



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

Pedro Rian Barros da Conceição

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA, CROMATOGRÁFICA E
COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO ALHO-PORÓ (*Allium sp.*)**

Araguaína/TO

2025

Pedro Rian Barros da Conceição

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA, CROMATOGRÁFICA E
COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO ALHO-PORÓ (*Allium sp.*)**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), Campus Universitário de Araguaína - TO para obtenção do título de licenciado em Química

Orientador (a): Professora Dra. Flamys Lena do Nascimento Silva

Araguaína/TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Geração de Ficha Catalográfica SGFC-UFNT
Gerado automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B277c Barros da Conceição, Pedro Rian.
CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA,
CROMATOGRÁFICA E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO
ALHO-PORÓ (*Allium sp.*) / Pedro Rian Barros da Conceição. -
Centro de Ciências Integradas - CCI, TO, 2025.
76 f.
Monografia Graduação (Graduação - em Química) -- Universidade
Federal do Norte do Tocantins, 2025.
Orientadora: Flamys Lena do Nascimento Silva.
1. Organossulfurados. 2. Alho-poró selvagem. 3.
HS-SPME/GC-MS.

CDD 540

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.


Pedro Rian Barros da Conceição

CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA, CROMATOGRÁFICA E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO ALHO-PORÓ (*Allium sp.*)


Monografia apresentada à UFNT – Universidade Federal do Norte do Tocantins – Campus Universitário de Araguaína, Curso de Licenciatura em Química foi avaliada para a obtenção do título de Licenciado em Química e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 03 / 07 / 2025


Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **FLAMYS LENA DO NASCIMENTO SILVA**
Data: 16/07/2025 17:19:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof^ª. Dra. Flamys Lena do Nascimento Silva, UFNT

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL BARBOSA ALCANTARA**
Data: 16/07/2025 09:01:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Daniel Barbosa Alcântara, UFNT

Documento assinado digitalmente
 **RENATA FERREIRA LINS DA SILVA**
Data: 16/07/2025 16:37:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Renata Ferreira Lins da Silva, UFNT

Documento assinado digitalmente
 **RAPHAEL MENDES ROSA**
Data: 16/07/2025 09:33:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Raphael Mendes Rosa, SEDUC - TO

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato por tudo que vivenciei aqui durante esses quatro anos e meio e por todas as pessoas que participaram deste capítulo da minha vida chamado UFNT. Tenho certeza de que, apesar de ser um dos primeiros, também é e sempre será um dos mais importantes no livro da minha vida. Agradeço à minha família pelo suporte e apoio nessa jornada, em especial à minha mãe, Clarice Alves da Conceição, que é e sempre foi meu alicerce, segurando a barra nos momentos difíceis, acreditando no meu caminho e mantendo viva a esperança na minha trajetória. Te amo, mãe! Sem a senhora, nada disso seria possível. Agradeço à minha irmã, Pâmela, e quero dizer que tudo isso foi por nós, maninha. A minha vitória é sua também. Também agradeço ao meu pai, Pedro da Silva Barros Filho, por sempre acreditar em mim e ser um dos principais admiradores do meu potencial, como ele mesmo costuma dizer. Essa vitória é nossa! Agradeço ainda ao meu padrasto pelo apoio e incentivo, sempre um grande admirador da minha trajetória. Gostaria de agradecer também à minha orientadora, Flamys Lena do Nascimento Silva, que esteve ao meu lado desde muito antes de sermos orientando e orientadora. Minha “mãe científica”, que me ensinou muito na vida e me inspira a ser um profissional de excelência, como ela é. Além disso, tem um brilho que transparece para todos que convivem com ela. Obrigado por tudo! A senhora faz parte da minha história. Te admiro e te amo! Agradeço também às minhas irmãs de alma: Letícia e Maria Levarei vocês em meu coração e sentirei muita falta de todos os momentos, das madrugadas viradas resolvendo listas de Orgânica, Físico-Química e Física Mecânica! Eita, Física Mecânica! Lembra, Karen? Depois de chegar do trabalho (1h30, 2h da manhã), a gente ainda ia estudar. Nosso esforço valeu a pena, passamos!. Enfim, poderia escrever um livro. Amo vocês, garotas! (Thauane Maria Pereira da Silva e Karen Letícia Gomes da Silva). Agradeço a Deus pela dádiva da vida e por ter a oportunidade de viver no mesmo tempo que todos vocês citados aqui. Gostaria de agradecer também a todos os professores que participaram da minha formação. Vocês são incríveis, verdadeiros exemplos de profissionais que vou levar como inspiração para sempre. Professor Paiva, que me fez amar Espectro e sempre brigou para nos ajudar com as demandas estudantis, levo o senhor como exemplo de profissional. À professora Verena, que sempre acreditou e acompanhou de perto minha trajetória, obrigado pelas orientações no Alvorecer, na escrita de trabalhos e nos textos de divulgação científica. Levo a senhora no meu coração. Obrigado a todos vocês, são pura inspiração: Renata, Francisco, Niculau, Daniel Alcântara, Adriana, Daniel Barra, Maiko, Jane Darley e Josilãna. Ao professor Eduardo, que nos inspira com sua trajetória de egresso e como jovem doutor, desejo sucesso nos novos desafios. Ao meu

primeiro supervisor de estágio e professor de Química, Raphael Mendes Rosa, que me inspirou a gostar dessa ciência. Agradeço também aos técnicos de laboratório, Gildeth e Gilberto, por sempre estarem ao nosso lado. Vocês são pessoas especiais. Ao Lucas, técnico na unidade CCA, pela parceria durante a pesquisa. Ao pessoal do curso de Agronomia do UNITPAC, foi um prazer trabalhar em parceria com vocês. Por fim, encerro dizendo meu muito obrigado à Universidade Federal do Norte do Tocantins, pelo espaço de formação que se estende muito além da sala de aula, passando pelos corredores da universidade e pelos momentos e refeições compartilhadas no R.U, na companhia de pessoas especiais. Isso também é formação! Obrigado a todos os projetos pedagógicos dos quais participei: Alvorecer, PET Ciências Naturais, PIBID, PIBIC e monitorias. Estendo meus agradecimentos a todas as agências de fomento pelo incentivo às atividades de ensino, pesquisa e extensão desenvolvidas nesses programas, o que foi fundamental para a minha permanência na universidade.

RESUMO

O alho-poró é uma planta com origem associada à região próxima ao mar Mediterrâneo, com forte introdução no continente europeu. Geralmente, a planta é classificada como *Allium porrum* L., *Allium ampeloprasum* L. ou *Allium ampeloprasum* var. *porrum* L. Utilizada para diversas aplicações relatadas ao longo da história, essa hortaliça pertence à mesma família do alho e da cebola (Amaryllidaceae). Este trabalho teve como objetivo realizar a caracterização química e nutricional de uma planta tradicionalmente conhecida na região norte do estado do Tocantins como alho-poró (*Allium sp.*). A variedade analisada é proveniente de um sistema de agricultura familiar do município de Bielândia - TO, que foi cultivada em viveiro do curso de agronomia do Centro Universitário Tocantinense presidente Antônio Carlos (UNITPAC) na cidade de Araguaína - TO. Parte das análises físico-químicas foram realizadas com base na matéria seca da folhagem, permitindo a determinação de cinzas (0,65%), umidade (96,13%), nitrogênio (4,42%), proteínas (27,59%). Os teores de cálcio (215 mg/100g), magnésio (119 mg/100g) e fósforo (502 mg/100g), sódio (79,55 mg/100g) e potássio (7,71 mg/100g). As demais análises foram conduzidas por meio de técnicas instrumentais, como espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e a microextração em fase sólida do *headspace* com a cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas (HS-SPME/GC-MS). A caracterização realizada por meio da técnica HS-SPME/GC-MS permitiu a identificação precisa de 32 compostos orgânicos voláteis (COVs) no óleo e nas folhas da planta. Dentre os compostos majoritários, destacam-se o dissulfeto de metil 2-propenil, o dissulfeto de dialila e o sulfeto de dialila, que apresentaram as maiores áreas percentuais e possuem atividades funcionais amplamente relatadas na literatura. Mediante os resultados obtidos, a variedade de alho-poró estudada neste trabalho se destaca como uma alternativa de alimento nutritivo, funcional e promotor de saúde para a população da região norte do Tocantins.

Palavras-chaves: Organossulfurados. Bioatividade. Agricultura Familiar. Alho-poró selvagem. HS-SPME/GC-MS

ABSTRACT

Leek is a plant with origins associated with the region near the Mediterranean Sea, with a strong introduction into the European continent. The plant is generally classified as *Allium porrum* L., *Allium ampeloprasum* L., or *Allium ampeloprasum* var. *porrum* L. Used for various applications throughout history, this vegetable belongs to the same family as garlic and onion (Amaryllidaceae). This study aimed to carry out the chemical and nutritional characterization of a plant traditionally known as leek (*Allium* sp.) in the northern region of the state of Tocantins. The analyzed variety comes from a family farming system in the municipality of Bielândia – TO, and was cultivated in the nursery of the agronomy program at Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC), located in the city of Araguaína – TO. Part of the physicochemical analyses was performed based on the dry matter of the foliage, allowing for the determination of ash (0.65%), moisture (96.13%), nitrogen (4.42%), and protein (27.59%). The contents of calcium (215 mg/100g), magnesium (119 mg/100g), phosphorus (502 mg/100g), sodium (79.55 mg/100g), and potassium (7.71 mg/100g) were also measured. The remaining analyses were conducted using instrumental techniques such as Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and headspace solid-phase microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry (HS-SPME/GC-MS). The characterization performed using the HS-SPME/GC-MS technique enabled the precise identification of 32 volatile organic compounds (VOCs) in the oil and leaves of the plant. Among the major compounds, methyl 2-propenyl disulfide, diallyl disulfide, and diallyl sulfide stood out, showing the highest areas percentages and possessing functional activities widely reported in the literature. Based on the results obtained, the leek variety studied in this work stands out as a nutritious, functional, and health-promoting food alternative for the population of northern Tocantins.

Key-words: Organosulfurs. Bioactivity. Family Farming. Wild Leek. HS-SPME/GC-MS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variedade popular de alho-poró: (A) corpo da planta. (A) cacho de flores (C) sementes da planta.	19
Figura 2 - Variedade de alho-poró analisada neste estudo	21
Figura 3 - (A) Variedade cultivada no município de Araguaína, Tocantins, Brasil; (B) variedade denominada <i>Allium porrum</i> presente em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil; (C) variedade selvagem denominada <i>Allium ampeloprasum</i> encontrada em uma província de Madri, Espanha.	21
Figura 4 - Rota metabólica simplificada da formação e decomposição da alicina.	23
Figura 5 - Viveiro agrícola do curso de agronomia da UNITPAC com malha sombrite 70% utilizado no cultivo das mudas de alho-poró	29
Figura 6 - Mudas de alho-poró nos diferentes estágios de cultivo: (A) mudas no dia do plantio; (B) mudas após 15 dias cultivo. (C) mudas após 30 dias de cultivo; (D) mudas após 60 dias de cultivo (última vistória) antes da poda.	30
Figura 7 - Mudas após 75 dias de cultivo (A) seguida da poda da folhagem do alho-poró (B)	31
Figura 8 - Folhas de alho porá antes (A) e após a desidratação parcial (B).....	31
Figura 9 - (A) moinho de facas utilizado; (B) amostras moídas em sacos plásticos.....	32
Figura 10 - Registro das amostras antes de inseridas na estufa para remoção da umidade residual	33
Figura 11 - Amostras após 20 horas de incineração em mufla.....	35
Figura 12 - Tubos pré decomposição (A); sistema decompositor (B) tubos pós decomposição	37
Figura 13 - Sistema de destilação de nitrogênio (A); sistema de titulação automático (B). ...	38
Figura 14 - Modelo do Espectrofotômetro UV/Vis utilizado na análise.....	42
Figura 15 - Gráfico da curva de calibração para soluções padrão de fósforo	43
Figura 16 - Fotômetro de chamas utilizado na análise	44
Figura 17 - Sistema de extração <i>Soxhlet</i>	46
Figura 18 - Óleo de alho-poró obtido após extração	47
Figura 19 - Reagente KBr (A); prensa metálica (B) FTIR (C).....	48
Figura 20 - Cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massas (GC-MS) utilizado nas análises	48

Figura 21 - Sistema de pré-concentração e extração dos compostos voláteis do óleo (A) folhas do alho-poró por HS-SPME (B)	49
Figura 22 - Mudas do alho-poró no estágio final de cultivo	51
Figura 23 - Espectro de absorção na região do infravermelho do óleo de alho-poró.....	55
Figura 24 - Espectro de referência (FTIR LAE) proveniente do extrato aquoso de alho-poró	56
Figura 25 - Espectros de massas dos principais compostos identificados.....	61
Figura 26 - Cromatogramas de íons totais obtidos nas análises.....	62
Quadro 1 - Critérios adotados para a classificação dos principais compostos na variedade de alho-poró estudada.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das análises físico-químicas e nutricionais da folhagem do alho-poró e fontes referenciais.....	52
Tabela 2 - Resultados das análises dos minerais na folhagem do alho-poró e fontes referenciais	53
Tabela 3 - COVs identificados no Alho-poró (óleo e folhas).....	57
Tabela 4 - Principais compostos identificados	60
Tabela 5 - Massas das amostras da folhagem pré desidratada e pós desidratada por 72 horas em estufa a 55° C seguidas do percentual da amostra seca ao ar massa restante seca ao ar ASA (%)	70
Tabela 6 - Massas em gramas das amostras antes e após secagem em estufa (ASE). Seguidas dos percentuais da massa restante seca em estufa ASE (%)	70
Tabela 7 - Percentual de matéria seca Matéria Seca (MS) (%)	70
Tabela 8 - Massas e percentuais das Cinzas	71
Tabela 9 - Descrição das etapas utilizadas para calcular a umidade das amostras.....	71
Tabela 10 - Volumes gastos durante a titulação e percentuais de nitrogênio _{ASA}	71
Tabela 11 - Resultados das replicatas das análises de Nitrogênio, Proteína Bruta e Matéria Orgânica com base na matéria seca (MS), expressos em valores percentuais	71
Tabela 12 - Leituras de absorvância para curva padrão e amostras na análise de fósforo por espectrofotométrica no UV/Vis.....	72
Tabela 13 - Valores de absorvância para as soluções padrão de fosforo convertidos para mg/L	72
Tabela 14 - Concentrações de sódio (mg/L) obtidas a partir do fotômetro de chama ...	72
Tabela 15 - Concentrações de potássio em (mg/L) obtidas a partir do fotômetro de chama	72
Tabela 16 - Resultados das replicatas das análises dos minerais com base na matéria seca (MS).....	73
Tabela 17 - Dados individuais tratados referente às todas as análises	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFNT	Universidade Federal do Norte do Tocantins
CCI	Centro de Ciências Integradas
CCA	Centro de Ciências Agrárias
LABCROM	Laboratório Central Analítico de Cromatografia
LABSOLOS	Laboratório de Solos
UNITPAC	Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos
ANAPA	Associação Nacional dos Produtores de Alho
CABI	Centro Internacional de Agricultura e Biociências
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
ITIS	Sistema Integrado de Informações Taxonômicas
GC-MS	Cromatografia a gás acoplada a Espectrometria de massas
HS-SPME	Microextração em fase sólida no <i>headspace</i>
CAR/PDMS	Carboxen/Polidimetilsiloxano
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
UV/Vis	Ultravioleta/Visível
COVs	Compostos Orgânicos voláteis
OE	Óleo Essencial
ASA	Amostra Seca ao Ar
ASE	Amostra Seca em Estufa
MS	Matéria Seca
DP	Desvio Padrão
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
AOAC	Associação de Colaboração Analítica Oficial
IAL	Instituto Adolfo Lutz
DADS	Dissulfeto de dialila
DAS	Sulfeto de dialila
DATS	Trissulfeto de dialila
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia

LISTA DE SÍMBOLOS

g	grama
cm	centímetro
%	porcentagem
cm ⁻¹	centímetro recíproco
nm	nanômetro
nM	nanomolar
eV	eletrovolts
t _r	tempo de retenção
m/z	razão massa por carga

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 O Alho-poró (<i>Allium porrum</i>): Características e Descrição da espécie	18
2.2 Cultivo	20
2.3 Variedades do alho-poró: Diversidades morfológicas e fisiológicas	20
2.4 Composição química e atividade biológica do alho-poró	22
2.5 Nitrogênio como indicador da Proteína Bruta	24
2.6 Cinzas	25
2.7 Análises por HS-SPME/GC-MS	25
2.8 Análises por FTIR	26
3 OBJETIVO GERAL	28
3.1 Objetivos específicos.....	28
4 METODOLOGIA.....	28
4.1 Cultivo do alho-poró.....	29
4.2 Análises físico-químicas	31
4.2.1 Desidratação e moagem da folhagem.....	31
4.2.2 Secagem e teor de matéria seca	33
4.2.3 Matéria Seca (MS).....	34
4.2.4 Determinação das Cinzas.....	34
4.2.5 Determinação da Matéria Orgânica	35
4.2.6 Determinação da Umidade total	35
4.3 Análises nutricionais	36
4.3.1 Avaliação do teor de Nitrogênio amoniacal pelo método Kjeldahl	36
4.3.2 Determinação do teor de Nitrogênio e Proteína Bruta	39
4.4 Análises dos minerais	39
4.4.1 Análises de Cálcio e Magnésio.....	40
4.4.2 Determinação de Cálcio por titulometria de complexação.....	40
4.4.5 Determinação de magnésio por titulometria de complexação	41
4.4.6 Determinação de Fósforo por Espectrofotometria no Ultravioleta/ Visível.....	41
4.4.7 Determinação de Sódio e Potássio por Fotometria de emissão de chama.....	44
4.5 Extração do óleo de alho-poró por Soxhlet	45
4.6 Análises por FT-IR.....	47

4.7 Análises por HS-SPME/GC-MS.....	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 Cultivo e Identificação Botânica	50
5.2 Análises físico-químicas, nutricionais e minerais	51
5.3 Rendimento de extração	54
5.4 Análises FTIR.....	54
5.5 Análises cromatográficas por HS-SPME/GC-MS.....	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
7 REFERÊNCIAS:	65
8 Apêndice 1	70
9 Apêndice 2	73

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Allium* constitui o principal agrupamento botânico de espécies pertencentes à família *Amaryllidaceae*, compreendendo mais de 500 espécies distribuídas em diferentes regiões do mundo. As mais populares são o alho (*Allium sativum* L.) e a cebola (*Allium cepa* L.), amplamente apreciadas desde a antiguidade por seus sabores marcantes, facilidade de cultivo e aplicações terapêuticas. Os antigos egípcios, por exemplo, utilizavam o *Allium sativum* para tratar infecções, resfriados e até controlar doenças crônicas, como diabetes e problemas cardíacos. Outras espécies conhecidas do gênero incluem o alho-poró (*Allium porrum* L.) e a cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.). Embora apresentem formas, aromas e sabores distintos, essas hortaliças compartilham a presença de compostos químicos semelhantes, como compostos orgânicos voláteis, fenólicos, polissacarídeos e, principalmente, compostos sulfurados. O forte aroma característico dessas plantas está diretamente relacionado ao enxofre, presente na forma de precursores organossulfurados. Esses compostos são os principais responsáveis pelas atividades biológicas atribuídas às espécies do gênero *Allium*, incluindo efeitos antioxidantes, antimicrobianos, anti-inflamatórios, imunorreguladores e antitumorais. Entre os compostos mais relevantes estão a S-alilcisteína, o tiossulfinato de dialila, além de diversos sulfetos e polissulfetos de dialila (Xie *et al.*, 2023; Yan *et al.*, 2022; Sasi *et al.*, 2021).

O alho-poró (*Allium porrum* L.), assim como outras espécies do gênero *Allium*, é amplamente cultivado em países asiáticos, tendo forte presença também no continente europeu, embora seja consumido em diversas regiões do mundo (Biernacka *et al.*, 2021). Embora o cultivo do alho-poró no Brasil seja predominante em regiões de clima subtropical e temperado, como nas regiões Sul e Sudeste, onde as temperaturas são mais amenas e as condições se assemelham às do clima europeu (Dutilh *et al.*, 2025), na região norte do estado do Tocantins há o registro de uma variedade de alho-poró cujo cultivo ocorre em sistemas de agricultura familiar, com variedades adaptadas localmente e ainda pouco documentadas na literatura científica. Em relação às espécies mais populares, ainda há um número reduzido de estudos voltados à caracterização química do alho-poró. Apesar disso, é provável que a espécie apresente propriedades funcionais semelhantes as espécies já conhecidas desse gênero, uma vez que compartilham compostos químicos em comum, o que sugere um potencial bioativo relevante, cuja caracterização ainda carece de estudos mais aprofundados (Mnayer *et al.*, 2014).

A realização de análises nutricionais é uma prática comum no controle de qualidade de alimentos. Elas são feitas por meio de análises físico-químicas, que determinam a composição nutricional de um alimento, incluindo a quantidade de macronutrientes (proteínas, nitrogênio entre outros) e micronutrientes (minerais etc.) além de parâmetros como umidade e cinzas.

Para a determinação da composição química das espécies é comum a utilização de técnicas analíticas como a cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) entre outras. Nos parágrafos seguintes serão apresentados estudos que abordaram a composição química do alho-poró (Detmann *et al.* 2021).

No trabalho de Mnayer *et al.* (2014) foi realizada uma análise por GC-MS de alguns óleos essenciais da família *Amaryllidaceae*, a fim de avaliar possíveis propriedades antibacterianas e antioxidantes. Na análise, foram identificados 41 compostos, onde o dissulfeto de dipropila foi identificado como composto majoritário representando mais de 45% da composição total óleo essencial. Nesse estudo todos os óleos essenciais apresentaram propriedades antioxidantes em diferentes níveis. Os óleos de chalota e alho-poró foram os antioxidantes mais potentes.

No estudo de Alshammari *et al.* (2022), foi avaliado o efeito antiproliferativo do extrato de alho-poró sobre células HT-115, associadas ao câncer de cólon humano. Por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), as análises do extrato metanólico de alho-poró revelaram que 74,42% da área de pico correspondia ao ácido alfa-linolênico um composto com reconhecidas propriedades inibitórias sobre a proliferações celulares (HT-115). Os autores destacaram que tais resultados evidenciam sua importância como alimento promotor de saúde, sugerindo que seu consumo ampliado pode ser uma estratégia nutricional promissora na prevenção do câncer de cólon.

Mumtaz *et al.* (2024), registrou espectros de FTIR a partir do extrato aquoso de alho-poró biossintetizado com nanopartículas de selênio, visando avaliar seu efeito frente a lesões testiculares e cerebrais em ratos Wistar induzidas pela exposição ao cloreto de mercúrio (HgCl₂). Os resultados do estudo indicaram que, após a exposição ao HgCl₂, os ratos apresentaram estresse oxidativo, queda nos níveis hormonais e redução de neurotransmissores. No entanto, o pré-tratamento com o extrato de alho-poró associado a SeNPs promoveu melhora significativa nos níveis de testosterona, LH, FSH, bem como nos marcadores cerebrais, como dopamina e serotonina, evidenciando seu potencial como alternativa biológica promissora no combate à infertilidade e aos danos neurológicos.

Esses estudos mostram que investigar a composição química do alho-poró é essencial, especialmente diante de potenciais aplicações na saúde. A maioria dos trabalhos presentes na literatura científica analisa variedades amplamente cultivadas e comercialmente. Essas plantas geralmente apresentam porte médio a grande e, em muitos casos, podem possuir origem híbrida. Por outro lado, Herrera *et al.* (2014) se remete a análises realizadas a partir de cultivares “selvagens” de alho-poró, classificando-o como *Allium ampeloprasum L.* A variedade estudada apresenta menor porte em comparação com as variedades popularmente comercializadas.

A distinção entre essas variedades, levanta a hipótese de que, além das diferenças morfológicas, essas plantas também podem apresentar variações em suas composições químicas, atividades bioativas e perfis nutricionais. Diante disso, essa pesquisa foi desenvolvida visando investigar o perfil químico e nutricional de uma planta conhecida tradicionalmente como alho-poró na região norte do Tocantins. Com o intuito de responder a seguinte pergunta de pesquisa: Qual a composição química e nutricional da variedade de alho-poró analisada neste estudo, e o que os resultados indicam em relação aos cultivares comerciais amplamente difundidos?

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão apresentados os principais conceitos, definições, teorias e subsídios necessários para a compreensão do tema abordado neste trabalho, com base em autores e estudos relevantes da literatura. Essa etapa tem como objetivo oferecer fundamentação conceitual e argumentativa para sustentar os objetivos, hipóteses e análises realizadas na pesquisa.

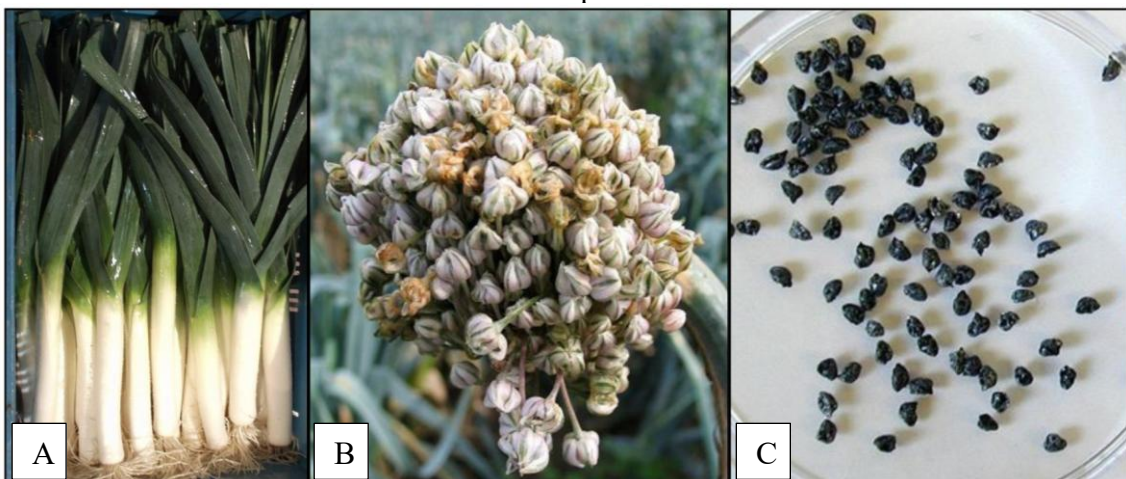
2.1 O Alho-poró (*Allium porrum*): Características e Descrição da espécie

O alho-poró, também conhecido como alho-francês, alho-poró de jardim, *Leek*, *Kurrat* entre outros nomes é uma planta bienal de clima frio pertencente à mesma família do alho, a *Amaryllidaceae*. O alho-poró tem sua origem na região do Mediterrâneo, seu cultivo remonta a antigas civilizações Egípcias, Gregas e Romanas. Atualmente, é cultivado em diversas regiões do mundo, sendo muito popular na Europa. Atualmente, a maior área de cultivo está concentrada em países como Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Holanda, Reino Unido, Bulgária e Turquia. No entanto, o alho-poró é amplamente cultivado em diversas regiões do mundo (Centro Internacional de Agricultura e Biociências - CABI, 2019). A espécie (Figura 1: A) possui um caule curto a médio, com formato cilíndrico, essa porção subterrânea é chamada de bulbo envolto por uma bainha de folhas geralmente longas, de coloração verde a amarelada,

podendo atingir mais de 50 centímetros de comprimento. Suas raízes são fibrosas com tamanhos curtos. (Xie *et al.*, 2023).

O crescimento da planta se inicia ainda na semente (Figura 1: C), a partir da primeira estrutura foliar embrionária que dará origem as demais estruturas da planta. Apesar de a germinação ocorrer geralmente a 15 °C, em ambiente escuro, as plantas são adaptáveis a diferentes temperaturas, com crescimento vegetativo ideal entre 20 °C e 25 °C. Normalmente, no segundo ano após o plantio, a planta produz cachos de flores (Figura 1: B) com, em média, seis pétalas, que podem ser brancas, rosadas ou roxas. A cultura do alho-poró apresenta boa adaptabilidade a diversas condições de solo e clima, demonstrando eficiência na absorção de nutrientes e água. Os sistemas de cultivo modernos buscam otimizar os rendimentos de produção, priorizando características desejáveis para a comercialização (CABI, 2019).

Figura 1 - Variedade popular de alho-poró: (A) corpo da planta. (A) cacho de flores (C) sementes da planta.



Fonte: Centro Internacional de Agricultura e Biociências (CABI), 2019.

Existem divergências científicas quanto à nomenclatura botânica do alho-poró. Alguns autores o agrupam junto a outras espécies de vegetais selvagens encontradas na região do Mediterrâneo pertencentes ao grupo *Allium ampeloprasum*. Utilizando a denominação *Allium ampeloprasum* var. *porrum*. L para classificar a espécie. No entanto, o alho-poró cultivado atualmente difere de forma significativa da espécie original, sendo que a maioria dos cultivares agrícolas disponíveis corresponde a híbridos F1 (plantas resultantes do cruzamento entre duas linhagens parentais distintas). Em função dessas modificações, a maior parte dos autores adota o nome *Allium porrum* L., essa nomenclatura inclusive é reconhecida oficialmente pelo Sistema Integrado de Informações Taxonômicas (ITIS) (CABI, 2019).

Além disso, alguns autores, especialmente em publicações voltadas às regiões do Oriente Médio e Norte da África, chamam a planta de *Allium Kurrat*, também conhecida como

alho-poró egípcio. No trabalho de Mumtaz *et al.* (2024), por exemplo, o alho-poró foi classificado como *Allium ampeloprasum* var. *kurrat*. Essa variação na classificação pode ser explicada devido a adaptações morfológicas e fisiológicas da planta às condições específicas de cultivo e clima dessas regiões.

2.2 Cultivo

O alho-poró é uma cultura resistente, especialmente adaptada a regiões com invernos frios e úmidos, o que permite que a planta permaneça no campo e seja colhida ao longo de toda a estação. O cultivo pode ser realizado tanto por semeadura direta quanto por transplante, sendo que as mudas são geralmente plantadas em uma ou mais fileiras, em colinas, dentro de buracos com profundidade entre 12 e 15 cm. Para favorecer o alongamento do bulbo (parte mais valorizada comercialmente). Atualmente, a maioria dos cultivares são formados por híbridos F1, desenvolvidos por meio de melhoramento genético com o objetivo de melhorar a produtividade e garantir maior resistência a estresses e doenças. Essas culturas apresentam desempenho agrônomico superior e são classificadas de acordo com a época de plantio e colheita, que pode ocorrer em diferentes estações do ano (CABI, 2019).

A produção nacional de alho está concentrada principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Piauí, Espírito Santo e no Distrito Federal (Associação Nacional dos Produtores de Alho - ANAPA, 2025). Entretanto, segundo a lista morfológica de espécies presentes na flora brasileira, disponibilizada pelo projeto Flora e Funga do Brasil há registros do alho-poró apenas nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo (Dutilh *et al.* 2025).

2.3 Variedades do alho-poró: Diversidades morfológicas e fisiológicas

A maior parte dos estudos encontrados utilizam variedades do alho-poró amplamente comercializadas, apresentando plantas de maior porte com folhas largas, podendo ter origens híbridas. Por outro lado, a planta analisada neste estudo (Figura 2) possui características morfológicas diferentes, apresentando menor porte e folhas mais estreitas, o que indica a possibilidade de se tratar de uma variedade nativa pouco cultivada. Outra distinção está na parte comestível, Damin *et al.* (2020) abordam que, o bulbo e a parte inferior do pseudocaulo são as partes consumidas. Já na variedade cultivada as folhas são consumidas, essas possuem cheiro e gosto mais suave que o cheiro de alho, e mais próximo ao cheiro da cebolinha.

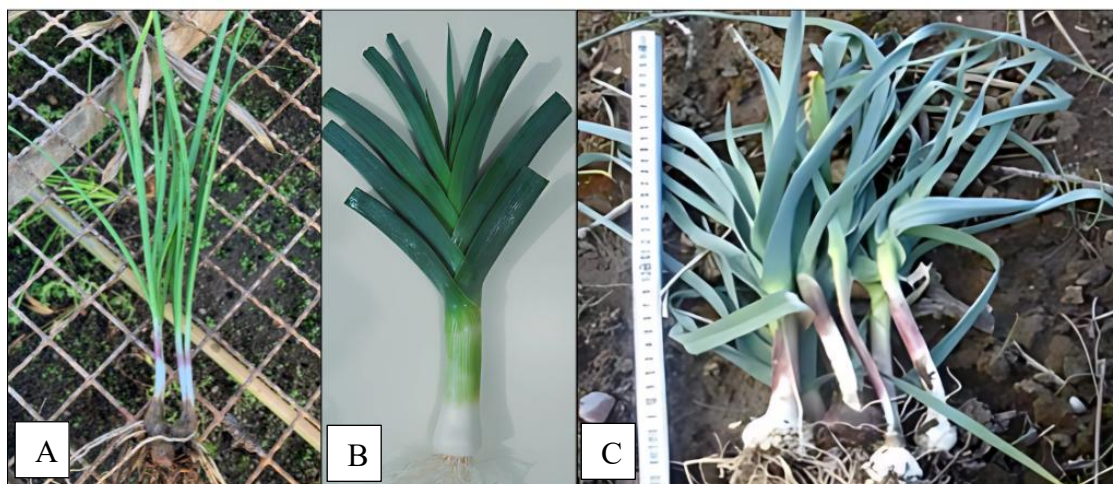
Figura 2 - Variedade de alho-poró analisada neste estudo



Fonte: Autor, 2025.

No trabalho de Herrera *et al.*, (2014) o perfil Nutricional, fitoquímico e a atividade antioxidante de populações selvagens de alho-poró (*Allium ampeloprasum L.*) foi investigado. A espécie denominada como selvagem possui aparências morfológicas similares a variedade analisada neste trabalho. Como a coloração roxa dos talos e o tamanho das plantas. Na figura 3 será apresentada uma imagem comparando três variedades do alho-poró.

Figura 3 - (A) Variedade cultivada no município de Araguaína, Tocantins, Brasil; (B) variedade denominada *Allium porrum* presente em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil; (C) variedade selvagem denominada *Allium ampeloprasum* encontrada em uma província de Madri, Espanha.



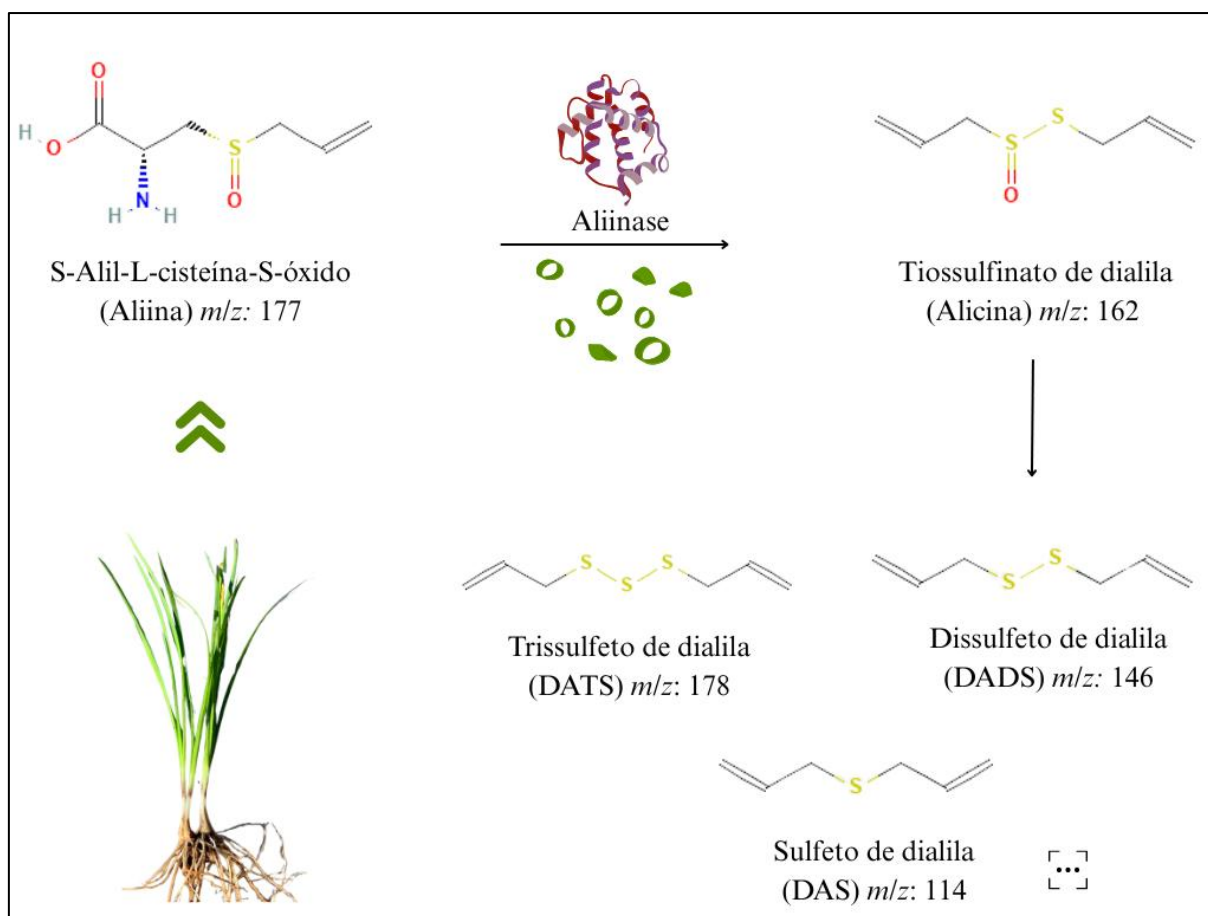
Fontes: (a) Autor, 2025; (b) Damin *et al.* (2020); (c) Herrera *et al.* (2014).

Diante dessa distinção entre as variedades, surge a hipótese de que, além das diferenças morfológicas, essas plantas também possam apresentar distinções em suas composições químicas, atividades biológicas e perfis nutricionais.

2.4 Composição química e atividade biológica do alho-poró

A composição do alho-poró é diversa e rica em minerais, como cálcio, cobre, ferro, fósforo, magnésio, potássio, sódio e zinco, além de conter uma série de vitaminas como: A, B (B1, B2, B3 e B6), C, E e K. Essa hortaliça também apresenta diversos compostos bioativos, como polifenóis, polissacarídeos pécticos e sulfóxidos de S-alquenil-L-cisteína (Biernacka *et al.*, 2021). O aroma característico das espécies do gênero *Allium* está fortemente associado à presença de compostos organossulfurados, especialmente os S-alqu(en)il-L-cisteína sulfóxidos e seus derivados. Entre eles, se destacam o S-alil-L-cisteína sulfóxido predominante no alho conhecido como aliina, e o S-1-propenil-L-cisteína sulfóxido conhecido como isoaliina seu isômero presente na cebola (Xie *et al.*, 2023). A aliina está presente no alho cru intacto, quando os tecidos do vegetal são cortados ou esmagados, ocorre a liberação da enzima aliinase, que catalisa a conversão da aliina em alicina (tiosulfonato de dialila), principal tiosulfínico gerado no alho fresco. A alicina é uma molécula instável e altamente reativa, que rapidamente se degrada, originando uma série de outros compostos organossulfurados. Dentre esses, os mais estáveis estão os polissulfetos de dialila, como o dissulfeto de dialila (DADS), o trissulfeto de dialila (DATS). Outros compostos importantes incluem o monossulfeto de dialila (DAS), os ajoenos e as vinilditiínas. Esses compostos possuem potencial antioxidante comprovado, ajudando a proteger o organismo contra danos provocados por espécies reativas de oxigênio (González; Santamaría, 2017; Locatelli *et al.*, 2017). Na figura 4 será apresentado o fluxo simplificado da rota metabólica da alicina.

Figura 4 - Rota metabólica simplificada da formação e decomposição da alicina.



Fonte: Autor, 2025 (estruturas moleculares obtidas via PubChem)

Ao analisar a composição química do alho-poró Mnayer *et al.* (2014) e Casella *et al.* (2012) a composição majoritária foi constituída por polissulfetos de dipropila. Por outro lado, os derivados diretos da alicina foram encontrados em baixas concentrações. Cassela *et al.* (2012) associa a atividade biológica do alho quase que integralmente a esses derivados da alicina (polissulfetos dialílicos), os quais foram identificados com altos teores nas amostras de alho em seu trabalho. Nesse contexto, Borlinghaus *et al.* (2014) abordaram em seu trabalho que o DADS quando aplicado em concentrações cerca de 35 vezes maiores (6,15 nM) do que a alicina (0,17 nM) pode inibir o crescimento de bactérias dos tipos *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Segundo Biernacka *et al.* (2021), os compostos organossulfurados também possuem propriedades antialérgicas, anti-inflamatórias, entre outras. Além de terem demonstrado potencial na redução do risco de diferentes tipos de câncer.

Outro grupo expressivo de substâncias bioativas com relevante importância na dieta humana é composto por polifenóis livres de enxofre, como antocianinas, flavonóis, taninos, flavonoides, ácidos fenólicos, fitoesteróis, carotenoides e saponinas. Os polifenóis são

antioxidantes naturais que desempenham um papel importante na prevenção de danos oxidativos aos componentes celulares, contribuindo para a redução do risco de doenças crônicas (Najda *et al.*, 2016).

No mesmo estudo, Najda *et al.* (2016) também destacam o potencial proteico da planta, afirmando que, assim como muitas outras espécies vegetais, o alho representa uma rica fonte de aminoácidos. A síntese de proteínas e outros compostos no organismo humano depende da presença de aminoácidos de ambos os grupos, sendo a dieta a principal fonte de obtenção. Cada planta possui uma composição específica de aminoácidos, que determina seu valor nutricional. Dessa forma, todos esses compostos químicos são considerados parâmetros qualitativos essenciais para avaliar a adequação da planta na alimentação humana. Assim, todos esses compostos químicos, especialmente os aminoácidos, são considerados parâmetros qualitativos que determinam a adequação nutricional da planta na dieta humana. O que reforça a importância da análise de sua composição proteica.

2.5 Nitrogênio como indicador da Proteína Bruta

Considerando-se as características químicas da nutrição proteica, compreende-se que a avaliação de alimentos deve priorizar a quantificação das concentrações e proporções dos aminoácidos. Uma das principais características que diferencia os compostos proteicos dos carboidratos e lipídios é a presença do grupamento amino ligado ao carbono α nos aminoácidos, o que torna o nitrogênio um elemento essencial nas cadeias peptídicas. Dessa forma, estabelece-se uma forte correlação positiva entre a concentração de proteína e o teor de nitrogênio em alimentos. Essa relação permite que o teor de nitrogênio seja utilizado como um indicador da proteína bruta (PB), conforme princípios estabelecidos desde o século XIX (Detmann *et al.* 2021).

No entanto, embora seja quimicamente correto afirmar que alimentos com maior teor de proteína apresentam mais nitrogênio, o inverso não é necessariamente verdadeiro. O nitrogênio também está presente em diversos outros compostos orgânicos e inorgânicos. Assim, nem todo o nitrogênio presente na amostra é, de fato, proveniente de proteínas. A determinação do teor de nitrogênio, por sua vez, é tradicionalmente realizada pelo método de Kjeldahl, amplamente adotado devido à sua simplicidade e baixo custo. Desenvolvido por Johann Kjeldahl, na Dinamarca, em 1883, enquanto estudava proteínas em grãos, esse método passou por sucessivos aperfeiçoamentos e continua sendo um dos mais utilizados na atualidade (Detmann *et al.* 2021).

2.6 Cinzas

As cinzas, ou material mineral, correspondem ao resíduo inorgânico resultante da incineração da matéria orgânica, descrita na seção anterior. Durante a queima, compostos orgânicos são convertidos em substâncias voláteis, como H₂O, CO₂, N₂O e SO₂. Considerando que a matéria seca total de um alimento é composta pelas frações orgânica e inorgânica, o teor de cinzas funciona como um estimador indireto do conteúdo de componentes orgânicos totais. Além disso, o conhecimento do teor de cinzas é fundamental para determinar a proporção de componentes calculados por diferença, como o extrativo não nitrogenado, os carboidratos não fibrosos e a matéria orgânica residual (Detmann *et al.* 2021). Esse parâmetro também é amplamente utilizado em análises de nutrientes minerais inorgânicos presentes nos alimentos, como cálcio, magnésio, fósforo, sódio e potássio, entre outros. (Nogueira; Souza, 2005).

2.7 Análises por HS-SPME/GC-MS

A técnica de Cromatografia a Gás acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) é considerada híbrida por combinar dois processos analíticos distintos, ampliando significativamente o poder da química analítica. A cromatografia a gás (GC) realiza a separação dos compostos voláteis de uma mistura, enquanto a espectrometria de massas (MS) é responsável por sua identificação. No cromatógrafo, os compostos são arrastados por um gás (fase móvel) através da coluna cromatográfica (fase estacionária), sendo separados com base em suas polaridades e eluídos em diferentes tempos de retenção. Já no Espectrômetro, o composto eluído é bombardeado por um feixe de elétrons, gerando fragmentos ionizados com diferentes razões massa/carga (m/z). O MS é composto por três partes principais: fonte de íons, analisador de massas e detector. No analisador do tipo quadrupolo, os íons são filtrados por quatro barras metálicas com cargas alternadas, os íons selecionados são detectados e quantificados (Bustillos, 2020).

O GC-MS também pode ser utilizado em conjunto com a microextração em fase sólida no *headspace* (HS-SPME) para análises qualitativas e quantitativas precisas em diferentes tipos de amostras. A microextração em fase sólida por *headspace* (HS-SPME) é amplamente empregada para isolar e concentrar compostos voláteis antes da análise por GC-MS. Essa técnica apresenta diversas vantagens em relação a outros métodos de preparo de amostras, como a eliminação do uso de solventes, facilidade de automação e exigência de pequenos volumes de amostra. (Xu Xie *et al.*, 2025; Burzynski-Chang *et al.*, 2018).

Nos parágrafos a seguir, são apresentados trabalhos que utilizaram cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) na análise dos compostos orgânicos voláteis (COVs) do alho-poró.

No estudo de Mnayer et al. (2014), foi realizada a análise do óleo essencial de alho-poró. As análises cromatográficas foram conduzidas em um cromatógrafo a gás modelo 7890A (Agilent), equipado com uma coluna HP-5MS (5% fenil, 95% metilsiloxano: 30 m × 0,25 mm × 0,25 µm). A injeção foi feita em modo split, com razão de 1:100, e a corrida ocorreu sob rampa de temperatura programada. Ao todo, foram identificados 41 compostos, representando 86,90% da composição total. O principal componente identificado foi o dissulfeto de dipropila (47,70%), seguido pelo trissulfeto de dipropila (15,01%). A alicina foi identificada em baixas concentrações.

No estudo de Cassella et al. (2012), foi realizada uma comparação da composição química dos óleos essenciais de alho e alho-poró. As análises foram conduzidas por cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas por impacto eletrônico (GC/EIMS), utilizando um cromatógrafo a gás modelo CP-3800 (Varian), com coluna capilar DB-5 (30 m × 0,25 mm; 0,25 µm). As temperaturas do injetor e da linha de transferência foram de 220 °C e 240 °C, respectivamente. A injeção foi realizada em modo split, com razão de 1:30, e a corrida também seguiu uma rampa de temperatura programada. O composto majoritário identificado no óleo essencial de alho-poró foi o dissulfeto de dipropila (29,81 mg/100 g), seguido pelo trissulfeto de dipropila (7,22 mg/100 g). A alicina, principal composto do alho comum, também foi detectada no alho-poró, com concentração de 0,12 mg/100 g.

2.8 Análises por FTIR

A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica amplamente empregada para a identificação de grupos funcionais presentes em substâncias puras ou em misturas complexas. Trata-se de um método rápido, confiável e de fácil aplicação, permitindo análises qualitativas e quantitativas de compostos orgânicos e inorgânicos na região do infravermelho. Por meio da absorção de radiação infravermelha, as moléculas vibram de maneiras específicas, e essas vibrações são registradas em um gráfico que relaciona a intensidade de absorção ao número de onda. Cada composto apresenta um padrão característico de bandas que facilita sua identificação. Na prática, o espectro é obtido através da comparação entre um feixe de radiação que atravessa a amostra e outro que atravessa uma referência, com o próprio equipamento realizando automaticamente essa subtração. No caso de amostras sólidas, uma técnica comum consiste em misturar o material moído com brometo de potássio

(KBr) em pó e prensar essa mistura sob alta pressão, formando uma pastilha translúcida que pode ser analisada. O KBr é transparente até a região de 400 cm^{-1} , o que garante um espectro livre de interferências e ideal para caracterização estrutural (Pavia *et al.*, 2026)

A seguir serão apresentados estudos que avaliaram amostras de alho-poró por FTIR.

No trabalho de Mumtaz *et al.* (2024), foi obtido o extrato aquoso liofilizado de alho-poró. A caracterização do extrato foi realizada por meio de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), utilizando o espectrômetro VERTEX com potência de 70ev. As análises foram conduzidas em varreduras cumulativas na faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} . Embora nesse estudo as análises tenham sido realizadas a partir do alho-poró biossintetizado com nanopartículas de selênio. Para essa análise só foi considerado o espectro obtido a partir do extrato de alho-poró sozinho, sem a presença das nanopartículas. Nessa análise, destacaram-se três bandas de absorção: duas intensas, sendo uma em $3325,03\text{ cm}^{-1}$, e outra em $1634,72\text{ cm}^{-1}$. Além disso, foi observada uma banda de absorção em $2108,25\text{ cm}^{-1}$, classificada como fraca pelos autores.

No trabalho de Nallal *et al.* (2021), embora o estudo tenha abordado a síntese de nanopartículas de prata induzida por luz solar com extrato de *Allium ampeloprasum*, também foram realizadas discussões espectrais referentes ao extrato de alho-poró isolado. A análise dos grupos funcionais foi realizada a partir do extrato aquoso de alho-poró, utilizando um espectrômetro FTIR Perkin Elmer 100 N, com varredura na faixa de 4000 a 500 cm^{-1} . As amostras foram obtidas de um agricultor local. De acordo com a interpretação dos autores, no espectro FTIR do extrato foi observada uma banda intensa em 3438 cm^{-1} , atribuída a vibrações da ligação O–H, típica de grupos hidroxila. Outra banda intensa em 1632 cm^{-1} foi associada ao estiramento da ligação dupla C=C, característica de grupos alceno, frequentemente encontrados em flavonoides. Os autores também identificaram bandas mais fracas, como em 1416 cm^{-1} , relacionada à flexão da ligação C–H, comumente associada a proteínas nos extratos. A banda em 1075 cm^{-1} foi atribuída ao estiramento da ligação S=O, indicativo de sulfóxidos, e a banda em 624 cm^{-1} foi associada ao estiramento da ligação S–H, sugerindo a presença de grupos tiol.

Diante do potencial funcional e bioativo dessa planta, e da existência de variedades distintas que podem influenciar diretamente sua composição, justifica-se a realização da presente pesquisa, que se propõe a caracterizar o perfil químico e nutricional de uma variedade conhecida como alho-poró na região norte do estado do Tocantins.

3 OBJETIVO GERAL

Realizar a caracterização química e nutricional de uma espécie tradicionalmente conhecida na região norte do Tocantins como alho-poró (*Allium sp.*).

3.1 Objetivos específicos

- a) Cultivar as plantas para obtenção de material para as análises.
- b) Realizar a extração do óleo de alho-poró.
- c) Identificar os compostos orgânicos voláteis (COVs) presentes no alho-poró.
- d) Caracterizar os principais grupos funcionais dos compostos presentes na planta.
- e) Determinar teores nutricionais e físico-químicos como nitrogênio, proteína, umidade, cinzas e matéria orgânica.
- f) Analisar as concentrações de minerais como cálcio, magnésio, fósforo, sódio e potássio.

4 METODOLOGIA

Nesta seção, são descritos os procedimentos metodológicos adotados para a realização deste trabalho. São apresentadas as etapas relacionadas ao cultivo, coleta e preparo das amostras, bem como extrações e análises. A pesquisa é de natureza experimental, aplicada, quantitativa, descritiva e exploratória, com abordagem interdisciplinar. O caráter experimental está na realização de análises químicas e nutricionais do alho-poró, visando identificar compostos com potencial bioativo e medicinal. A abordagem quantitativa se justifica pelo uso de técnicas como HS-SPME/GC-MS e FTIR. É classificada como exploratória por investigar uma variedade não convencional da planta, cultivada por agricultura familiar em região pouco estudada. Além dos dados laboratoriais, a fundamentação teórica foi construída com base em fontes bibliográficas relevantes, como os periódicos *ScienceDirect*, *Journal of Chromatography A*, *ACS Publications*, *PubMed (NCBI)* e a base de periódicos da *CAPES*.

Este trabalho de pesquisa científica foi realizado em quatro etapas experimentais, iniciando pelo cultivo das mudas do alho-poró, seguido pelas análises físico-químicas da folhagem superior das plantas. Posteriormente, foram realizadas extrações seguidas das análises da composição volátil e espectroscópicas do extrato e óleo do alho-poró. Através das análises físico-químicas, foram avaliados os teores de umidade, cinzas, nitrogênio, proteína bruta e matéria orgânica, além dos compostos inorgânicos como cálcio, magnésio, fósforo, sódio e potássio. Para essas análises, foram empregadas técnicas de secagem utilizando estufa, mufla, decomposição e destilação de matéria orgânica, além de titulações. Na análise da composição

química, foram utilizadas as técnicas de microextração em fase sólida no *headspace* (HS-SPME), Cromatografia a Gás acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR), Espectrofotometria no Ultravioleta/Visível (UV/Vis) e fotometria de chama. Todas as etapas serão detalhadas nas subseções a seguir.

4.1 Cultivo do alho-poró

O cultivo foi realizado no viveiro do curso de Agronomia (Figura 5) do Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC) (-7.210562, -48.237953) em parceria com profissionais da agronomia. O viveiro é mantido sob temperatura ambiente, sendo revestido por uma estrutura coberta com malha de sombreamento do tipo sombrite 70%, que reduz a temperatura entre 1 °C a 4 °C nos horários de maior incidência solar. O sombrite atua filtrando parte significativa da radiação solar, atenuando a intensidade luminosa e prevenindo danos como queimaduras foliares, fotoinibição e estresse térmico nas plantas. No viveiro há também um sistema de irrigação automatizado e bancadas de apoio para os vasos de plantas.

Figura 5 - Viveiro agrícola do curso de agronomia da UNITPAC com malha sombrite 70% utilizado no cultivo das mudas de alho-poró



Fonte: Autor, 2025.

No total foram plantadas 29 mudas de alho-poró obtidas pela replicação de mudas originadas de uma pequena horta familiar da cidade de Bielândia-Tocantins. O período de cultivo foi de 75 dias, iniciado em 27 de novembro de 2024 a 10 de fevereiro de 2025. As mudas

foram cultivadas inicialmente em sacos plásticos próprios para plantio, e em seguida transferidas para jarros de plástico contendo uma mistura de terra com substrato do tipo Tropstrato HT Hortaliças (constituído por casca de pinus, turfa, vermiculita expandida e enriquecido com macro e micronutrientes de liberação lenta) na proporção 50% (m/m). Esse substrato é indicado para diversas hortaliças e apresenta benefícios como uniformidade no desenvolvimento das plantas, ausência de patógenos e ervas daninhas, além de favorecer o vigor das mudas e antecipação do ciclo. As plantas foram irrigadas diariamente três vezes ao dia nos períodos mais quentes e semanalmente nos períodos chuvosos.

Também foram realizadas vistorias para monitorar o crescimento das mudas. A Figura 6 mostra diferentes estágios das plantas durante o monitoramento.

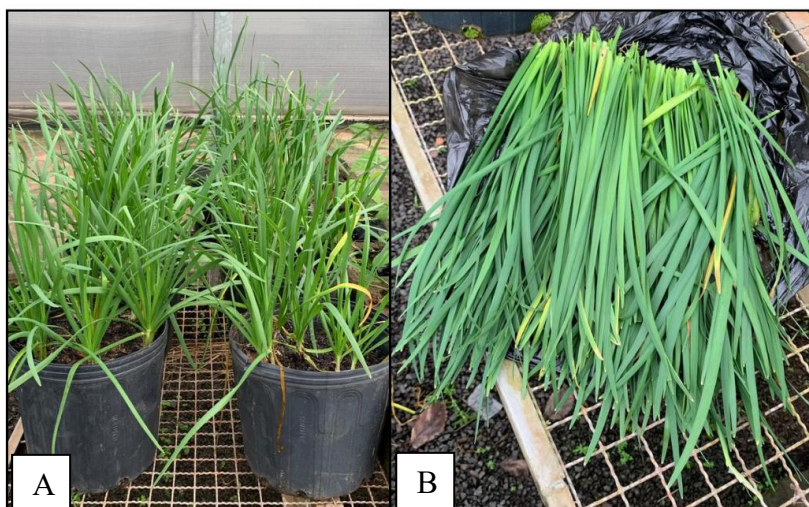
Figura 6 - Mudanças de alho-poró nos diferentes estágios de cultivo: (A) mudas no dia do plantio; (B) mudas após 15 dias cultivo. (C) mudas após 30 dias de cultivo; (D) mudas após 60 dias de cultivo (última vistoria) antes da poda.



Fonte: Autor, 2025

As mudas, ao atingirem o estágio adulta, tiveram suas folhas podadas para realização das análises físico-químicas como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Mudanças após 75 dias de cultivo (A) seguida da poda da folhagem do alho-poró (B)



Fonte: Autor, 2025.

4.2 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas do alho-poró envolveram uma série de procedimentos para obtenção de dados precisos da sua composição química. Para estas análises, foi utilizada a parte superior das folhas das plantas. Os processamentos foram realizados com base no livro Métodos para Análise de Alimentos do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal - INCT descritos por Detmann *et al.* (2021) A realização das análises foi baseada na matéria seca considerando o peso da amostra após os processos de desidratação e secagem. Os valores médios das análises serão apresentados na seção seguinte.

4.2.1 Desidratação e moagem da folhagem

Nessa seção, serão descritas as duas etapas do processamento físico das amostras: a desidratação parcial, também denominada redução do teor de umidade em estufa com circulação forçada de ar ou simplesmente “pré-secagem”, e o processamento mecânico, conhecido como moagem. Essas etapas foram realizadas em sequência com base no Método G-001/2. O principal objetivo foi reduzir a umidade da amostra para evitar sua deterioração e preservar a integridade dos analitos. Durante a desidratação parcial, as amostras foram distribuídas em quatro porções e condicionadas em sacos de papel perfurados, separadamente. As massas de cada porção foram medidas em balança semi-analítica, em seguida colocadas em estufa a 55 °C por 72 horas e depois de resfriadas foram medidas suas massas novamente. A Figura 8 mostra as folhas de alho poró antes e após a desidratação parcial.

Figura 8 - Folhas de alho poró antes (A) e após a desidratação parcial (B)



Fonte: Autor, 2025.

Com os dados obtidos pré e pós a desidratação foi possível calcular o percentual da massa restante da amostra seca ao ar ASA (%). Esse resultado foi obtido a partir da diferença proporcional entre as massas, como mostrado na equação 1, a seguir:

(1)

$$ASA (\%) = \frac{\text{Massa pós desidratação (g)}}{\text{Massa pré desidratação (g)}} \times 100$$

A etapa seguinte foi a moagem, que foi realizada em um moinho de facas tipo Willey STAR FT-80/2, da marca Fortinox. Na figura 9 são apresentados registros do processo de moagem das amostras.

Figura 9 - (A) moinho de facas utilizado; (B) amostras moídas em sacos plásticos



Fonte: Autor, 2025.

4.2.2 Secagem e teor de matéria seca

Embora a primeira etapa tenha promovido a desidratação parcial das amostras, essa condição não é suficiente para a realização das análises, devido a umidade retida no interior das células da planta. Para sua remoção completa, foi realizada uma nova secagem em estufa sem ventilação forçada, sob temperaturas iguais ou superiores à ebulição da água para a obtenção da "amostra seca em estufa" (ASE) e permitindo assim a obtenção da matéria seca (MS) da folhagem. Somente após essa etapa foi possível quantificar com precisão os teores e concentração de nitrogênio, proteína bruta, e minerais. (Método G-003/1).

Para determinação do percentual de ASE, foram medidas aproximadamente 2 gramas da amostra seca ao ar (ASA) e transferidas para 4 cadinhos de porcelana de tamanhos médios. Em seguida, estes foram submetidos a secagem em estufa a 105 °C por aproximadamente 20 horas para remoção completa da umidade residual. Depois de resfriados em dessecador, suas massas foram medidas em balança analítica. A partir da diferença entre a massa do cadinho vazio e após a secagem, foi determinada a Amostra Seca em Estufa (ASE). A figura 10 apresenta as amostras após secagem final.

Figura 10 - Registro das amostras antes de inseridas na estufa para remoção da umidade residual



Fonte: Autor, 2025.

O valor percentual da amostra seca em estufa ASE (%) foi obtido a partir da equação 2:

(2)

$$\text{ASE (\%)} = \frac{\text{Massa pós secagem (g)}}{\text{Massa pré secagem (g)}} \times 100$$

4.2.3 Matéria Seca (MS)

A partir dos dados obtidos de ASA (%) e ASE (%), foi possível calcular o percentual de Matéria Seca MS (%), dada pela equação 3.

(3)

$$\text{Matéria Seca (\%)} = \frac{\text{ASA (\%)} \times \text{ASE (\%)}}{100}$$

A matéria seca (MS) corresponde ao que resta da amostra após a remoção total da umidade. A determinação da MS é essencial, pois essa fração contém todos os nutrientes do alimento, incluindo proteínas, minerais, vitaminas e energia.

4.2.4 Determinação das Cinzas

O método M-001/2 foi empregado nesta etapa. Esse método baseia-se na incineração da amostra em altas temperaturas por tempo suficiente para a combustão total da matéria orgânica. Inicialmente foram medidas e registradas as massas de quatro cadinhos médios. Em seguida, as amostras secas em estufa (ASE), previamente obtidas, foram adicionadas a cada cadinho. Os cadinhos foram então colocados na mufla a 100 °C, com incremento gradual de 100 °C por hora até atingir 500 °C. Após uma hora nessa temperatura, o aquecimento foi elevado a 550 °C e mantido por duas horas, até o desligamento da mufla. Ao fim do processo de incineração, as amostras foram mantidas por aproximadamente 20 horas no interior do equipamento. No dia seguinte, os cadinhos foram transferidos para a estufa a 105 °C e, após resfriamento, colocados no dessecador para evitar a absorção de umidade. Por fim, suas massas foram novamente medidas e registradas. A partir da diferença entre a massa inicial do cadinho vazio e sua massa final após a incineração, foram determinadas as massas das cinzas. A seguir será apresentado um registro das amostras após a incineração (Figura 11) e as massas das cinzas obtidas.

Figura 11 - Amostras após 20 horas de incineração em mufla



Fonte: Autor, 2025.

Sabendo a quantidade restante após a incineração foi realizado o cálculo do percentual das cinzas na amostra seca ao ar (equação 4).

(4)

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{\text{Massa Cinzas (g)}}{\text{Massa pré desidratação (g)}} \times 100$$

4.2.5 Determinação da Matéria Orgânica

O teor de matéria orgânica em uma amostra corresponde à fração que não é composta pela porção inorgânica (cinzas). O cálculo da matéria orgânica é representado pela equação 5 apresentada a seguir:

(5)

$$\text{Matéria Orgânica (\%)} = 100 - \text{Cinzas (\%)}$$

4.2.6 Determinação da Umidade total

A umidade total foi determinada com base na massa obtida após a secagem em estufa (ASE). A massa inicial da folhagem, depois da poda, corresponde a amostra contendo 100% da umidade. Para mensurar a umidade residual ao fim dos processos de desidratação e secagem foi realizado um cálculo de proporção de grandezas (Equação 6) para determinar a massa residual em gramas em termos percentuais.

(6)

$$\text{Amostra}_{\text{ASE}} (\%) = \frac{\text{Massa pós secagem}_{\text{ASE}} (\text{g})}{\text{Massa inicial da folhagem} (\text{g})} \times 100$$

Conhecendo o percentual de massa restante após a secagem em estufa foi possível mensurar o percentual de umidade total a partir da subtração desse valor de 100%.

$$\text{Umidade} (\%) = 100 - \text{Amostra}_{\text{ASE}} (\%)$$

4.3 Análises nutricionais

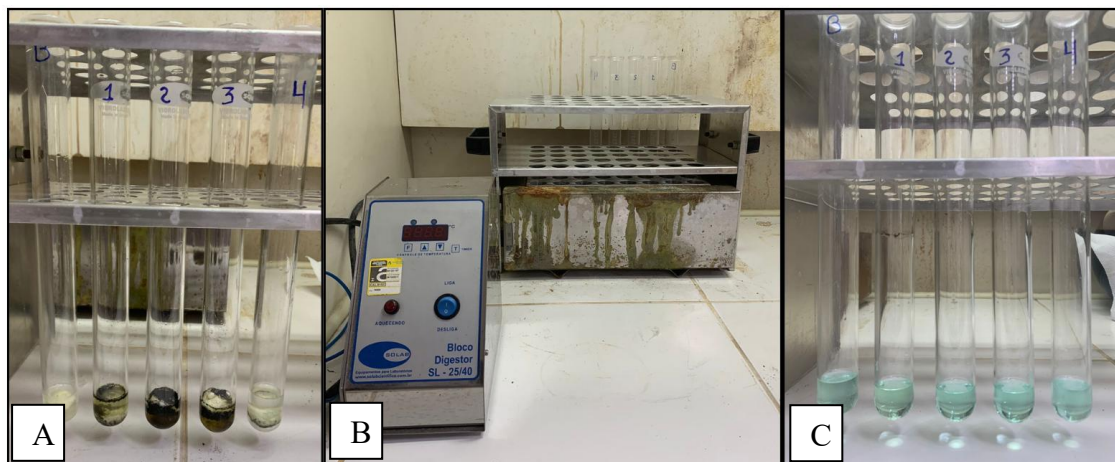
Com base nos dados anteriores foram realizadas análises físico-químicas e uma série de cálculos matemáticos para determinar os teores de umidade, cinzas, nitrogênio, proteína bruta e matéria orgânica, além da quantificação de compostos inorgânicos como cálcio, magnésio, fósforo, sódio e potássio. Para mensurar o teor de nitrogênio foram necessárias etapas de decomposição e destilação da matéria orgânica. Na determinação de cálcio e magnésio foram realizadas titulações com EDTA. E para a determinação do fósforo foi realizada por Espectrofotometria no Ultravioleta/Visível (UV/Vis), enquanto o sódio e o potássio foram quantificados por Fotometria de emissão em Chama. Nesta seção serão apresentadas as etapas metodológicas de obtenção desses dados, bem como a metodologia e cálculos utilizados. Os teores determinados nas amostras foram inicialmente expressos em porcentagem (% m/m). Para fins de padronização e comparação com dados da literatura, os valores para as análises dos minerais foram convertidos para (mg/100 g de amostra), unidade padrão utilizada para expressar concentração de minerais. A conversão foi realizada multiplicando os valores percentuais por 1000, uma vez que 1 grama (1000 mg) em 100 gramas corresponde a 1%.

4.3.1 Avaliação do teor de Nitrogênio amoniacal pelo método Kjeldahl

A avaliação da concentração de nitrogênio foi realizada pelo método de Kjeldahl (N-001/2), com adaptações. Este método, amplamente utilizado por sua simplicidade e baixo custo, compreende três etapas: digestão, destilação e titulação. Para a digestão, 0,20 g de amostra foram adicionadas em tubos de ensaio junto a 2 g de mistura catalítica de sulfato de sódio (Na_2SO_4) e sulfato de cobre (CuSO_4) na proporção de 10:1. Em seguida foram adicionados 5 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) P.A aos tubos. O aquecimento foi realizado em um bloco digestor (SOLAB, SL-23/45), com temperatura inicial de 100°C, aumentando 50°C a cada 30 minutos até atingir 400°C, onde permaneceu por duas horas. Após a digestão, os tubos foram resfriados e adicionados 10 mL de água destilada, seguidos de homogeneização em vórtex para evitar cristalização. A seguir na figura 12 são apresentados registros da etapa de decomposição

da matéria orgânica. Posteriormente serão apresentadas as reações químicas referentes a essa etapa.

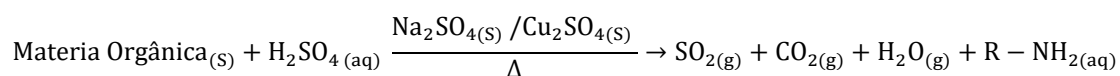
Figura 12 - Tubos pré decomposição (A); sistema decompositor (B) tubos pós decomposição (C)



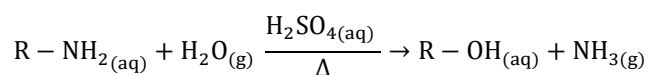
Fonte: Autor, 2025.

REAÇÕES QUÍMICAS DURANTE O PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO

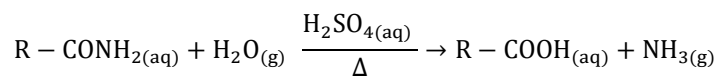
Reação 1 – Degradação acida da matéria orgânica



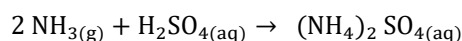
Reação 2 – Hidrolise acida de aminas primarias com liberação de amônia gasosa



Reação 3 – Hidrolise acida de amidas com liberação de amônia gasosa



Reação 4 - Neutralização da amônia com o ácido sulfúrico com formação de sulfato de amônio



Na etapa de destilação por arraste a vapor, foi utilizado um destilador de nitrogênio e proteína modelo SL-74 (SOLAB). Cada tubo do destilador contendo a amostra decomposta foi acoplado individualmente ao suporte do destilador, e 25 mL de solução de NaOH 250 g/L (6,25 mols/L) foram adicionados no compartimento superior (amostrador) do equipamento. O aquecimento da caldeira volatilizou a amônia (NH₃), que foi condensada no sistema, totalizando 100 mL de destilado. Para a captura da amônia, quatro Erlenmeyers de 250 mL foram utilizados, contendo 10 mL de solução de H₃BO₃ 20 g/L (0,3 mol/L). A reação entre a amônia e o ácido bórico gerou borato ácido de amônio, permitindo a posterior quantificação do nitrogênio.

Em seguida, 2 mL de indicador alcoólico verde de bromocresol a 1g/L (0,001 mol/L) foram adicionados a cada solução. A titulação da solução foi realizada com solução de HCl 0,005 mol/L até a mudança de cor do indicador, de verde para rosa claro. Após a titulação, o volume consumido foi registrado e então foi possível determinar a quantidade de nitrogênio presente na amostra (ASA). A figura 13 mostra o sistema de destilação e titulação empregados.

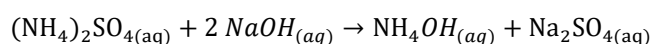
Figura 13 - Sistema de destilação de nitrogênio (A); sistema de titulação automático (B).



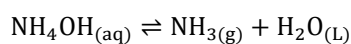
Fonte: Autor, 2025.

REAÇÕES QUÍMICAS DURANTE O PROCESSO DE DESTILAÇÃO

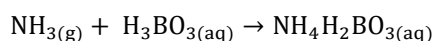
Reação 1 - Reação entre sulfato de amônio e base forte com formação de hidróxido de amônio



Reação 2 - Equilíbrio de dissociação do hidróxido de amônio com liberação de amônia gasosa

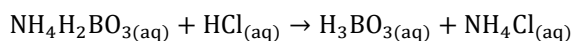


Reação 3 – Reação entre amônia e ácido bórico com formação de borato ácido de amônio



REAÇÃO DE TITULAÇÃO.

Reação 1 - Neutralização do borato ácido de amônio com ácido clorídrico formando cloreto de amônio



Após as titulações, o volume consumido durante as titulações realizadas foi registrado e então foi possível determinar a quantidade de nitrogênio presente na amostra (ASA). Para o cálculo da concentração de nitrogênio na amostra, foi utilizada a seguinte equação:

(7)

$$\text{Nitrogênio}_{\text{ASA}} (\%) = \frac{(\text{Vol. Titulado} - \text{Vol. Branco}) \times \text{Ne} \times \text{F} \times 14 \times 100}{\text{Massa pós desidratação}_{\text{ASA}} (\text{mg})}$$

Sendo: (Vol.Gasto) o volume gasto na titulação da amostra, (Vol.Branco) o volume titulado no branco, (Ne) corresponde a normalidade calculada da solução de HCl, que neste caso foi 0,05 N, (F) corresponde ao fator de correção, que foi 1,0101 e o número 14 corresponde à massa atômica do nitrogênio.

4.3.2 Determinação do teor de Nitrogênio e Proteína Bruta

A partir dos resultados na amostra seca ao ar (ASA) foi calculado o teor final de nitrogênio e proteína bruta nas amostras que é baseado na matéria seca (MS). Os resultados obtidos foram calculados utilizando as equações 8 e 9.

(8)

$$\text{Nitrogênio}_{\text{MS}} (\%) = \frac{\text{Nitrogênio}_{\text{ASA}} (\%)}{\text{ASE} (\%)} \times 100$$

(9)

$$\text{Proteína Bruta}_{\text{MS}} (\%) = \text{Nitrogênio}_{\text{MS}} (\%) \times \text{fc}$$

Sendo: (fc) um valor constante. É recomendado o valor de 6,38 para leite e derivados, enquanto para os demais materiais, como é o caso da folhagem analisada, é utilizado o valor de 6,25.

4.4 Análises dos minerais

As análises foram realizadas seguindo as recomendações do Manual de Laboratório da Embrapa Pecuária Sudeste, conforme descrito por Nogueira e Souza (2005). Inicialmente foi preparada uma solução com as cinzas, onde foram utilizados quatro balões volumétricos de 100 mL, aos quais foram adicionados 20 mL de uma solução de ácido clorídrico (HCl) 1 mol/L. Em seguida, as cinzas obtidas na etapa de incineração foram transferidas e filtradas em papel filtro tipo Wattman nº 41 para outros balões volumétricos. Posteriormente, o menisco foi aferido com

a adição de água destilada, e homogeneizado com agitador magnético. Por fim, as soluções foram homogeneizadas e reservadas para utilização nas análises seguintes.

4.4.1 Análises de Cálcio e Magnésio

Para a realização das análises do teor de cálcio e magnésio, inicialmente foram separados quatro Erlenmeyers de 250 mL numa capela de exaustão de gases, em seguida foram pipetados 50 mL da solução após a filtração e adicionados 3 mL de Cloreto de Ferro Hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) na concentração de 0,02 mol/L, seguida da adição de 1 mL de ácido acético diluído a 50%. Por fim, acrescentou-se duas gotas do indicador vermelho de metila e, utilizando uma pipeta de Pasteur, foi adicionada, aos poucos, uma solução de Hidróxido de Amônio (NH_4OH) a 25% (V/V) até que a coloração muda para amarelo.

Após esse procedimento, as quatro misturas foram aquecidas em uma chapa aquecedora à temperatura de 100 °C até atingirem o ponto de ebulição, com um tempo médio de 5 minutos. Em seguida, foi realizada a filtração da solução ainda quente, com pequenas lavagens nos Erlenmeyers utilizando água destilada. Após o resfriamento, as soluções foram transferidas para outros Erlenmeyers de 250 mL, e o volume foi completado até a marca de 100 mL com água destilada. Após o preparo das soluções, foram realizadas as etapas de determinação de cálcio e magnésio, que serão descritas nas seções seguinte.

4.4.2 Determinação de Cálcio por titulometria de complexação

Para a análise do magnésio, foram utilizados quatro Erlenmeyers de 125 mL, nos quais foram transferidos 5 mL da solução previamente preparada. Em seguida, adicionou-se 10 mL de água destilada com agitação para garantir a homogeneização. Também foram incorporados 1,2 mL de uma solução aquosa contendo hidróxido de sódio (NaOH) P.A a 5 mol/L, cianeto de potássio (KCN) a 0,8 mol/L e trietanolamina P.A. a 1 mol/L. Todo o procedimento foi realizado em capela de exaustão. A titulação foi conduzida utilizando EDTA a 0,01 mol/L. Como solução indicadora foi utilizada uma mistura de calcon e sulfato de sódio P.A. Após a titulação, registrou-se o volume de EDTA utilizado nas amostras. A primeira amostra foi descartada devido ao consumo excessivo de EDTA, possivelmente causado por um erro no preparo da solução. Dessa forma, esta análise foi realizada em triplicata, diferentemente das etapas anteriores. A determinação foi baseada na Equação 10 (IAL,2008).

(10)

$$\text{Ca}_{\text{MS}}(\%) = \text{Vol. Titulado} \times \text{Fator EDTA} \times 0,04$$

Sendo: (Vol. Gasto) corresponde ao volume gasto na titulação (mL); o Fator EDTA é um valor constante igual a 7,265; o valor constante corresponde da massa do elemento multiplicada pela molaridade da solução de EDTA.

4.4.5 Determinação de magnésio por titulometria de complexação

Em um Erlenmeyers de 125 mL, foi transferido 5 mL da solução das cinzas, seguido da adição de 10 mL de água destilada. Posteriormente, adicionou-se 1,4 mL de uma solução contendo cloreto de amônio (NH₄Cl) a 1,3 mol/L, cianeto de potássio (KCN) a 0,8 mol/L e trietanolamina a 1 mol/L. Após essa etapa, cinco gotas da solução de negro de eriocromo T a 4 g/L (0,009 mol/L) foram adicionadas como indicador. A titulação foi realizada empregando EDTA a 0,01 mol/L, observando-se a mudança de coloração de violeta para azul. O volume de titulante consumido nas quatro amostras foi registrado para os cálculos subsequentes. A determinação foi baseada na Equação 11 (IAL,2008).

(11)

$$\text{Mg}_{\text{MS}}(\%) = \text{Vol. Titulado} - \text{Vol. Anterior} \times \text{Fator EDTA} \times 0,024$$

Sendo: (Vol. Gasto) corresponde ao volume gasto na titulação (mL); Vol. Gasto (Ca) corresponde ao volume gasto na titulação do cálcio; O Fator EDTA é um valor constante igual a 7,265; o valor constante é correspondente da massa do elemento multiplicada pela molaridade da solução de EDTA.

4.4.6 Determinação de Fósforo por Espectrofotometria no Ultravioleta/ Visível

A quantificação do fósforo foi realizada por espectrofotometria UV/Vis, que se baseia na lei de Beer-Lambert, que relaciona a absorvância à concentração do analito e ao caminho óptico da célula. Na determinação de fósforo, foi utilizado um espectrofotômetro da marca Bel SPECTRO S-200 com faixa de operação de 200 a 1.000 nm (Figura 14). O equipamento previamente ligado foi configurado no modo de absorvância, com comprimento de onda ajustado para 660 nm.

Figura 14 - Modelo do Espectrofotômetro UV/Vis utilizado na análise

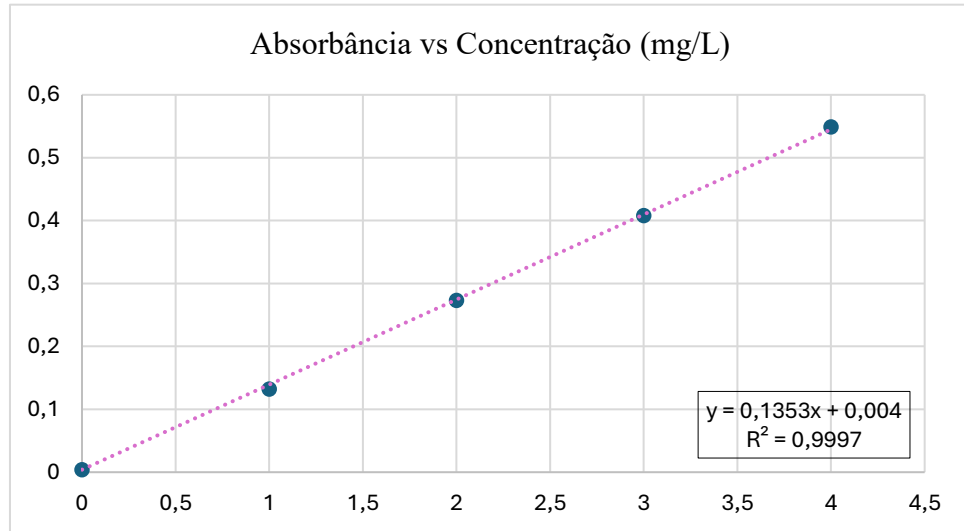


Fonte: Biovera.com.br

A primeira etapa consistiu no preparo quatro soluções padrão de fósforo, com concentrações de 1, 2, 3 e 4 mg/L, respectivamente. Essas soluções foram colocadas em tubos de ensaio de tamanho médio, e em cada um deles foram adicionados 5 mL da solução correspondente, seguidos de 10 mL de solução de molibdato de amônio a 0,005 mol/L. Para evitar contaminação cruzada, as pipetas foram rigorosamente lavadas com água destilada após cada pipetagem.

No preparo das amostras para análise, 5 mL da solução obtida a partir das cinzas foram transferidos para copos plásticos descartáveis, utilizando pipetas de Pasteur. Em seguida, também foram adicionados 10 mL da solução de molibdato de amônio. Realizaram-se duas etapas de diluição: a primeira com a adição de 45 mL de água destilada e a segunda com 90 mL. Por fim, cerca de 30 mg de ácido ascórbico P.A. foi adicionada a cada amostra com auxílio de uma espátula. As soluções foram agitadas até completa dissolução e, após 30 minutos de repouso, realizou-se a leitura das amostras no espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm. A partir dos valores de absorbância obtidos na leitura espectrofotométrica, foi construída uma curva de calibração utilizando soluções padrão de fósforo (Figura 15).

Figura 15 - Gráfico da curva de calibração para soluções padrão de fósforo



Fonte: Autor, 2025.

O gráfico gerado apresentou excelente correlação linear ($R^2 = 0,9997$), com equação da reta:

(12)

$$y = 0,1353x + 0,004$$

Onde: (y) corresponde a absorbância e x a concentração em mg/L. Para determinar a concentração de fósforo a partir dos valores de absorbância obtidos nas leituras, a equação foi rearranjada para isolar a variável x:

(13)

$$x = \frac{y - 0,004}{0,1353}$$

A partir desses valores, foi possível obter o teor de fósforo nas amostras (Equação 14).

(14)

$$\text{Fósforo}_{MS} (\%) = \frac{\text{Concentração (mg/L)} \times f \times 0,01}{\text{Massa pós secagem}_{ASE} (\text{g})}$$

Sendo: concentração (mg/L) corresponde ao valor obtido por meio da equação da reta gerada no gráfico de calibração linear. (f) corresponde ao fator de diluição. Durante o preparo, a amostra foi diluída inicialmente em solução de molibdato de amônio (5 mL + 10 mL). Em seguida, foram adicionados 135 mL de forma intervalada de água destilada, totalizando 150 mL. Considerando o volume inicial de 15 mL, obteve-se um fator de diluição (f) igual a 10.

o valor 0,01 representa a simplificação dos fatores constantes envolvidos nas diluições e nas conversões de unidade ao longo do procedimento.

4.4.7 Determinação de Sódio e Potássio por Fotometria de emissão em chama

Na determinação de sódio e potássio foi utilizado um fotômetro de chama da marca ANALYSER, acoplado a uma bomba de vácuo (SOLAB: SL-60) (Figura 16). Inicialmente foi preparada uma solução padrão de 1000 mg/L de cloreto de sódio. Para isso, foram medidas 2,54 gramas de cloreto de sódio (NaCl) P.A. previamente seco em estufa a 100°C durante 40 minutos e, em seguida, resfriado em dessecador. Logo após, o sal foi dissolvido em água destilada e transferido para um balão volumétrico de 1000 mL.

Figura 16 - Fotômetro de chamas utilizado na análise



Fonte: Autor, 2025.

Também foi preparada uma solução padrão de 20 mg/L de NaCl, obtida pela diluição da solução estoque de 1000 mg/L. Para isso, transferiram-se 2 mL da primeira solução para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água destilada até o menisco. Com as soluções padrão prontas, foi realizada a calibração do equipamento. Inicialmente, o fotômetro foi ajustado para 0 mg/L utilizando água destilada (branco) e, em seguida, calibrado com a solução padrão de 20 mg/L, ajustando-o para realizar leituras nessa concentração. Após a calibração, procedeu-se à leitura das amostras, com os resultados devidamente registrados. A partir dos valores obtidos, realizaram-se os cálculos necessários para determinar o percentual de sódio nas amostras, de acordo com a seguir (Equação 15).

(15)

$$\text{Sódio}_{\text{MS}} (\%) = \frac{\text{Concentração (mg/L)} \times f \times 0,1}{\text{Massa pós secagem}_{\text{ASE}} (\text{g})}$$

Sendo: concentração (mg/L) o valor registrado no visor do equipamento; 0,1 representa a simplificação dos valores constantes das diluições realizadas ao longo do procedimento, juntamente com a conversão das unidades e (f) corresponde ao fator de diluição (70), pois inicialmente foi transferida uma alíquota de 5 ml da solução das cinzas e posteriormente foi retirada uma segunda alíquota de 2 ml dessa solução e realizada a leitura.

Para a determinação de potássio, foi medida uma massa de 1,905 g de cloreto de potássio (KCl) P.A. Essa massa foi submetida à secagem em estufa a 100°C por 40 minutos e, posteriormente, resfriada em dessecador. Em seguida, o sal foi dissolvido em água destilada e transferido para um balão volumétrico de 1000 mL, após aferir o volume do menisco para a solução estoque foi utilizada para preparar uma segunda solução de 20 mg/L, obtida de forma semelhante ao método descrito na etapa anterior.

Com as soluções padrão preparadas, realizou-se a calibração do equipamento utilizando a solução de 20 mg/L de KCl. Não foi necessário repetir a padronização com o branco (0 mg/L), pois essa etapa já havia sido executada previamente. Após a calibração, foram realizadas as leituras das amostras, a partir dos valores obtidos, efetuaram-se os cálculos necessários para determinar o percentual de potássio nas amostras, conforme descrito na Equação 16.

(16)

$$\text{Potássio}_{\text{MS}} (\%) = \frac{\text{Concentração (mg/L)} \times f \times 0,1}{\text{Massa pós secagem}_{\text{ASE}} (\text{g})}$$

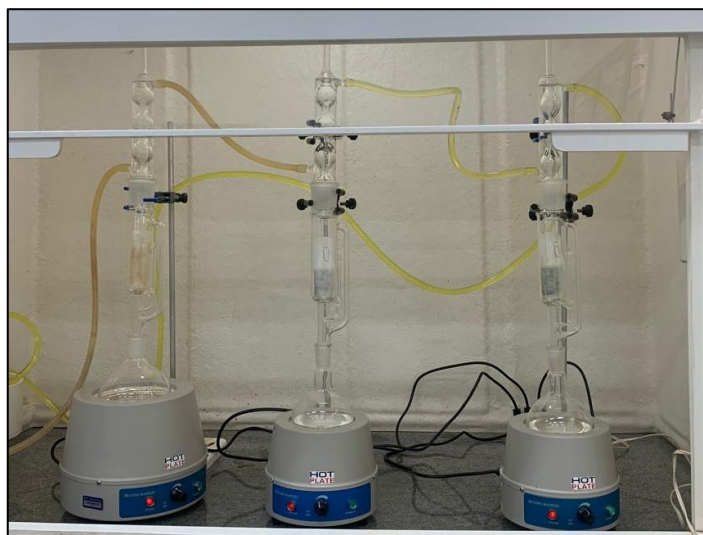
Sendo: concentração (mg/L) o valor registrado no visor do equipamento; 0,1 representa a simplificação dos valores constantes das diluições realizadas ao longo do procedimento, juntamente com a conversão das unidades. A leitura foi realizada utilizando a amostra concentrada, de modo que não foi necessário aplicar o coeficiente de diluição no cálculo.

4.5 Extração do óleo de alho-poró por Soxhlet

A extração do óleo alho-poró foi realizada utilizando um sistema Soxhlet (Figura 17), composto por um sifão próprio para extrações Soxhlet, um condensador de bolas e um balão de fundo redondo de 500 mL. Além disso uma manta aquecedora de 500 mL foi utilizada para aquecer o sistema de extração. Após a montagem do sistema, foi confeccionado um cartucho com papel filtro, no qual foram adicionadas 17,12 gramas de folhas de alho-poró. Em seguida, o cartucho contendo a amostra foi inserido no sistema de extração, juntamente com 250 mL de

n-hexano P.A. O sistema foi mantido sob aquecimento controlado, com temperatura aproximada entre 50 a 60 °C. O processo de extração teve duração de 3 horas e 30 minutos. Ao final do procedimento, o extrato obtido foi submetido à evaporação do solvente em um sistema de rotaevaporação, composto por um rotaevaporador rotativo (Fisatom 801), uma bomba de vácuo, um condensador e dois balões: um para conter a amostra e outro para recolher o solvente evaporado. O sistema também contava com uma manta aquecedora, mantida a aproximadamente 60 °C. Para o resfriamento dos vapores aquecidos, utilizou-se um balde com água e gelo, conectado por mangueiras ao condensador. Esse sistema permitiu a condensação dos vapores de hexano, que, ao retornarem ao estado líquido, foram recolhidos no balão conectado ao equipamento. Após a evaporação, a amostra foi novamente aquecida em manta, a cerca de 50 °C, com o objetivo de eliminar possíveis traços residuais de n-hexano. Para a remoção da água residual presente na amostra, empregou-se sulfato de sódio anidro P.A. como agente dessecante. O extrato foi então filtrado e transferido para um frasco de vidro. A massa do frasco foi medida antes e após a extração (Figura 18) e, pela diferença, foi determinada a massa do óleo extraído, totalizando 0,157 gramas. Com base na medida das massas do alho-poró fresco e do seu óleo obtido, foi realizado o cálculo do rendimento de extração (Equação 17).

Figura 17 - Sistema de extração *Soxhlet*



Fonte: Autor, 2025.

Figura 18 - Óleo de alho-poró obtido após extração



Fonte: Autor, 2025.

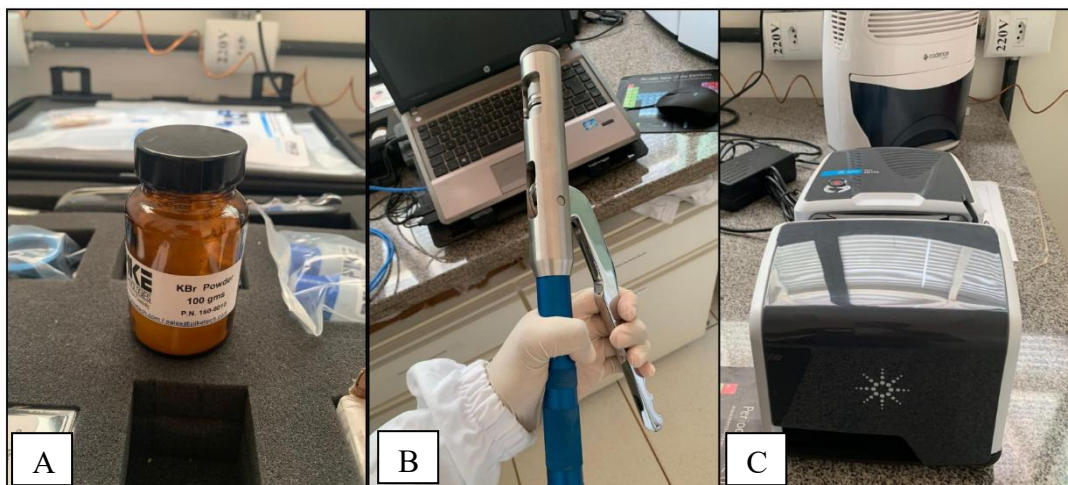
(17)

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa do óleo extraído}}{\text{massa do alho fresco}} \times 100$$

4.6 Análises por FT-IR

No presente estudo, as análises do óleo de alho poró foram realizadas utilizando o espectrômetro FTIR Cary 630 da marca Agilent Technologies. Inicialmente, foi preparada a pastilha, contendo exclusivamente KBr 99,0% P.N da marca (Pike Technologies Spectroscopic Creativity) para ser utilizada como branco de referência na correção dos espectros. Para isto, foram pesadas 0,22 gramas de KBr puro e produzido uma pastilha. Uma segunda pastilha, contendo a mesma massa de KBr e 40 microlitros da amostra de óleo de alho-poró, utilizando uma micropipeta de precisão analítica. Em seguida, a mistura foi macerada e comprimida em uma prensa metálica para a formação da pastilha sólida e inserida no amostrador do equipamento de FT-IR. A Figura 19 ilustra os materiais e equipamentos utilizados.

Figura 19 - Reagente KBr (A); prensa metálica (B) FTIR (C)



Fonte: Autor, 2025.

4.7 Análises por HS-SPME/GC-MS

Os compostos orgânicos voláteis foram analisados tanto na composição do óleo quanto nas folhas do alho-poró. As análises foram realizadas por meio de um cromatógrafo a gás (modelo 7890B) acoplado a um espectrômetro de massas (modelo 5977B), ambos da marca Agilent Technologies (Figura 20). A separação cromatográfica foi conduzida utilizando uma coluna capilar do tipo HP-5MS (5% fenilmetilpolissiloxano), com dimensões de 30 m × 250 μ m × 0,25 μ m. O gás de arraste empregado foi o hélio, com pureza de 99,999%. A energia de ionização do espectrômetro de massas utilizado é de 70 eV.

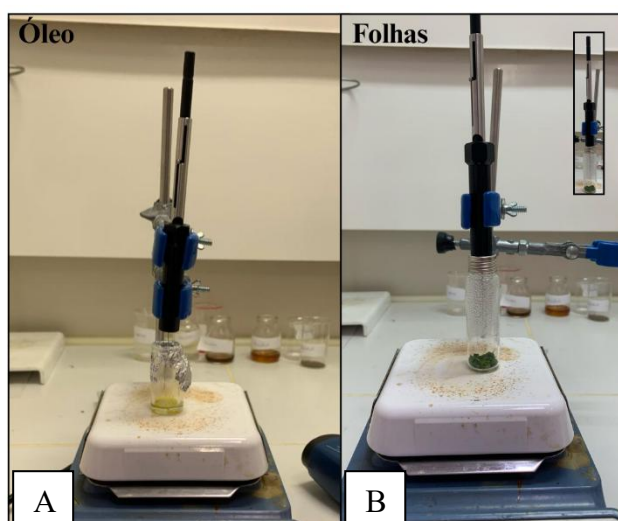
Figura 20 - Cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massas (GC-MS) utilizado nas análises



Fonte: Autor, 2025.

A concentração e extração dos compostos voláteis foram realizadas por microextração em fase sólida do *headspace* (HS-SPME) da amostra utilizando fibra com fase CAR/PDMS (carboxen/polidimetilsiloxano) de 75 μm . Para a pré-concentração dos voláteis, a amostra de óleo (0,157 gramas) e das folhas previamente cortadas (0,50 gramas) foram aquecidas em um vial de SPME a 45-50 °C durante 10 minutos, utilizando uma chapa aquecedora (IKA C-MAG HP 7) com potência de 1.000 watts. Transcorrido este tempo de equilíbrio, a fibra foi exposta a amostra por cerca de 15 minutos para estabilização e extração dos COVs e depois retraída. A figura 21 mostra o sistema de extração por HS-SPME das duas amostras analisadas.

Figura 21 - Sistema de pré-concentração e extração dos compostos voláteis do óleo (A) folhas do alho-poró por HS-SPME (B)



Fonte: Autor, 2025

Durante o preparo da amostra para injeção no cromatógrafo, o software era configurado com os parâmetros metodológicos utilizados. Em seguida, a fibra era inserida manualmente no injetor e exposta durante os seis primeiros minutos da corrida. Alguns parâmetros operacionais foram comuns a todas as análises, como a temperatura da fonte de ionização, ajustada a 230 °C, e a temperatura do quadrupolo, fixada em 150 °C. As análises foram realizadas com base no método utilizado por Cabral *et al.* (2023) com modificações.

A primeira injeção foi realizada a partir do óleo no modo de injeção *splitless*, utilizando rampa de temperatura. A temperatura inicial do forno igual a 40 °C progredindo a uma taxa de aquecimento de 4 °C/Min até atingir 220 °C. Em seguida, a temperatura seguiu aumentando a 20 °C/Min, até alcançar a temperatura máxima de 280 °C. A corrida teve duração total de 50 minutos com vazão de gás a 1 ml/min.

Também foram realizadas duas injeções a partir das folhas de alho-poró. Inicialmente as amostras foram aquecidas em um *Vial* de SPME, para isso foram medidas 0,52 gramas das folhas coletadas no período da manhã, no dia 29 de abril de 2025, às 08h20. Na primeira injeção a metodologia de injeção *Splitless* foi mantida. Entretanto, foram realizadas modificações na rampa de temperatura. A temperatura inicial do forno igual a 40 °C progredindo a uma taxa de aquecimento de 8 °C/Min até atingir 120 °C. Em seguida, a temperatura seguiu aumentando a 15 °C/Min, em progressão até a temperatura de 150 °C passando a progredir a uma taxa de 25 °C/Min até atingir a temperatura máxima de 280 °C mantida por 5 minutos, a corrida foi reduzida e teve duração de 24,7 realizada com a mesma vazão de gás.

Na segunda injeção a partir das folhas o método de injeção foi alterado para o modo split 1:50. As temperaturas utilizadas na rampa de análise também foram modificadas. Sendo a temperatura inicial do forno igual a 45 °C, com uma taxa de aquecimento de 3 °C/Min até 150 °C permanecendo nessa temperatura por 10 minutos. Em seguida, a taxa progrediu a 10 °C/Min, até alcançar a temperatura máxima de 250 °C mantida por 2 minutos, a corrida teve duração total de 60 minutos com vazão de gás a 0,5 ml/min. Ao fim das corridas foram registrados os cromatogramas, esses serão apresentados e discutidos na próxima seção.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Cultivo e Identificação Botânica

O cultivo do alho-poró teve duração de 75 dias (11/2024 – 02/2025) finalizado com a poda da folhagem do alho-poró em seu estágio final (figura 22). As plantas cultivadas foram utilizadas para as extrações seguida das análises físico-químicas, nutricionais, espectroscópicas e cromatográficas.

Figura 22 - Mudanças do alho-poró no estágio final de cultivo



Fonte: Autor, 2025.

Apesar das ocorrências da espécie no Brasil estarem concentradas principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, como destacado a planta demonstrou adaptação ao solo e às condições ambientais. A adaptabilidade foi confirmada no presente trabalho, visto que todas as 29 mudas plantadas se desenvolveram bem com sucesso. (Dutilh *et al.*, 2025; CABI, 2019).

Para fins de identificação botânica, a planta utilizada neste estudo foi submetida à análise morfológica para fins de identificação botânica no Herbário do Norte do Tocantins (HNTO). Embora tenha sido possível classificá-la com segurança no gênero *Allium* sendo designada como *Allium sp.* (HNTO 000001369), não foi possível determinar com precisão a espécie. A classificação foi realizada a partir da análise da planta com órgão reprodutor visível junto foi utilizado o banco de dados *SpeciesLink*, que reúne acervos de coleções biológicas brasileiras e disponibiliza registros de espécimes identificados por especialistas, e instituições científicas e herbários nacionais. A partir dessa consulta, foram constatadas semelhanças morfológicas com duas espécies: *Allium sativum* (alho) e *Allium porrum* (alho-poró).

5.2 Análises físico-químicas, nutricionais e minerais

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das análises físico-químicas, nutricionais e minerais da variedade local de alho-poró estudada. A partir desses dados, realizou-se uma busca na literatura com o objetivo de comparar os valores obtidos neste estudo com os de outras análises semelhantes conduzidas na mesma espécie, ou em partes específicas da planta.

Com base nos resultados obtidos, foi realizada uma busca na literatura com o objetivo de comparar os dados deste estudo com análises semelhantes conduzidas na mesma espécie. Foram utilizados dados do USDA FoodData Central, (2025), banco de dados nacional de

nutrientes do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Além disso, a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), (2011) também foi consultada. Ambas as referências apresentam informações referentes à parte comestível do alho-poró cru, composta pelo bulbo e pela porção inferior do pseudocaule.

Também foram considerados os trabalhos de Damin *et al.* (2020), que investigaram duas porções das folhas cruas, refogadas e cozidas de cultivares de alho-poró no estado do Rio Grande do Sul, Brasil; Czech, Szmigielski e Sembratowicz, (2022), que analisaram tanto os bulbos quanto as folhas cruas de dois cultivares (orgânico e convencional) na Polônia; e García-Herrera *et al.* (2014), que estudaram cultivares de alho-poró denominados selvagens, coletados em uma província da região de Madrid, na Espanha. Neste último, as análises foram realizadas a partir da porção comestível das amostras coletadas nos anos de 2007 e 2008.

Tabela 1 - Resultados das análises físico-químicas e nutricionais da folhagem do alho-poró e fontes referenciais

Parâmetro	Resultados (%)	FoodData Central ^{*a} (2025) (%)	TACO ^{*a*b} (2011) (%)	Damin <i>et al.</i> ^{*a} (2020) (%)	Czech; Szmigielski; Sembratowicz ^{*a} (2022) (%)	Herrera <i>et al.</i> ^{*a} (2014) (%)
Umidade	96,13 ± 0,03	87,4	91,00	90,36 e 90,76	-	78.10 e 81.50
Cinzas	0,65 ± 0,02	0,82	0,60	0,83 e 1,14	2,08 e 2,17	0,91 e 0,97
Nitrogênio	4,42 ± 0,11	0,23	-	-	-	-
Proteína	27,59 ± 0,67	1,47	1,47	1,57 e 1,58	5,08 e 7,96	1.20 e 1.77
Matéria Orgânica	99,35 ± 0,02	-	-	-	-	-

Métodos utilizados nas análises: *a = (AOAC); *b = (IAL).

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 2 - Resultados das análises dos minerais na folhagem do alho-poró e fontes referenciais

Parâmetro	Resultados (mg/100g)	FoodData Central ^{*a} (2025) (mg/100g)	TACO ^{*a*b} (2011) (mg/100g)	Czech; Szmigielski; Sembratowicz ^{*a} (2022) (mg/100g)	Herrera <i>et al.</i> ^{*a} (2014) (mg/100g)
Cálcio	215 ± 13,21	51	34	48,50 e 55,55	30,24 e 81,74
Magnésio	119 ± 5,01	15,7	11	10,81 e 12,30	8,88 e 16,41
Fósforo	502 ± 9,64	35	36	-	-
Sódio	79,55 ± 0,65	18	2	-	53,08 e 67,14
Potássio	7,71 ± 0,34	319	224	-	294,28 e 533,19

Métodos utilizados nas análises: *a = (AOAC); *b = (IAL).

Fonte: Autor, 2025.

Entre os parâmetros físico-químicos, os teores de umidade (96,13%) e cinzas (0,65%) mostraram maior proximidade com os valores já registrados na literatura, principalmente com os da TACO (91% e 0,60%). Por outro lado, os teores nutricionais apresentaram diferenças significativas, principalmente o de nitrogênio (4,42%), cujo único valor encontrado na literatura consultada foi o de FoodData Central (0,23%). O teor de proteínas (27,59%) também foi superior aos demais valores consultados. Sendo o mais próximo (7,96 %) registrado por Czech, Szmigielski e Sembratowicz. O único parâmetro para o qual não foram encontrados dados nas buscas realizadas foi o de matéria orgânica. Para os minerais, a maioria dos valores também apresentaram diferenças em relação aos dados de referência. Os teores de cálcio, magnésio e fósforo foram superiores, enquanto o de potássio foi inferior. Já a concentração de sódio (79,55 mg/100 g) se aproximou do valor registrado por Herrera *et al.* (2014), que encontraram 67,14 mg/100 g em um cultivar de alho-poró selvagem, sendo ainda superior aos dados informados pelo FoodData Central e pela TACO, apresentando concentrações mais baixas iguais a 18 mg/100g e 2 mg/100 g respectivamente.

Tais diferenças podem estar relacionadas a variações nas metodologias de análise, nas variedades e partes das plantas estudadas, assim como nas formas, condições e localidades de cultivo. É importante destacar que as metodologias utilizadas para a determinação dos nutrientes e minerais diferem. Enquanto os trabalhos da literatura de referência empregaram

métodos desenvolvidos e validados por instituições como a Associação de Colaboração Analítica Oficial (AOAC) e o Instituto Adolfo Lutz (IAL,1985), neste trabalho as análises foram conduzidas com base em protocolos recomendados por instituições de referência nacional, como INCT – Ciência Animal (2021) e Embrapa: Pecuária Sudeste, 2005. Ainda que os métodos empregados neste estudo sejam propostos por instituições reconhecidas e vinculadas ao governo federal, replicar as análises utilizando métodos mais aceitos e inclusos pela comunidade científica como (AOAC) é uma perspectiva válida. O que não invalida os dados, mas reforça a importância de estudos futuros com protocolos mais refinados.

Além disso, vale destacar que a metodologia adotada foi definida com base em protocolos já consolidados, levando em conta a disponibilidade técnica e os recursos disponíveis no contexto das pesquisas realizadas no Laboratório de Solos e Laboratório central analítica da Universidade Federal do Norte do Tocantins. Onde são conduzidas análises em forragens, folhagens e capins.

5.3 Rendimento de extração

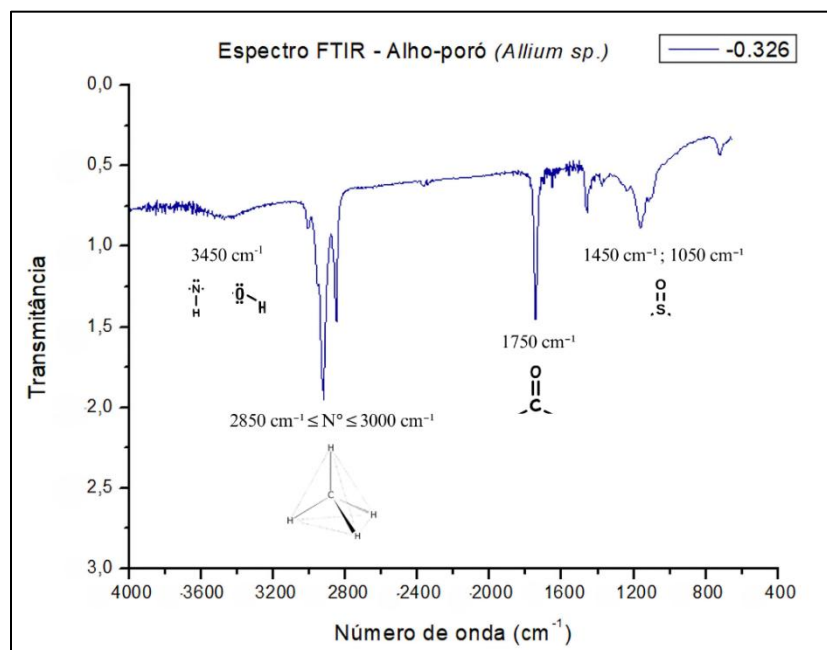
O rendimento da extração foi calculado com base na razão entre a massa do extrato obtido (0,157 g) e a massa da amostra in natura utilizada (17,12 g), resultando em um rendimento percentual de 0,92%. Esse valor está dentro da faixa esperada para extratos obtidos de alho-poró por métodos similares, conforme descrito na literatura.

No trabalho de Franz *et al.* (2007) é destacado que o óleo do alho-poró possui rendimento de extração estimado entre 0,005% a 0,2% com base na massa do alho fresco submetida a extração por arraste a vapor, levando em consideração o estágio de maturação e o caráter fisiológico da planta. Comparando o rendimento obtido neste trabalho (0,92%) com os valores registrados por Mnayer *et al.* (2014) (0,008% e 0,011%) e Casella *et al.* (2012) (0,02%), pôde-se observar que o rendimento da extração realizada foi significativamente superior. Entretanto, é importante considerar que, neste estudo, as extrações foram conduzidas a partir das folhas, enquanto os estudos citados utilizaram os bulbos de cultivares comerciais. Essa diferença pode justificar os rendimentos mais elevados aqui obtidos, uma vez que as folhas da variedade estudada podem apresentar maior teor de óleo essencial do que os bulbos de variedades populares descritas na literatura.

5.4 Análises FTIR

Após a inserção das pastilhas no disco do FTIR, como descrito na metodologia, foi obtido o seguinte espectro:

Figura 23 - Espectro de absorção na região do infravermelho do óleo de alho-poró

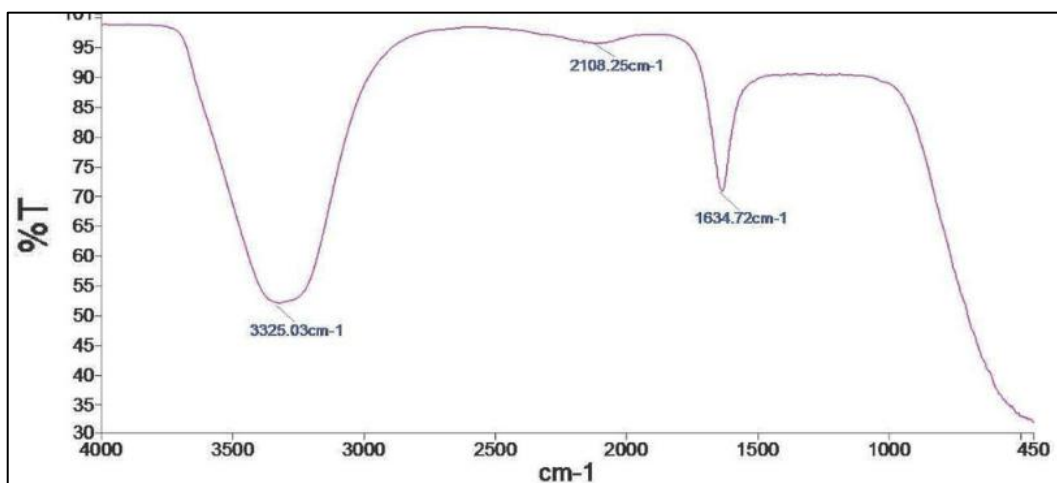


Fonte: Autor, 2025 (produzido com o software OriginPro 8).

Durante a análise do espectro, foi identificada uma banda de absorção branda apresentando forma côncava na faixa em torno de 3450 cm⁻¹. Essas bandas normalmente são atribuídas a vibrações de ligações O-H ou N-H. Avaliando o perfil da banda (sinal de baixa intensidade) é possível que a banda esteja relacionada a vibrações de ligações N-H. Na região entre 3000 a 2850 centímetros recíprocos, foram observadas bandas associadas às vibrações de ligações sp³C-H, características de cadeias carbônicas saturadas. Na faixa de 1750 centímetro recíproco, foi registrada uma banda de absorção forte característica do grupo carbonila (C=O). As leituras na região próxima a 1500 centímetro recíproco são realizadas com critério ou até mesmo evitadas a depender do profissional que as intérpretes. Isso se deve a alta concentração de sinais nessa faixa, o que pode dificultar a interpretação dos espectros. No entanto, considerando que espécies do gênero *Allium* apresentam perfis químicos majoritariamente sulfurados, a leitura das bandas observadas entre 1450 e 1150 centímetros recíprocos foram atribuídas a grupos sulfonila (S=O) que possuem vibrações nessa região do espectro. A interpretação espectral foi fundamentada na obra de PAVIA *et al.* (2016).

No trabalho de Mumtaz *et al.* (2024), foram analisados os espectros FTIR do extrato aquoso de alho-poró (*Allium ampeloprasum* var. *kurrat*) (Figura 24).

Figura 24 - Espectro de referência (FTIR LAE) proveniente do extrato aquoso de alho-poró



Fonte: Mumtaz *et al.* (2024)

O espectro de Mumtaz *et al.* (2024) mostrou bandas de absorções referente as vibrações das ligações similares as encontradas no espectro de análise. O espectro destacou duas bandas fortes importantes. A primeira em $3325,03 \text{ cm}^{-1}$ características de ligações O-H. O espectro analisado neste trabalho também registrou uma banda de absorção nessa região, mas branda o que não caracteriza ligações O-H. A outra banda forte identificada pelos altos ocorreu em $1634,72$ centímetro recíproco característica de carbonilas (C=O) conjugadas o que configura o deslocamento observado na banda. A banda de carbonila também foi registrada no espectro de análise, mas sem conjugação. além disso o autor também registou uma banda de absorção em $2108,25$ centímetro recíproco o que ele definiu como banda fraca.

5.5 Análises cromatográficas por HS-SPME/GC-MS

A identificação dos compostos foi realizada pela biblioteca NIST 2014. Além disso, o WebBook NIST foi utilizado para confirmar a identificação. No total foram identificados 31 compostos quando analisado o óleo e as folhas do alho-poró. Os compostos majoritários encontrados tanto no óleo quanto nas folhas da planta foram: Dissulfeto de metil 2-propenil e Dissulfeto de dialila com 100% e 83,40% de área de correlação respectivamente. Ambos os compostos apresentaram cerca de 95% de similaridade com a biblioteca NIST.

A Tabela 3 mostra os dados obtidos em três análises distintas no óleo e nas folhas por HS-SPME/GC-MS. No tratamento da tabela, para os compostos identificados simultaneamente em mais de um cromatograma, foram utilizados os valores mais representativos, considerando aqueles que melhor conciliam alta similaridade e maior presença na amostra evidenciado pelas áreas.

Tabela 3 - COVs identificados no Alho-poró (óleo e folhas)

Nº	Composto	Fórmula	t _r (min)	Similaridade (%)	Area (%)	Nist	Web Nist	Ref.	Amostra
1	6-Hidroxi-2-hexanona	C ₆ H ₁₂ O ₂	4,59	53,6	–	–	–		óleo
2	Dissulfeto de dimetil	C ₂ H ₆ S ₂	4,73	97,80	38,08	–	738	[2]	folhas
3	2-Hexanona	C ₆ H ₁₂ O	4,95	60,1	–	–	–		óleo
4	1-Etilbutil-hidroperóxido	C ₆ H ₁₄ O ₂	5,16	69,8	100,00	–	–		óleo
5	Sulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S	6,00	79,4	47,57	–	858,8	[1]	folhas óleo
6	(E)-Alil(prop-1-en-1-il) sulfano	C ₆ H ₁₀ S	6,56	52,2	4,50	890.9	890,9	[1]	folhas
7	(E)-1-Metil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₄ H ₈ S ₂	7.59	82,1	41,42	–	940,1	[1]	folhas óleo
8	3H-1,2-ditioil	C ₃ H ₄ S ₂	7,98	93,4	25,01	–	958,6	[1]	folhas óleo
9	Trissulfeto de dimetila	C ₂ H ₆ S ₃	8.24	98,3	38,57	–	977,2 956 954	[1] [4] [5]	folhas óleo
10	Dissulfeto de metil 2-propenil	C ₄ H ₈ S ₂	10,60	94,70	100,00	–	918,5	[1]	folhas óleo
11	(E)-1-Alil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₆ H ₁₀ S ₂	10,92	70,9	41,71	1103.4	1103.4	[1]	folhas óleo
12	Dissulfeto de metil (metiltio) metil	C ₃ H ₈ S ₃	11,40	86,3	19,28	–	1134,1	[1]	folhas

13	4-Metil-1,2,3-tritriolano	$C_3H_6S_3$	11,94	98,2	5,15	–	1157,3	[1]	folhas
14	(E)-1-Metil-3-(prop-1-en-1-il) trissulfano	$C_4H_8S_3$	12,06	82,9	3,09	–	1169	[1]	folhas
15	2-Mercapto-3,4-dimetil-2,3-dihidrotiofeno	$C_6H_{10}S_2$	12,31	56,0	1,18	–	–		folhas
16	4H-1,2,3-Tritiína	$C_3H_4S_3$	12,74	94,0	-	1201.5	1201,5	[1]	folhas
17	2-Vinil-4H-1,3-ditiína	$C_6H_8S_2$	12,95	77,4	0,57	–	1217.1	[1]	folhas
18	Tetrasulfeto de dimetil	$C_2H_6S_4$	13,03	85,50	5,09	–	1215	[3]	folhas
19	Isovalerato de cis-3-hexenila	$C_{11}H_{20}O_2$	13,23	51,90	4,10	–	–		folhas
20	Dissulfeto de metila 1-(metiltio) propil	$C_5H_{12}S_3$	13,62	55,40	2,49	–	1265.1	[1]	folhas óleo
21	Trissulfeto, di-2-propenil	$C_6H_{10}S_3$	14,19	97,10	3,92	–	1304 1289	[1] [6]	folhas
22	(E)-1-Alil-3-(prop-1-en-1-il) trissulfano	$C_6H_{10}S_3$	14,52	75,40	4,08	1332.5	1332,5	[1]	folhas
23	5-Metil-1,2,3,4-tetratiano	$C_3H_6S_4$	15,01	96,50	10,84	–	1369,3	[1]	folhas
24	3-Metil-3H-1,2-ditioil	$C_4H_6S_2$	15,19	96,5	21.00	1058.8	1058,8	[1]	óleo folhas
25	Tetrasulfeto, di-2-propenil	$C_6H_{10}S_4$	16,54	77,50	1,71	-	-	-	folhas
26	2,2,4-Trimetil-1,3-pentanodiol diisobutirato	$C_{16}H_{30}O_4$	16,86	91,30	5,28	1587.5	1587,5	[1]	folhas
27	4-butan-2-il-2,6-di terc -butilfenol	$C_{18}H_{30}O$	17,13	52,10	0,87	–	–		folhas

28	1-Metil-4-(1-metilpropil)-benzeno	$C_{11}H_{16}$	18,05	59,8	7,19	–	–		óleo
							1088	[1]	
29	Dissulfeto de dialila	$C_6H_{10}S_2$	18,41	95,20	83,40	–	1083	[4]	folhas óleo
							1077	[5]	
30	3-Vinil-1,2-ditiaciclohex-4-eno	$C_6H_8S_2$	18,46	94,2	28,46	1190,9	1190,9	[1]	óleo folhas
31	Trissulfeto de metil 2-propenil	$C_4H_8S_3$	21,24	96,00	27,16	–	1143,18	[1]	folhas
32	N,N-Dibutilformamida	$C_9H_{19}NO$	22,55	82,2	4,56	1310	1310	[7]	óleo

Fonte: autor, 2025.

[1] Andriamaharavo, N.R (2014); [2] Ansorena, D. ; Astiasarán, I. ; Bello, J. (2000); [3] Bonaiti, C. *et al* (2005); [4] Engel, Baty *et al* (2002); [5] Pérez, RA ; Navarro, T. ; de Lorenzo, C. (2007); [6] Pino, JA *et al* (2005); [7] Skogerson, K.; Wohlgemuth, G.; Fiehn, O., (2011).

Entre os 31 compostos identificados, 24 (75%) são compostos orgânicos sulfurados, com estruturas variadas, incluindo cadeias acíclicas e cíclicas, saturadas, insaturadas e ramificadas. Dentre esses compostos estão sulfetos, tióis, sulfanos, tiolanos, tianos, tínas, tiofenos e hidrocarbonetos heterocíclicos contendo enxofre. Na análise dos compostos identificados, observou-se que 5 foram encontrados exclusivamente no óleo de alho-poró, 17 compostos foram identificados apenas nas folhas, e 10 compostos foram encontrados em ambas as amostras. Com base nesses dados, foram definidos alguns critérios para a classificação dos principais compostos presentes na amostra (Quadro 1).

Quadro 1 - Critérios adotados para a classificação dos principais compostos na variedade de alho-poró estudada

Critérios
Estar presente em ambas as amostras (óleo e Folhas)
Apresentar similaridade com a biblioteca Nist acima de 70%
Apresentar áreas de pico acima de 35%.

Fonte: Autor, 2025,

Seguindo esses critérios, seis compostos (Tabela 14) foram classificados como os principais constituintes da planta estudada.

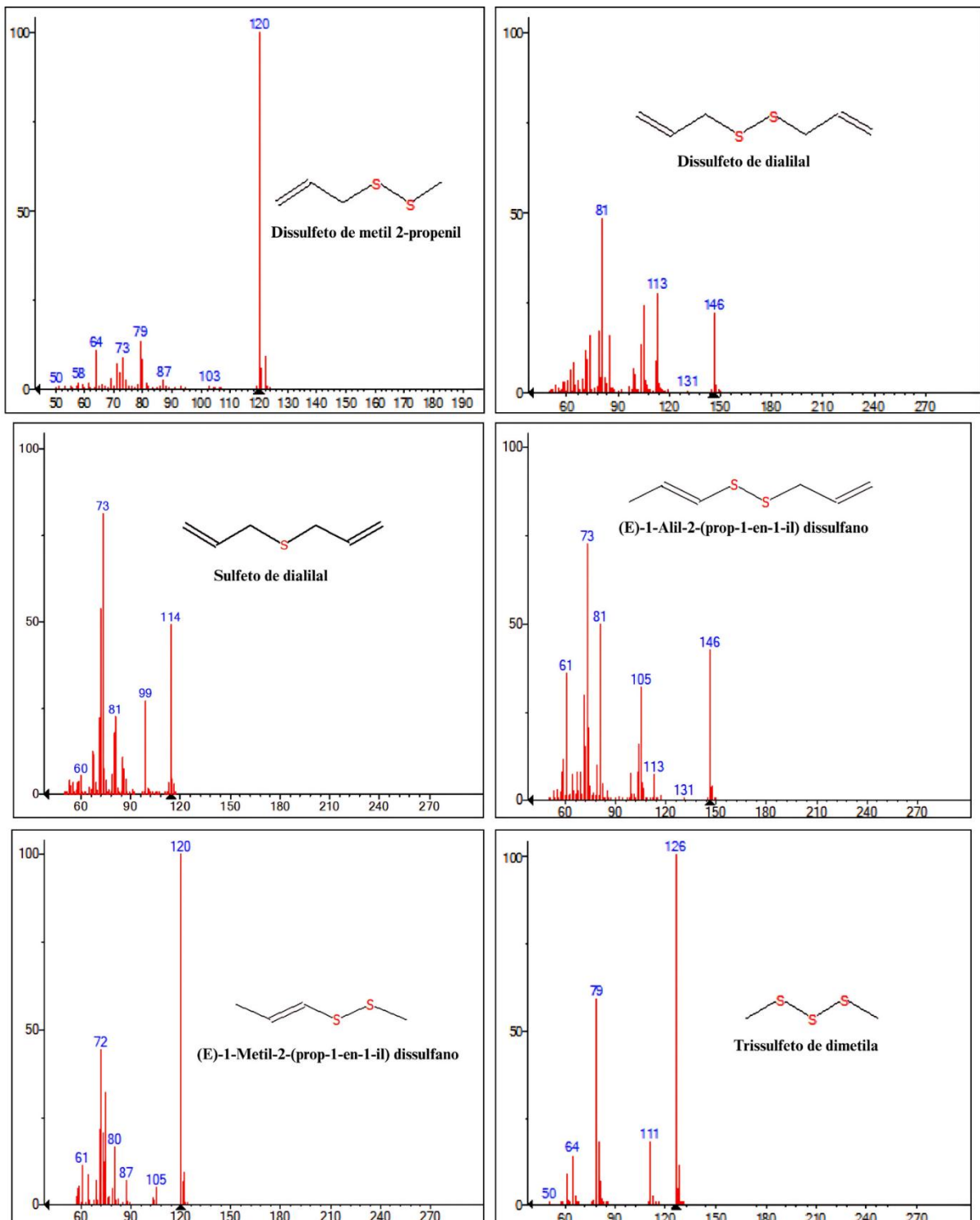
Tabela 4 - Principais compostos identificados

Nome do Composto	Fórmula molecular	m/z	Similaridade (%)	Area (%)
Dissulfeto de metil 2-propenil	C ₄ H ₈ S ₂	120	94,7	100,0
Dissulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S ₂	146	95,2	83,40
Sulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S	114	79,4	47,57
(E)-1-Alil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₆ H ₁₀ S ₂	146	70,9	41,71
(E)-1-Metil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₄ H ₈ S ₂	120	82,1	41,42
Trissulfeto de dimetila	C ₂ H ₆ S ₃	126	98,3	38,57

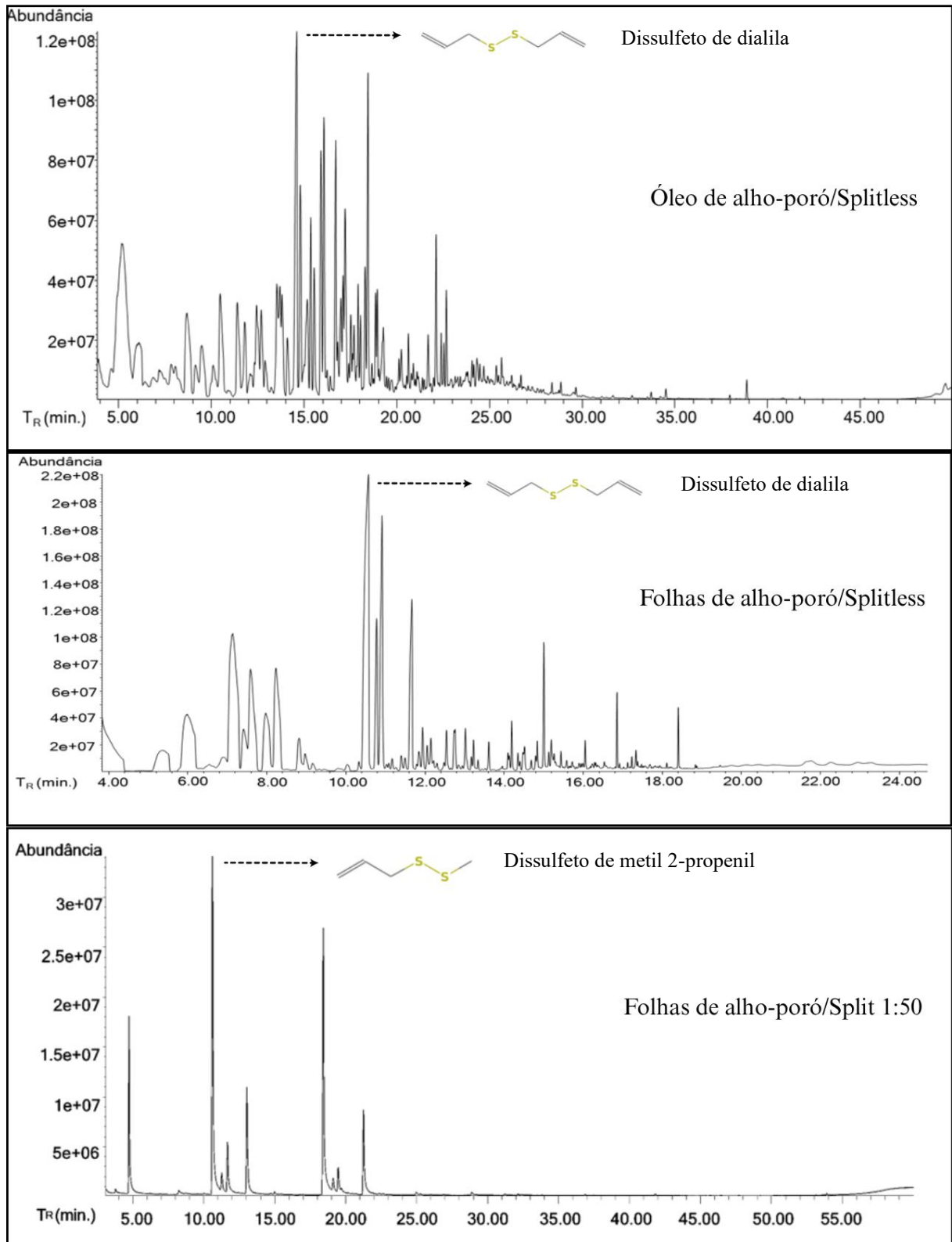
Fonte: Autor, 2025.

As Figuras 25 e 26 mostram os espectros de massas dos seis principais compostos e os cromatogramas de íons totais das análises realizadas.

Figura 25 - Espectros de massas dos principais compostos identificados



Fonte: Autor, 2025

Figura 26 - Cromatogramas de íons totais obtidos nas análises

Fonte: Autor, 2025.

Nos estudos de Mnayer *et al.* (2014) e Casella *et al.* (2012) a composição química do OE de alho-poró foi analisada por GC-MS. O composto identificado de forma majoritária em ambas as análises foi o dissulfeto de dipropila, constituindo 47,70% da composição de todo OE no primeiro estudo e 29,81% em 100 mg de OE no segundo. No primeiro estudo as amostras foram adquiridas em supermercados na cidade de Avignon na França, enquanto no segundo os bulbos analisados foram obtidos em propriedades rurais no distrito de Lucca, na região de Toscana, Itália. Apesar das diferenças na origem ambos os estudos relataram baixos níveis de sulfetos dialílicos.

Nesse contexto, Biancolillo *et al.* (2022). Identificaram 25 compostos em amostras de alho vermelho italiano por HS-SPME/GC-MS. O sulfeto de dialila foi o composto majoritário, com áreas de pico entre 80% e 93%. Entre os compostos identificados pelos autores, cinco também foram encontrados experimentalmente na variedade de alho-poró estudada neste trabalho: sulfeto de dialila, dissulfeto de dialila, 2-vinil-4H-1,3-ditiína, 4H-1,2,3-tritiína e 2-mercapto-3,4-dimetil-2,3-di-hidrotiofeno.

Casella *et al.* (2012) também destacam que o OE de alho (*Allium sativum*) apresenta atividade inibitória comprovada contra cepas bacterianas, como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*. Atribuindo essa atividade à presença de polissulfetos de dialila. É importante mencionar que além dos sulfetos dialílicos outros compostos presentes no alho podem desempenhar atividades biológicas relevantes. Em análises realizadas por Sasi *et al.* (2021) compostos como ajoeno e vinilditiínas apresentaram atividade antioxidante superiores aos sulfurados dialílicos.

De modo geral, o perfil químico obtido evidencia a presença de compostos reconhecidos na literatura por suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes. A presença expressiva desses compostos no óleo essencial de alho-poró analisado sugere um potencial funcional mais próximo ao de outras espécies do gênero, como o alho (*Allium sativum*), ainda que em proporções e combinações características da variedade investigada. Além disso, pôde-se observar um certo distanciamento em relação ao perfil químico das variedades convencionais amplamente comercializadas.

Essas diferenças podem estar associadas a diversos fatores, como a variedade e partes da planta analisada, às condições de cultivo e localidade, a origem do material vegetal. Enquanto os estudos da literatura se basearam em variedades convencionais de alho-poró, adquiridas em supermercados ou propriedades rurais da França e da Itália, este trabalho analisou uma variedade local, com origem na agricultura familiar no município de Bielândia, Tocantins, Brasil e cultivado de forma tradicional sem o uso de defensivos agrícolas sintéticos na cidade

de Araguaína, Tocantins. Dessa forma, o alho-poró estudado se apresenta como uma excelente opção alimentar, tanto por sua riqueza nutricional quanto pelos potenciais benefícios bioativos à saúde

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo responder à seguinte questão: Qual é a composição química e nutricional da variedade de alho-poró analisada neste estudo, e o que os resultados indicam em relação aos cultivares comerciais amplamente difundidos? Para isso, foi analisada uma variedade não convencional tradicionalmente conhecida como alho-poró, cultivada no estado do Tocantins, com manejo tradicional e consumo predominante das folhas uma característica que diverge das variedades comerciais, uma vez que o bulbo é o principal produto consumido.

As análises realizadas revelaram um perfil químico rico em compostos organossulfurados, com destaque para o dissulfeto de metil 2-propenil (100%), o dissulfeto de dialila (83,40%) e o sulfeto de dialila (47,57%), além de outros compostos com reconhecida atividade biológica. A comparação com a literatura mostrou que, embora essa variedade compartilhe compostos comuns em todas as plantas *Allium* (orgânicos sulfurados), como os derivados da alicina, suas proporções e combinações são específicas, refletindo influências da morfologia, da parte analisada e das condições de cultivo. Além disso a planta mostrou maior proximidade com os dados de referência nos parâmetros físico-químicos (umidade e cinzas) e maior distância com os teores e concentrações nutricionais e minerais registrados. O que pode evidenciar uma planta nutritiva devido ao nível proteico e mineral apresentando altas concentrações de cálcio, magnésio e fósforo e baixas de sódio e potássio. Entretanto, podemos considerar que as diferentes condições (metodologia de análise, variedades e partes estudadas, formas, condições, clima e localidades de cultivo) entre a atual pesquisa desenvolvida e as de referência podem ter influenciado na discrepância entre alguns dos dados.

Portanto, os resultados indicam que esta variedade de alho-poró apresenta um perfil químico e nutricional distinto das variedades comerciais mais estudadas, mas com grande potencial funcional e bioativo. A investigação de espécies locais e pouco exploradas, como a utilizada neste estudo, contribui para a valorização da biodiversidade agrícola na região norte do Tocantins e para a ampliação das opções de alimentos funcionais voltados à promoção da saúde.

7 REFERÊNCIAS:

- ALSHAMMARI, G. M. *et al.* O extrato metanólico de *Allium porrum*, rico em ácido alfa-linolênico, potencialmente inibe a proliferação de células de câncer de cólon humano HT-115 por meio de mecanismo apoptótico mediado por mitocôndrias. **Journal of King Saud University - Science**, v. 34, n. 1, p. 101736, jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364721003980#s0135>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- ANAPA. **Associações estaduais. Associação Nacional dos Produtores de Alho.** [2020?]. Disponível em: <https://anapa.com.br/associacoes-estaduais/>. Acesso em: 3 abr. 2025.
- ANDRIAMAHARAVO, N. R. *Retention Data*. In: LINSTROM, P. J.; MALLARD, W. G. (Eds.). **NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69**. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2014. Disponível em: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Source=2014AND>. Acesso em: 25 abri. 2025.
- ANSORENA, D.; ASTIASARÁN, I.; BELLO, J. Influência da adição simultânea da protease Flavourzyme e da lipase Novozyme 677BG em compostos de salsicha fermentada seca extraídos por SDE e analisados por GC-MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 6, p. 2395–2400, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf990931y>. Acesso em: 25 abr.. 2025.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. Official Methods 930.05. 18th ed. Gaithersburg, 2006.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. Official Methods 992.16. 17th ed. Gaithersburg, 2000.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Gaithersburg, 2590, 2011.
- BIANCOLILLO, A; Aloia, R; Rossi, L. *et al.* Perfis voláteis organossulfurados em variedades de alho vermelho italiano (*Allium sativum* L.) investigados por HS-SPME/GC-MS e quimiometria. **Food Control**, v. 131, p. 108477, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108477>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- BIERNACKA, B; Dziki, D; Kozłowska, J. *et al.* Dehydrated at Different Conditions and Powdered Leek as a Concentrate of Biologically Active Substances: Antioxidant Activity and Phenolic Compound Profile. **Materials**, v. 14, n. 20, p. 6127, 15 out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma14206127>. Acesso em: 15 abr. 2025.

- BONAITI, C; IRLINGER, F; SPINLER, H. E. *et al.* Um procedimento sensorial iterativo para selecionar associações odor-ativas em consórcios complexos de microrganismos: aplicação à construção de um modelo de queijo. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 5, p. 1671–1684, 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72839-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72839-3). Acesso em: 26 jun. 2025.
- BORLINGHAUS, J, Alberto, F. Gruhlke, M. C. *et al.* Allicin: Chemistry and Biological Properties. **Molecules**, v. 19, n. 8, p. 12591–12618, 19 ago. 2014. Disponível em: [10.3390/molecules190812591](https://doi.org/10.3390/molecules190812591). Acesso em: 15 abr. 2025.
- BURZYNSKI-CHANG, Elizabeth A. *et al.* HS-SPME-GC-MS Analyses of Volatiles in Plant Populations - Quantitating Compound × Individual Matrix Effects. **Molecules: A Journal of Synthetic Chemistry and Natural Product Chemistry**, v. 23, n. 10, p. 2436, 23 set. 2018.
- BUSTILLOS, O. V. A cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas – GC/MS. **Revista Analytica**, São Paulo, fev. 2020. Disponível em: <https://revistaanalytica.com.br/a-cromatografia-a-gas-acoplada-a-espectrometria-de-massas-gc-ms/#>. Acesso em: 18 abr. 2025.
- CABRAL, S. M.; SILVA, F. L. do N.; RODRIGUES, P. J.; *et al.* Extração e caracterização química do óleo da semente de nim (*Azadirachta indica*). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 11, n. 4, p. 170–181, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v11n4.16258>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- CASELLA, S., Leonardi, M., Melai, B. *et al.* The Role of Diallyl Sulfides and Dipropyl Sulfides in the In Vitro Antimicrobial Activity of the Essential Oil of Garlic, *Allium sativum* L., and Leek, *Allium porrum* L. **Phytotherapy Research**, v. 27, n. 3, p. 380–383, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ptr.4725>. Acesso em: 20. mai. 2025.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA E BIOCÊNCIAS – CABI. *Allium porrum* (alho-poró). **CABI Digital Library**, 10 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/cabicompndium.4248>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- CZECH, A.; SZMIGIELSKI, M.; SEMBRATOWICZ, I. Valor nutricional e capacidade antioxidante de vegetais orgânicos e convencionais do gênero *Allium*. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 18713, 4 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23497-y>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- DAMIN, B.; BRANCO, C. S.; FACCO, E. M. P. *et al.* Composição e atividade antioxidante das diferentes partes do alho-poró (*Allium porrum*) pré e pós cocção. *Disciplinarum Scientia | Saúde*, Santa Maria – RS, v. 21, n. 2, p. 195–206, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumS/article/view/3298>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- DETMANN, E., COSTA, L. F., ROCHA, G. C. *et al.* INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CIENCIA ANIMAL (INCT – Ciência animal), **Métodos para Análise de Alimentos**. 2. ed. Viçosa, MG: 2021.
- DUTILH, J. H. A., ROCHA, C. SASSONE, A. B. *et al.* *Allium porrum* L., in Flora e Funga do Brasil. **REFLORA**; INSTITUTO DE PESQUISAS JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE

JANEIRO; UFRJ, 2025. Disponível

em: http://servicos.jbrj.gov.br/flora/search/Allium_porrum. Acesso em: 3 abr. 2025.

ENGEL, E.; BATY, C.; LE CORRE, D. *et al.* Compostos ativos de sabor potencialmente implicados na aceitação de couve-flor cozida. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 22, p. 6459–6467, 20 set. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf025579u>. Acesso em: 20 jun. 2025.

FRANZ, Ch *et al.* Estudo sobre a avaliação de plantas/ervas aromáticas, extratos de plantas/plantas e seus componentes produzidos natural ou sinteticamente como “aditivos” para utilização na produção animal. **EFSA – European Food Safety Authority**, 28 ago. 2007. 297 p. Disponível em: <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2007.ZN-001>. Acesso em: 10 abr. 2025.

GONZÁLEZ, A. L. C., SANTAMARÍA, A. Garlic, gastrointestinal protection and oxidative stress. In: GRACIA-SANCHO, Jordi; SALVADÓ, Josepa (org.). **Gastrointestinal tissue: oxidative stress and dietary antioxidants**. Washington, DC: Academic Press, 2017. v. 1, cap. 20, p. 275–288. ISBN 978-1-68053-820-0. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128053775000205>. Acesso em: 18 abr. 2025.

HERRERA, P. G; MORALES, P.; RUIZ, V.F. *et al.* Nutrientes, fitoquímicos e atividade antioxidante em populações selvagens de *Allium ampeloprasum* L., um vegetal valioso e subutilizado. **Food Research International**, v. 62, p. 272–279, ago. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.004>. Acesso em: 20. mai. 2025.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz.

Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p. Disponível em: https://ial.sp.gov.br/analisedealimentosial_2008. Acesso em: 20. jun. 2025.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.001>. Acesso em: 15 jun. 2025.

LINSTROM, P. J.; MALLARD, W. G. (Eds.). **NIST Chemistry WebBook**, NIST Standard Reference Database Number 69. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2024. E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.18434/T4D303>. Acesso em: 26 jun. 2025.

LOCATELLI, D. A.; NAZARENO, M. A.; FUSARI, C. M. *et al.* Cooked garlic and antioxidant activity: Correlation with organosulfur compound composition. **Food Chemistry**, v. 220, p. 219–224, 1 abr. 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.001>. Acesso em: 20. mai. 2025.

- MNAYER, D., Tixer, A. S. F., Petitcolas, E. *et al.* Chemical Composition, Antibacterial and Antioxidant Activities of Six Essentials Oils from the Alliaceae Family. **Molecules**, v. 19, n. 12, p. 20034–20053, dez. 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/19/12/20034#B1-molecules-19-20034>. Acesso em: 13. Mar 2025.
- MUMTAZ, F., Farag, N. M., Farahat, M. A. *et al.* Leek (var. kurrat) aqueous extract loaded on selenium nanoparticles protects against testis and brain injury induced by mercuric chloride in rats. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 14, p. 9062–9075, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.13733>. Acesso em: 20. mai. 2025.
- NAJDA, A., Błaszczuk, L., Winiarczyk, K. *et al.* Estudos comparativos das propriedades nutricionais e de melhoria da saúde da planta “semelhante ao alho” *Allium ampeloprasum* var. *ampeloprasum* (GHG-L) e *A. sativum*. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 247–255, 30 mar. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423816300450>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- NALLAL, V. U. M.; PRABHA, K. B.; POTHHER, V. I. *et al.* Abordagem combinada *in vitro* e *in silico* para avaliar o potencial inibitório de um vegetal allium subutilizado e seus compostos farmacologicamente ativos em espécies de *Candida* multirresistentes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 2, p. 1246–1256, 1 fev. 2021.
- NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de Laboratório: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos-SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. ISBN 85-86764-08-6.
- PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. *et al.* **Introdução à espectroscopia**. 2. ed. Porto Alegre: +A Educação - Cengage Learning Brasil, 2016. E-book, p. 28. ISBN 9788522123391. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522123391/>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- PÉREZ, R. A.; NAVARRO, T.; DE LORENZO, C. Análise HS-SPME dos compostos voláteis de especiarias como fonte de sabor em preparações de azeitona de mesa ‘Campo Real’. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 22, n. 4, p. 265-273, jul. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ffj.1791>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- PINO, J. A.; MESA, J.; MUÑOZ, Y. *et al.* Compostos voláteis de cultivares de manga (*Mangifera indica* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 2213-2223, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf0402633>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- SASI, M., Kumar, S., Kumar, M. *et al.* *Bioativos do alho* (*Allium sativum* L.) e seu papel no alívio de patologias orais. **Antioxidants**, v. 10, n. 11, p. 1847, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox10111847>. Acesso em: 24 maio 2025.

SKOGERSON, K.; WOHLGEMUTH, G.; FIEHN, O. VocBinNase. In: LINSTROM, P. J.; MALLARD, W. G. (Eds.). **NIST Chemistry WebBook**, NIST Standard Reference Database Number 69. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2011. Disponível em: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Source=2011SKO>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SPECIESLINK NETWORK. **SpeciesLink**. Centro de Referência em Informação Ambiental - CRIA, 27 jun. 2025. Disponível em: <https://specieslink.net/search>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO. 4. ed. revisada e ampliada. Campinas, SP: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2011. 161 p. Disponível em: <https://www.cfn.org.br/TACO4Ed>. Acesso em: 12 mai. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Alho-poró, bulbo e folhas, raiz removida, cru. **FoodData Central**, 24 abr. 2025. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2727584>. Acesso em: 30 mar. 2025.

XIE, T. *et al.* Perspectiva funcional do alho-poró: componentes ativos, benefícios para a saúde e mecanismos de ação. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3225, 27 ago. 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10486880/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

XIE, X. *et al.* Caracterização e via metabólica de compostos voláteis em mirtilos de diferentes variedades e origens analisados *via* HS-GC-IMS e HS-SPME-GC-MS. **Food Chemistry**, v. 480, p. 143813, 15 jul. 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC>. Acesso em: 01 jun. 2025.

YAN, J. K. *et al.* Avanços recentes na pesquisa sobre plantas *Allium*: ingredientes funcionais, atividades fisiológicas e aplicações em ciências agrícolas e alimentares. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 26, p. 8107–8135, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35343832/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

8 APÊNDICE 1

Neste apêndice, são apresentados os dados obtidos durante a etapa metodológica de processamento físico das amostras, abrangendo os processos de desidratação, secagem e incineração. Incluem-se também as tabelas com os valores empregados nos cálculos dos parâmetros físico-químicos, como umidade e cinzas, além das tabelas referentes à quantificação dos nutrientes (nitrogênio, proteína e matéria orgânica) e à determinação dos minerais cálcio, magnésio, fósforo, sódio e potássio.

Tabela 5 - Massas das amostras da folhagem pré desidratada e pós desidratada por 72 horas em estufa a 55° C seguidas do percentual da amostra seca ao ar massa restante seca ao ar ASA (%)

Amostra	Massa pré-desidratação (g)	Massa pós-desidratação (g)	ASA (%)
1	45,55	3,68	8,08
2	45,36	3,68	8,11
3	45,28	3,69	8,15
4	45,29	3,74	8,26
Média ± DP	45,37 ± 0,13	3,70 ± 0,03	8,15 ± 0,08

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 6 - Massas em gramas das amostras antes e após secagem em estufa (ASE). Seguidas dos percentuais da massa restante seca em estufa ASE (%)

Amostra	Massa pré-secagem (g)	Massa pós-secagem (g)	ASE (%)
1	2,00	1,77	88,50
2	2,00	1,77	88,50
3	2,00	1,76	88,00
4	2,00	1,74	87,00
Média ± DP	2,00 ± 0,00	1,76 ± 0,01	88,00 ± 0,71

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 7 - Percentual de matéria seca Matéria Seca (MS) (%)

Amostras	Matéria Seca (%)
1	7,15
2	7,18
3	7,17
4	7,19
Média ± DP	7,17 ± 0,02

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 8 - Massas e percentuais das Cinzas

Amostra	Cinzas (g)	Cinzas (%)
1	0,30	0,66
2	0,30	0,66
3	0,30	0,66
4	0,28	0,62
Média ± DP	0,29 ± 0,01	0,65 ± 0,02

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 9 - Descrição das etapas utilizadas para calcular a umidade das amostras

Amostra	Massa pós-secagem ASE (g)	Massa inicial (g)	Amostra ASE (%)	Umidade (%)
1	1,77	45,55	3,89	96,11
2	1,77	45,36	3,90	96,10
3	1,76	45,28	3,86	96,14
4	1,74	45,29	3,84	96,16
Média ± DP	1,76 ± 0,01	45,37 ± 0,13	3,87 ± 0,03	96,13 ± 0,03

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 10 - Volumes gastos durante a titulação e percentuais de nitrogênio ASA

Amostra	HCl (mL)	Nitrogênio ASA (%)
Branco	0	-
1	11,43	4,04
2	11,01	3,89
3	10,89	3,85
4	10,74	3,79
Média ± DP	-	3,89 ± 0,10

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 11 - Resultados das replicatas das análises de Nitrogênio, Proteína Bruta e Matéria Orgânica com base na matéria seca (MS), expressos em valores percentuais

Amostra	Nitrogênio MS (%)	Proteína Bruta MS (%)	Matéria Orgânica MS (%)
1	4,57	28,52	99,34
2	4,40	27,50	99,34
3	4,38	27,38	99,34
4	4,31	26,94	99,38
Média ± DP	4,42 ± 0,11	27,59 ± 0,67	99,35 ± 0,02

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 12 - Leituras de absorvância para curva padrão e amostras na análise de fósforo por espectrofotométrica no UV/Vis

Solução padrão (mg/L)	Absorbância	Amostras	Absorbância
0	0,004	-	-
1	0,132	1	1,179
2	0,273	2	1,200
3	0,408	3	1,189
4	0,549	4	1,212

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 13 - Valores de absorvância para as soluções padrão de fosforo convertidos para mg/L

Amostra	Fosforo (mg/L)
1	8,71
2	8,87
3	8,79
4	8,96
Média ± DP	8,83 ± 0,11

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 14 - Concentrações de sódio (mg/L) obtidas a partir do fotômetro de chamas

Amostras	Sódio (mg/L)
1	0,02
2	0,02
3	0,02
4	0,02
Média± DP	0,02 ± 0,00

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 15 - Concentrações de potássio em (mg/L) obtidas a partir do fotômetro de chamas

Amostras	Potássio (mg/L)
1	-
2	-
3	0,14
4	0,13
Média ± DP	0,14 ± 0,007

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 16 - Resultados das replicatas das análises dos minerais com base na matéria seca (MS)

Amostras	Calcio_{MS} (mg/100 g)	Magnésio_{MS} (mg/100 g)	Fosforo (mg/100g)	Sódio_{MS} (mg/100g)	Potássio_{MS} (mg/100g)
1	-	121,86	492,09	79,09	-
2	212	121,86	501,13	79,09	-
3	229	120,09	499,43	79,55	7,95
4	203	111,26	514,94	80,46	7,47
Média ± DP	215 ± 13,21	119 ± 5,01	502 ± 9,64	79,55 ± 0,65	7,71 ± 0,34

Fonte: Autor, 2025.

9 APÊNDICE 2

Este apêndice contempla todos os compostos detectados em cada cromatograma individualmente, inclusive aqueles que aparecem em mais de uma análise. Aqui são listados todos os compostos identificados nas três análises cromatográficas realizadas por HS-SPME/GC-MS. Diferentemente da Tabela Geral de Identificação que apresenta apenas um registro por composto, selecionado com base na maior abundância (área e similaridade).

Tabela 17 - Dados individuais tratados referente às todas as análises

Óleo (Splitless)						
	Composto	Fórmula	t_R (min)	Similaridade (%)	Area (%)	Referência
1	2-hexanona, 6-hidroxi-	C ₆ H ₁₂ O ₂	4,59	53,60	-	-
2	2-Hexanona	C ₆ H ₁₂ O	4,95	60,10	-	-
3	1-Etilbutilhidroperóxido	C ₆ H ₁₄ O ₂	5,16	69,80	100	-
4	Sulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S	6,86	68,10	4,92	[1]
5	Dissulfeto de metil 2-propenil	C ₄ H ₈ S ₂	8,68	93,40	26,26	[1]
6	(E)-1-Metil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₄ H ₈ S ₂	9,49	81,80	14,91	[1]
7	3H-1,2-Ditiol	C ₃ H ₄ S ₂	9,97	68,40	-	[1]
8	Trissulfeto de dimetila	C ₂ H ₆ S ₃	10,49	97,70	24,55	[1][4][5]
9	Dissulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S ₂	14,60	85,90	54,68	[1][2][5]
10	3-Metil-3H-1,2-ditiol	C ₄ H ₆ S ₂	15,19	96,50	21,00	[1]
11	(E)-1-Alil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₆ H ₁₀ S ₂	15,36	79,20	17,03	[1]
12	1 -Metil - 4 -(1- metilpropil)-benzeno	C ₁₁ H ₁₆	18,05	59,80	7,19	-
13	3-Vinil-1,2-ditiaciclohex-4-eno	C ₆ H ₈ S ₂	18,46	94,20	28,46	[1]
14	Dissulfeto de metila 1-(metiltio) propil	C ₅ H ₁₂ S ₃	20,91	50,60	3,31	[1]
15	N,N-Dibutilformamida	C ₉ H ₁₉ NO	22,55	82,20	4,56	-
Folhas (Splitless)						
1	Dissulfeto de dimetil	C ₂ H ₆ S ₂	3,90	95,70	-	[2]
2	Sulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S	6,00	79,40	47,57	[1]
3	(E)-Alil(prop-1-en-1- il) sulfano	C ₆ H ₁₀ S	6,56	52,20	4,50	[1]
4	Dissulfeto de metil 2- propenil	C ₄ H ₈ S ₂	7,15	84,70	79,85	[1]
5	(E)-1-Metil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₄ H ₈ S ₂	7,59	82,10	41,42	[1]
6	3H-1,2-ditiol	C ₃ H ₄ S ₂	7,98	93,40	25,01	[1]
7	Trissulfeto de dimetila	C ₂ H ₆ S ₃	8,24	98,30	38,57	[1] [4] [5]

8	3 -Metil-3H -1,2 -ditiol	C ₄ H ₆ S ₂	10,05	78,00	1,69	[1]
9	Dissulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S ₂	10,58	95,80	22,47	[1] [4] [5]
10	(E)-1-Alil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₆ H ₁₀ S ₂	10,92	70,90	41,70	[1]
11	Dissulfeto de metil (metiltio) metil	C ₃ H ₈ S ₃	11,40	86,30	19,28	[1]
12	Trissulfeto de metil 2- propenil	C ₄ H ₈ S ₃	11,68	92,70	31,51	[1]
13	4-Metil-1,2,3- tritiolano	C ₃ H ₆ S ₃	11,94	98,20	5,15	[1]
14	(E) - 1 -Metil-3-(prop-1-en-1-il) trissulfano	C ₄ H ₈ S ₃	12,06	82,90	3,09	[1]
15	2 -Mercapto-3,4-dimetil-2,3-di-hidrotiofeno	C ₆ H ₁₀ S ₂	12,31	56,00	1,18	-
16	3-Vinil-1,2-ditiaciclohex-4-eno	C ₆ H ₈ S ₂	12,55	93,50	5,72	[1]
17	4H-1,2,3-Tritiina	C ₃ H ₄ S ₃	12,74	94,00	-	[1]
18	2-Vinil-4H -1,3-ditiina	C ₆ H ₈ S ₂	12,95	77,40	0,57	[1]
19	Tetrasulfeto de dimetil	C ₂ H ₆ S ₄	13,03	85,50	5,09	[3]
20	Isovalerato de cis-3-hexenila	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	13,23	51,90	4,10	-
21	Dissulfeto de metila 1 -(metiltio) propil	C ₅ H ₁₂ S ₃	13,62	55,40	2,49	[1]
22	Trissulfeto, di-2-propenil	C ₆ H ₁₀ S ₃	14,19	97,10	3,92	[1] [6]
23	(E)-1-Alil-3-(prop-1-en-1-il) trissulfano	C ₆ H ₁₀ S ₃	14,52	75,40	4,08	[1]
24	5 -Metil -1,2,3,4 - tetratiano	C ₃ H ₆ S ₄	15,01	96,50	10,84	[1]
25	Tetrasulfeto, di-2-propenil	C ₆ H ₁₀ S ₄	16,54	77,50	1,71	-
26	2,2,4 -Trimetil -1,3 - pentanodiol diisobutirato	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	16,86	91,30	5,28	[1]
27	4 -butan - 2 -il -2,6 - di terc -butilfenol	C ₁₈ H ₃₀ O	17,13	52,10	0,86	-
28	4-Metil-1,2,3- tritiolano	C ₃ H ₆ S ₃	17,34	69,00	2,64	[1]
Folhas (Split 1:50)						
1	Dissulfeto de dimetil	C ₂ H ₆ S ₂	4,73	97,80	38,08	[2]
2	Dissulfeto de metil 2-propenil	C ₄ H ₈ S ₂	10,60	94,70	100	[1]
3	(E)-1-Metil-2-(prop-1-en-1-il) dissulfano	C ₄ H ₈ S ₂	11,67	83,40	16,51	[1]
4	Trissulfeto de dimetila	C ₂ H ₆ S ₃	13,03	98,80	30,47	[3]
5	Dissulfeto de dialila	C ₆ H ₁₀ S ₂	18,41	95,20	83,40	[1]

						[4]
						[5]
6	(E)-1-Alil-2-(prop-1-en-1-il)dissulfano	C ₆ H ₁₀ S ₂	19,46	65,80	6,46	[1]
7	Trissulfeto de metil 2-propenil	C ₄ H ₈ S ₃	21,24	96,00	27,16	[1]
8	Trissulfeto, di-2-propenil	C ₆ H ₁₀ S ₃	28,89	72,70	1,00	[1] [6]

Fonte: Autor, 2025.

[1] Andriamaharavo, N.R (2014); [2] Ansorena, D. ; Astiasarán, I. ; Bello, J. (2000); [3] Bonaiti, C. et al (2005); [4] Engel, Baty et al (2002); [5] Pérez, RA ; Navarro, T. ; de Lorenzo, C. (2007); [6] Pino, JA et al (2005); [7] Skogerson, K.; Wohlgemuth, G.; Fiehn, O., (2011).