meq/kg, respectivamente.²⁰ O índice de acidez representa um controle de qualidade do óleo porque processos de decomposição geralmente elevam a concentração de ácidos no meio. Aquecimento e luz aceleram a formação de ácidos graxos livres através da decomposição de glicerídeos.²² Pode-se notar que OA e OB não possuem índice de acidez adequados, logo são impróprios ao consumo necessitando processos de refino para a comercialização. Além do mais, OB é um óleo fora do prazo de validade de forma que mesmo refinado não poderia ser vendido ao consumidor. Ao identificar produtos fora das condições de consumo, os mesmos devem ser recolhidos e terem destinação ambientalmente apropriada. Esse trabalho propõe a fabricação de biodiesel a partir do óleo de chia fora dos padrões de consumo e/ou vencido.²¹

Foram produzidos os biodieseis A e B a partir de OA e de OB, respectivamente. A reação de transesterificação catalisada por base ocorreu na razão molar 1:6 (óleo/metanol), a 60°C sob refluxo, com catalisador (KOH) a 1 % (m/m óleo) e em seguida deixada em repouso para separação da fase aquosa e do biodiesel, Figura 36.

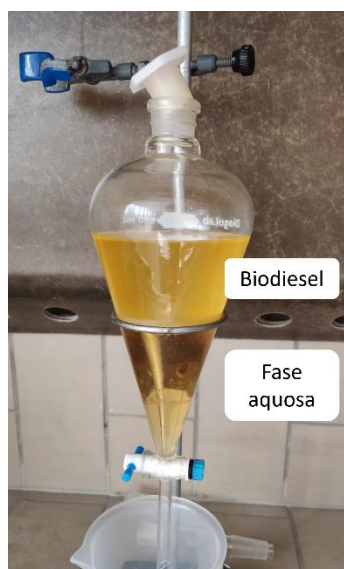


Figura 36. Separação do sistema biodiesel/fase aquosa.

A fase aquosa, mais densa, se dirige a parte inferior e o biodiesel com

impurezas para a parte superior do funil de separação. É um processo longo quando se utiliza excesso de metanol e o sistema foi deixado em repouso por 24 horas.³³ Após o repouso a fase aquosa foi removida e o biodiesel foi lavado com água quente de forma a retirar impurezas como resíduos de catalisador, de saponificação, sais, metanol e glicerol livre. O biodiesel ficou com aspecto turvo que desapareceu após a utilização de sulfato de sódio anidro, como agente secante, e a remoção deste por filtração. Em seguida o biodiesel foi colocado em estufa a 50°C por uma hora para remoção de resíduo de água e metanol que pudessem existir.

Houve formação nítida de sabão que se deve a grande acidez dos óleos utilizados sendo necessário, para um possível *scale-up* da produção, a avaliação de custo e efetividade da remoção da acidez através de processos de esterificação em meio ácido.³³

A Tabela 10 apresenta os resultados da caracterização dos biodieseis obtidos.

Tabela 10. Parâmetros da caracterização dos biodieseis A e B.

Parâmetros	Unidade	biodiesel A	biodiesel B
Rendimento	%	86,12	80,35
Teor de água	mg/kg	1.096	1.108
Viscosidade Cinemática a 40°C	cSt	3,60	3,80
Massa específica 20°C	g/cm ³	0,8900	0,8900
Ponto de Fulgor Vaso Fechado	°C	155	108
Número de Acidez	mgKOH/g	0,50	0,24
Corrosão Lâmina de Cobre	-	1	1

Segundo ZHANG *et al.* (2003) o rendimento da transesterificação para o biodiesel A é considerado alto, acima de 86%.³³ O teor de água dos biodieseis é muito maior do que determina a legislação, máximo de 200 mg/kg. Isso demonstra que a metodologia empregada deve ser melhorada quanto aos procedimentos de secagem do biodiesel. A eliminação de água é essencial para o funcionamento adequado dos motores e minimizar a elevação da acidez do biodiesel.³⁴ Os demais parâmetros estão dentro dos limites recomendados pela Resolução ANP 45/2014.³⁵ Percebe-se que o número de acidez para o biodiesel A é maior em relação ao

biodiesel B mesmo sendo produzido a partir de um óleo (OA) de número de acidez menor.

Como não houve diferenças significativas entre os espectros de OA e OB e entre os biodiesel A e B apresentamos na Figura 37 apenas os espectros de infravermelho para OA e o biodiesel A.

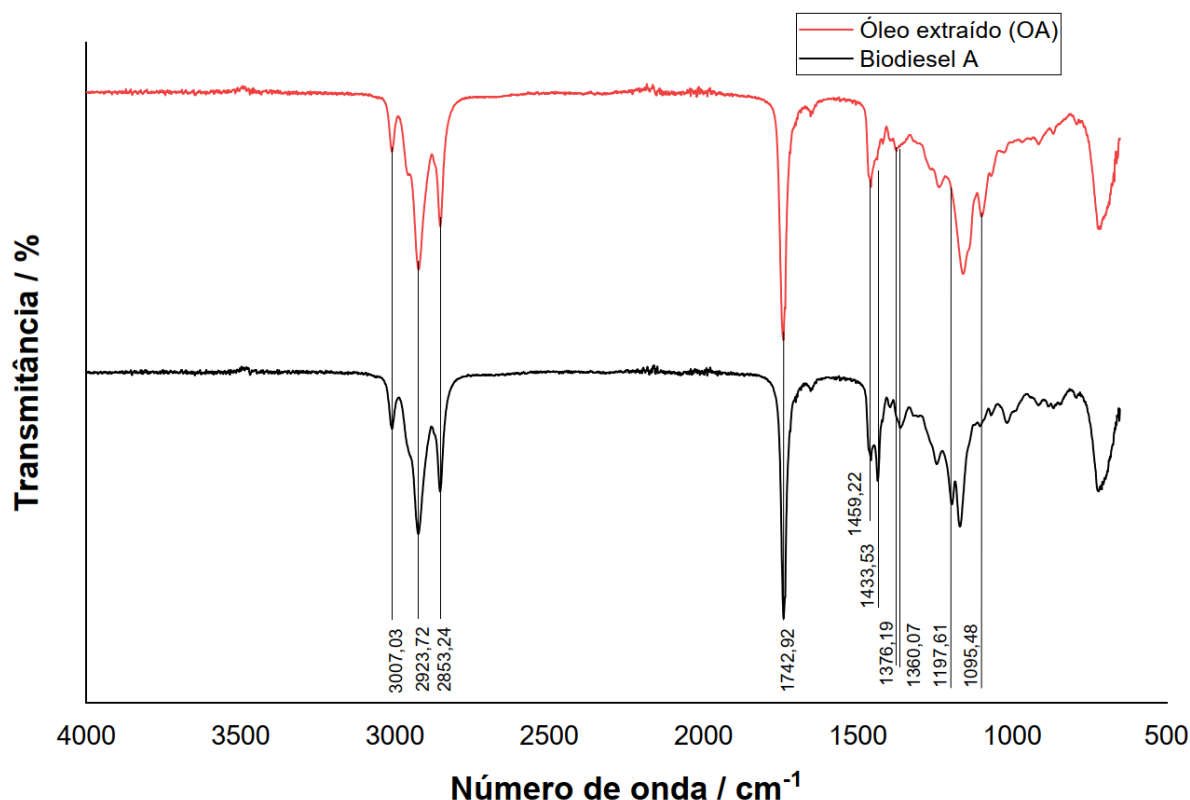


Figura 37. Espectros de IV de comparação entre o óleo extraído e seu biodiesel.

Os sinais na região de $3000\text{--}2800\text{cm}^{-1}$ são correspondentes a vibrações C-H sendo os alongamentos CH, CH_3 e CH_2 os sinais $3007,03$; $2923,72$ e $2853,24\text{cm}^{-1}$, respectivamente.³⁶⁻³⁸ O sinal em $1742,92\text{ cm}^{-1}$ se refere a carbonila ($\text{C}=\text{O}$) presente nos triglicerídeos e ésteres metílicos diferentemente dos trabalhos de NISAR *et al.* (2017) e KOLLAR *et al.* (2012) que verificaram distinção visível entre o sinal da carbonila do biodiesel e dos óleos (pinhão manso e soja, respectivamente) com que trabalharam.^{37,39} Segundo RABELO *et al.* (2015),⁴⁰ a região entre 1500 e 900 cm^{-1} , chamada de impressão digital, é a de maior diferenciação entre o biodiesel e seu óleo precursor. Pode-se notar que essa região é nitidamente diferente entre esses compostos havendo desaparecimento e surgimento de sinais quando comparamos o

biodiesel e o óleo de chia. Em $1433,53\text{cm}^{-1}$ tem-se o sinal que representa a formação do grupo alquil éter da transesterificação do óleo, sendo correspondente a vibrações assimétricas do grupamento metil (advindo do metanol).^{37,38} RABELO *et al.* (2015) atribui os sinais em $1376,19\text{cm}^{-1}$ ao grupo glicerol (O-CH₂), $1095,48\text{cm}^{-1}$ a estiramento axial assimétrico devido ao glicerol e em $1197,61\text{cm}^{-1}$ ao grupo O-CH₃ sendo esse último presente em grandes concentrações no biodiesel.⁴⁰ Dessa forma, nota-se que a reação de transesterificação do óleo de chia foi realizada com sucesso.

6.4. Conclusões

Conclui-se com este trabalho que a secagem de mucilagem de chia por aquecimento convencional em estufa ou por aspersão não interferem negativamente na utilização dela como supressora de poeira de minério podendo desta forma contribuir com a comercialização diminuindo custos inerentes ao transporte. A remoção da mucilagem de chia aumenta a concentração de óleo na semente facilitando a remoção dele por prensagem e não prejudica a produção de biodiesel. Óleos de chia que se encontram fora das especificações de índices de acidez e de peróxido, segundo a ANVISA pela IN 87/2021, e vencidos podem ser utilizados na produção de biodiesel dentro dos padrões da Res. ANP 45/2014 permitindo assim a utilização do óleo não comestível como alternativas na produção de biodiesel. Esse trabalho contribui para a produção conjunta da chia possibilitando a utilização da mucilagem e aproveitamento de óleo industrialmente sendo necessários estudos posteriores quanto a biomassa resultante da extração desses materiais para avaliação desse coproduto/subproduto.

Referências Bibliográficas

1. MARTINS, E.; **Contabilidade de Custos**, 9a ed., Atlas: São Paulo, 2003.
2. HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M.; **Contabilidade de Custos**, 9a ed., LTC: Rio de Janeiro, 2000.
3. HERNÁNDEZ, L. M. **Mucilage from chia seeds (Salvia Hispanica): microstructure, physico-chemical characterization and applications in food industry**. Doctoral thesis in Engineering Sciences. Office of Research and Graduate

Studies of Pontificia Universidade Catolica de Chile (PUC-Chile), Santiago de Chile, 2012. 120 p.

4. IXTAINA, V. Y.; MARTÍNEZ, M. L.; SPOTORNO, V.; MATEO, C. M.; MAESTRI, D. M.; DIEHL, B. W. K.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. **Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction.** *J. Food Compos. Anal.*, **24**, 166 – 174, 2011.
5. ZETTEL, V.; HITZMANN, B. **Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products.** *Trends Food Sci. Technol.*, **80**, 43 – 50, 2018.
6. ROCHA, Y. M. A.; DA SILVA, L. P. E.; RÉGIS, W. C. B. **Chia (*Salvia hispanica*) benefícios para a saúde humana: uma revisão sobre ensaios clínicos em humanos** *Percurso Acadêmico*, **7 (14)**, 483 – 493, 2017.
7. DA SILVA, B. P.; ANUNCIAÇÃO, P. C.; MATYELKA, J. C. DA S.; LUCIA, C. M. D.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. **Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places.** *Food Chem.*, **221**, 1709 – 1716, 2017.
8. PUNIA, S.; DHULL, S. B. **Chia seed (*Salvia hispanica* L.) mucilage (a heteropolysaccharide): Functional, thermal, rheological behaviour and its utilization.** *Int. J. Biol. Macromol.*, **140**, 2019, *in press*.
9. SEGURA-CAMPOS, M. R.; CIAU-SOLIS, N.; ROSADO-RUBIO, G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA, D. **Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México.** *Agric. Sci.*, **5 (3)**, 220 – 226, 2014.
10. FERNANDES, S. S.; TONATO, D.; MAZUTTI, M. A.; DE ABREU, B. R.; CABRERA, D. DA C.; D'OCA, C. DA R. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SLAS-MELLADO, M. DE LAS M. **Yield and quality of chia oil extracted via different methods.** *J. Food Eng.*, **262**, 200–208, 2019.
11. GAMA, L. A.; SPADETTO, C.; FRANCISCO, C. S.; DA SILVA FILHO, E. A. **Supressão de material particulado de minério de ferro utilizando mucilagem de Chia (*Salvia hispanica* L.).** *Rev. Virtual Quim.*, **13(2)**, 2021.

12. COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. **Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos** *Braz. J. Food Technol.*, **17 (4)**, 259 – 268, 2014.
13. LOPES, A. C. **Mucilagem de chia e sua utilização no processamento de biscoito salgado isento de glúten**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, 2017. 73 p.
14. BRÜTSCH, L.; STRINGER, F. J.; KUSTER, S.; WINDHAB, E. J.; FISCHER, P. **Chia seed mucilage – a vegan thickener: isolation, tailoring viscoelasticity and rehydration**. *Food Funct.*, **10**, 4854 - 4860, 2019.
15. SALGADO-CRUZ, M. DE LA P.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; CHANONA-PÉREZ, J.; FARRERA-REBOLLO, R. R.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, J. V.; DÍAZ-RAMÍREZ, M. **Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. Amicrostructural and image analysis study**. *Ind. Crops Prod.*, **51**, 453 – 462, 2013.
16. Di MARSICO, A.; SCRANO, L.; AMATO, M.; GÀMIZ, B.; REAL, M.; COX, L. **Mucilage from seeds of chia (*Salvia hispanica* L.) used as soil conditioner; effects on the sorption-desorption of four herbicides in three different soils**. *Sci. Total Environ.*, **625**, 531 – 538, 2018.
17. COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. **Chemical Characterization of CHIA (*Salvia hispanica* L.) for Use in Food Products** *J. Food Nutr. Res. (Newark, DE, U. S.)*, **2 (5)**, 263 – 269, 2014.
18. CAPITANI, M. I.; IXTAINA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. **Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina**. *J Sci Food Agric*, **93**, 3856 – 3862, 2013.
19. MUÑOZ, L. A.; COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J. M. **Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration** *J Food Eng.*, **108**, 216 – 224, 2012.

20. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). **Instrução Normativa (IN) N°87, de 15 de março de 2021.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-87-de-15-de-marco-de-2021-309008143>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.
21. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). **Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) N°24, de 08 de junho de 2015.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-24-de-8-de-junho-de-2015.pdf/view>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.
22. IAL - Instituto Adolfo Lutz; **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos**, 1a ed. digital, Insituto Adolfo Lutz: São Paulo, 2008.
23. TAVARES, L. S. **Extração e caracterização da mucilagem e de subprodutos da semente de chia (*Salvia hispanica* L.).** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, 2016. 109 p.
24. GOH, K. K. T.; MATIA-MERINO, L.; CHIANG, J. H.; QUEK, R.; SOH, S. J. B.; LENTLE, R. G. **The physico-chemical properties of chia seed polysaccharide and its microgel dispersion rheology.** *Carbohydr. Polym.*, **149**, 297 – 307, 2016.
25. PUNIA, S.; DHULL, S. B. **Chia seed (*Salvia hispanica* L.) mucilage (a heteropolysaccharide): Functional, thermal, rheological behaviour and its utilization.** *Int. J. Biol. Macromol.*, **140**, 2019, *in press*.
26. ZOHURIAAN, M. J.; SHOKROLAHI, F. **Thermal studies on natural and modified gums.** *Polym. Test.*, **23(5)**, 575-579, 2004.
27. OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. **Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações.** *Rev. Bras. Farmacogn.*, **20(4)**, 641-650, 2010.
28. TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; KASAPIS, S.; ADHIKARI, B. **Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds.** *Carbohydr. Polym.*, **136**, 128-136, 2016.

29. FREITAS, F.; ALVES, V. D.; PAIS, J.; COSTA, N.; OLIVEIRA, C.; MAFRA, L.; HILLIOU, L.; OLIVEIRA, R.; REIS, M. A. M. **Characterization of an extracellular polysaccharide produced by a *Pseudomonas* strain grown on glycerol.** *Bioresour. Technol.*, **100(2)**, 859-865, 2009.
30. GÁRCIA-SALCEDO, A. J.; TORRES-VARGAS, O. L.; DEL REAL, A.; CONTRETAS-JIMÉNEZ, B.; RODRIGUEZ-GARCIA, M. E. **Pasting, viscoelastic, and physicochemical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) flour and mucilage.** *Food Struct.*, **16**, 59 – 66, 2018.
31. LOPES, W. A.; FASCIO, M. **Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho.** *Quim. Nova*, **27(4)**, 670-673, 2004.
32. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte). **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações**, 1a. ed., EMBRAPA: Brasília, 2015.
33. ZHANG, L.; XIN, Z.; LIU, Z.; OU, Y.; YE, Z.; LI, Z. **Microwave-assisted catalytic transfer hydrogenation of biodiesel at constant microwave power.** *Fuel*, **270**, 117510, 2020.
34. OLIVEIRA, D. S.; FONSECA, X. D. S.; FARIAS, P. N.; BEZERRA, V. S.; PINTO, C. H. C.; SOUZA, L. D.; SANTOS, A. G. D.; MATIAS, L. G. O. **Obtenção Do Biodiesel Através Da Transesterificação Do Óleo De Moringa Oleífera Lam.** *HOLOS*, **28(1)**, 49-61, 2012.
35. ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). **Resolução N°45, de 25 de agosto de 2014.** Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014>. Acesso em: 14 de setembro de 2021.
36. WEMBABAZI, E.; MUGISHA, P. J.; RATIBU, A.; WENDIRO, D.; KYAMBADDE, J.; VUZI, P. C. **Spectroscopic Analysis of Heterogeneous Biocatalysts for Biodiesel Production from Expired Sunflower Cooking Oil.** *J. Spectrosc.* **2015**, Article ID 714396,1, 2015.

37. NISAR, J.; RAZAQ, R.; FAROOQ, M.; IQBAL, M.; KHAN, R. A.; SAYED, M.; SHAH, A.; RAHMAN, I. **Enhanced biodiesel production from Jatropha oil using calcined waste animal bones as catalyst.** *Renewable Energy*, 101, 111-119, 2017.
38. MARWAN; SUHENDRAYATNA; INDARTI, E. **Preparation of Biodiesel from Microalgae and Palm Oil by Direct Transesterification in a Batch Microwave Reactor.** *J. Phys.: Conf. Ser.*, 622, 2015.
39. KOLLAR, S. R. M. **Desenvolvimento de metodologias analíticas para análise de biodiesel por rmn – ^1H 1,40 t.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 73.
40. RABELO, S. N.; FERRAZ, V. P.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. **FTIR Analysis for Quantification of Fatty Acid Methyl Esters in Biodiesel Produced by Microwave-Assisted Transesterification.** *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, **6(12)**, 964-969, 2015.

CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES GERAIS

Com esse trabalho a produção conjunta da chia pode ser favorecida devido a possibilidade de aproveitamento industrial da mucilagem e do óleo da chia.

O uso da mucilagem de chia como supressora de poeira de minério de ferro demonstrou ser efetiva no simulador de transporte ferroviário. Os processos de secagem em estufa e por aspersão não interferiram na supressão. Esses resultados introduzem a mucilagem na indústria de mineração e demonstraram que a mucilagem é comparável com os produtos comerciais estudados.

O uso dos óleos de chia fora do prazo de validade e que não atendem a IN 87/2021 permitiu a produção de biodieseis dentro dos padrões exigidos pela ANP o que demonstra a aplicabilidade do reaproveitamento desses óleos impróprios para o consumo.

PROPOSTAS FUTURAS

- Avaliar a mucilagem de chia como supressora de poeira nas pilhas de minério e vias (pavimentadas e não pavimentadas);
- Realizar testes de longa duração, até a exaustão, do supressor de poeira da mucilagem de chia;
- Estudar a aplicação de outras mucilagens como supressoras de poeira;
- Pesquisar outras aplicabilidades das mucilagens na mineração;
- Examinar a possibilidade de produção em escala piloto do biodiesel de óleos de chia impróprios para consumo;
- Identificar outros óleos impróprios para o consumo, seja por validade ou fora dos padrões da IN 87/2021, que permitem a produção de biodiesel;
- Estudar o aproveitamento total da chia em aplicações industriais englobando a utilização da biomassa.