RESSALVA

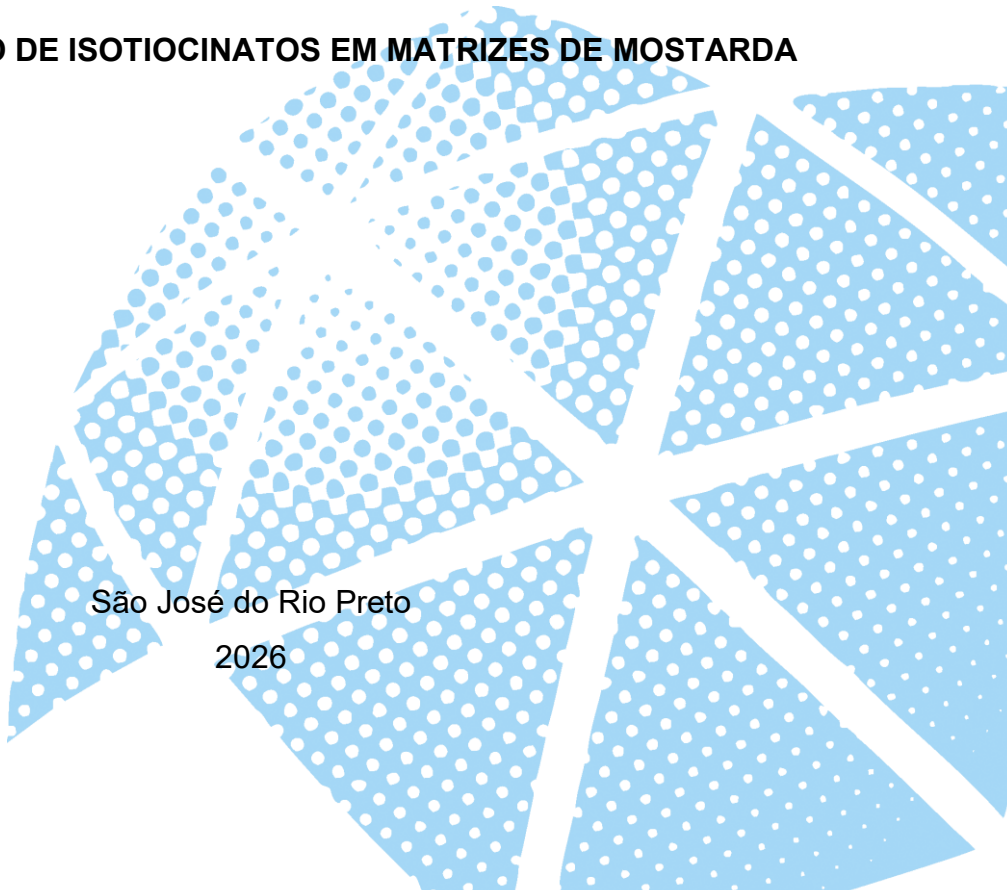
Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 03/09/2028.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus do São José do Rio Preto

MARIANE CRISTINA DE SOUSA NOGUEIRA

CARACTERIZAÇÃO DE ISOTIOCINATOS EM MATRIZES DE MOSTARDA



São José do Rio Preto

2026

MARIANE CRISTINA DE SOUSA NOGUEIRA

CARACTERIZAÇÃO DE ISOTIOCIANATOS EM MATRIZES DE MOSTARDA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Orientadora: Profª. Drª. Natália Soares Janzantti

São José do Rio Preto

2026

N778c

Nogueira, Mariane Cristina de Sousa

Caracterização de isotiocianatos em matrizes de mostarda / Mariane Cristina de Sousa Nogueira. -- São José do Rio Preto, 2026

95 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Natália Soares Janzantti

1. Brassicaceae. 2. Glucosinolatos. 3. Hidrodestilação. 4. Microextração em fase sólida. 5. Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

MARIANE CRISTINA DE SOUSA NOGUEIRA

CARACTERIZAÇÃO DE ISOTIOCIANATOS EM MATRIZES DE MOSTARDA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Data da defesa: 03/09/2026

Banca Examinadora:

_____

Profª. Drª. Natália Soares Janzantti

UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José de Rio Preto

_____

Profª. Drª. Claudia Regina Cançado Sgorlon Tininis

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Matão

_____

Drª. Yara Paula Nishiyama Hortense

UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José de Rio Preto

_____

Drª. Poliana Moser

Empresa Praxia Consultoria em Alimentos

_____

Drª. Ana Maria Chaux Gutiérrez

UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José de Rio Preto

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta caminhada, sustentando-me nos momentos de dificuldade e tornando possível a realização deste sonho.

À minha orientadora, Prof.ª Drª. Natália Soares Janzantti, pela confiança depositada em mim, pelos ensinamentos compartilhados, pela paciência e pela dedicação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais e ao meu irmão, por todo o amor, apoio e incentivo ao longo da minha vida. Obrigada por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidava das minhas próprias capacidades, por me darem força nos momentos difíceis e por estarem ao meu lado sempre que precisei, sem pensar duas vezes. Vocês fizeram a diferença em uma etapa tão importante da minha vida. Esta conquista também é de vocês.

Aos meus tios e tias, pelo carinho, incentivo e apoio constantes. Sou muito grata por todo o cuidado e por sempre acreditarem em mim.

Aos membros da banca examinadora de defesa, Profª. Drª. Claudia Regina Cançado Sgorlon Tininis e Drª. Yara Paula Nishiyama Hortense, pela disponibilidade, leitura atenta e pelas valiosas contribuições compartilhadas na avaliação final deste trabalho.

Aos membros da banca de qualificação, Profª. Drª. Claudia Regina Cançado Sgorlon Tininis e Profª. Drª Ellen Silva Lago Vanzela, pela disponibilidade, pelas valiosas sugestões e pelas contribuições compartilhadas durante a avaliação deste trabalho. As observações e recomendações apresentadas foram essenciais para o seu aprimoramento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

A mostarda é um condimento amplamente valorizado por suas propriedades químicas, sensoriais e biológicas. Seus grãos apresentam elevados teores de glucosinolatos que após hidrólise enzimática em presença de água, originam os isotiocianatos. Os isotiocianatos são compostos voláteis com diversas aplicações, como conservantes alimentícios e defensivos agrícolas, além das propriedades sensoriais. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar os isotiocianatos de coprodutos de mostarda como óleo bruto e seu subproduto resíduo de prensagem (torta), bem como de mostarda em grãos, em pó, Dijon e tipo Dijon utilizando diferentes técnicas: hidrodestilação, microextração em fase sólida (HS-SPME) e a combinação de ambas, seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). A adição de água às amostras secas foi indispensável para a ativação da mirosinase, aumentando expressivamente a área e o número de isotiocianatos, evidenciando a importância do meio aquoso. As tortas apresentaram maior diversidade e teor de isotiocianatos em comparação ao óleo bruto, demonstrando que a prensagem mecânica reteve expressiva quantidade de glucosinolatos residuais na fração sólida. Para estas amostras, a técnica combinada de hidrodestilação seguida de HS-SPME do hidrolato e a técnica de HS-SPME com adição de água, foram as estratégias analíticas mais eficientes, permitindo identificar diversos compostos sulfurados. Entre os produtos comerciais, as mostardas preta (*Brassica nigra*) e marrom (*Brassica juncea*) em grãos e a mostarda Dijon apresentaram maior complexidade de isotiocianatos com dominância de isotiocianato de alila e de isotiocianato de 3-butenila, enquanto as mostardas amarelas (*Sinapis alba*), incluindo a em grãos, em pó e tipo Dijon apresentaram predominância de isotiocianatos de benzila e isotiocianato de 2-fenetila. A técnica combinada revelou-se a estratégia de maior sensibilidade, permitindo a detecção de inúmeros isotiocianatos, seguida pela técnica de HS-SPME com presença de água. Os resultados demonstraram que a espécie de mostarda e as condições de extração influenciam diretamente na composição dos isotiocianatos ($p < 0,05$). O estudo evidencia o potencial dos subprodutos da mostarda (torta e hidrolato) como fontes de compostos bioativos e reforça a aplicabilidade da HS-SPME-CG-EM para a caracterização de isotiocianatos em diferentes matrizes alimentícias.

Palavras-chave: *Brassicaceae*; Glucosinolatos; Hidrodestilação; Microextração em fase sólida; Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas.

ABSTRACT

Mustard is a condiment highly valued for its chemical, sensory, and biological properties. Its seeds contain high levels of glucosinolates, which, upon enzymatic hydrolysis in the presence of water, yield isothiocyanates. Isothiocyanates are volatile compounds with various applications—such as food preservatives and agricultural protective agents—in addition to their sensory attributes. This study aimed to characterize the isothiocyanates found in mustard co-products (crude oil and the solid residue—or "press cake"—remaining after pressing), as well as in mustard seeds, mustard powder, and both Dijon and Dijon-style mustard. The characterization was performed using several techniques: hydrodistillation, headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), and a combination of both, followed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Adding water to the dry samples was essential for activating the enzyme myrosinase, which significantly increased both the number of detected isothiocyanates and their peak areas, highlighting the importance of an aqueous medium. The press cakes exhibited a greater diversity and higher content of isothiocyanates compared to the crude oil, demonstrating that mechanical pressing resulted in a significant retention of residual glucosinolates within the solid fraction. For these samples, the most efficient analytical strategies were the combined approach—hydrodistillation followed by HS-SPME of the resulting hydrolate—and HS-SPME performed with the addition of water; both methods enabled the identification of various sulfur-containing compounds. Among commercial products, black mustard (*Brassica nigra*) and brown mustard (*Brassica juncea*) seeds, as well as Dijon-style mustard, exhibited a greater complexity of isothiocyanates, dominated by allyl isothiocyanate and 3-butenyl isothiocyanate. In contrast, yellow mustard (*Sinapis alba*) products—including seeds, powder, and Dijon-style varieties—showed a predominance of benzyl isothiocyanate and 2-phenethyl isothiocyanate. The combined technique proved to be the most sensitive strategy, enabling the detection of numerous isothiocyanates, followed by the HS-SPME technique performed in the presence of water. The results demonstrate that the mustard species and extraction conditions directly influence the composition of isothiocyanates ($p < 0,05$). This study highlights the potential of mustard by-products (oil cake and hydrosol) as sources of bioactive compounds and reinforces the applicability of HS-SPME-GC-MS for the characterization of isothiocyanates in various food matrices.

Keywords: *Brassicaceae*; Glucosinolates; Hydrodistillation; Solid-phase microextraction; Gas chromatography-mass spectrometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Flor e grão de mostarda amarela (*Sinapis alba*) 15
Figura 2 - Flor e grão de mostarda marrom (*Brassica juncea*) 15
Figura 3 - Flor e grão de mostarda preta (*Brassica nigra*) 15
Figura 4 - Esquema da hidrólise dos glucosinolatos em presença da enzima mirosinase 18
Figura 5 - Estrutura química da Sinigrina e Sinalbina 19
Figura 6 - Estrutura química do Isotiocianato de alila 20
Figura 7 - Estrutura química do Isotiocianato de benzila 23
Figura 8 - Estrutura química do Isotiocianato de 2-fenetila 24
Figura 9 - Estrutura química do Isotiocianato de 3-(metiltio)propila 24
Figura 10 - Estrutura química do Isotiocianato de 3-butenila 25
Figura 11 - Estrutura química do Isotiocianato de butila 25
Figura 12 - Fluxograma da produção industrial de óleo de mostarda 27
Figura 13 - Mostarda em pó 36
Figura 14 - Mostarda Dijon em pasta e em grãos 38
Figura 15 - Aparato do aparelho de Clevenger modificado 44
Figura 16 - Óleo e hidrolato obtidos por hidrodestilação 44
Figura 17 - Aparatos utilizados na técnica de Microextração em Fase Sólida 47
Figura 18 - Exposição da fibra no headspace da amostra 47
Figura 19 - Análise de Componentes Principais (ACP) do perfil de isotiocianatos em óleo bruto e torta de mostarda (resíduo) 61
Figura 20 - Análise de Componentes Principais (ACP) do perfil de isotiocianatos em produtos de mostarda do grupo 1 70
Figura 21 - Análise de Componentes Principais (ACP) do perfil de isotiocianatos em produtos de mostarda do grupo 2 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal das principais espécies de mostarda 36
Tabela 2 - Descrição das amostras comerciais de mostarda 41
Tabela 3 - Íons monitorados dos isotiocianatos 49
Tabela 4 - Rendimento hidrodestilação nas amostras de mostarda 52
Tabela 5 - Isotiocianatos da torta com diferentes proporções de água pela técnica de HS-SPME 56
Tabela 6 - Isotiocianatos presentes em amostras de óleo bruto e tortas de mostarda em diferentes técnicas de extração 59
Tabela 7 - Isotiocianatos presentes em amostras do Grupo 1 em diferentes técnicas de extração 65
Tabela 8 - Isotiocianatos presentes em amostras do Grupo 2 em diferentes técnicas de extração 74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 OBJETIVO 13
2.1 OBJETIVO GERAL 13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
3.1 MOSTARDA 14
3.2 ISOTIOCIANATOS: FORMAÇÃO E APLICAÇÕES 16
3.3 DERIVADOS INDUSTRIAIS DE MOSTARDA 26
3.3.1 Óleo de mostarda 26
3.3.1.1 Produção industrial de óleo de mostarda 26
3.3.1.2 Óleo essencial de mostarda 30
3.3.2 Mostarda em grãos 34
3.3.3 Mostarda em pó 36
3.3.4 Mostarda Dijon 37
4 MATERIAIS E MÉTODOS 40
4.1 MATERIAIS 40
4.2 MÉTODOS 43
4.2.1 Extração dos compostos de isotiocianato 43
4.2.1.1 Hidrodestilação 43
4.2.1.2 Microextração em fase sólida no headspace (HS-SPME) 45
4.2.1.3 Hidrodestilação em combinação com HS-SPME 48
4.3 ANÁLISE DE ISOTIOCIANATO POR CG-EM 48
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 51
5.1 RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL E HIDROLATO NA MOSTARDA E SEUS PRODUTOS COMERCIAIS 51
5.2 ISOTIOCIANATOS NO ÓLEO BRUTO E TORTAS 54
5.3 ISOTIOCIANATOS EM COPRODUTOS DE MOSTARDA 61
6 CONCLUSÃO 82
REFERÊNCIAS 83

1 INTRODUÇÃO

As mostardas apresentam sabor pungente típico, em razão da presença dos glucosinolatos e de seus produtos de decomposição, especialmente os isotiocianatos. Os glucosinolatos são glicosídeos derivados de aminoácidos contendo enxofre (Rahman *et al.*, 2024). A formação dos isotiocianatos ocorre a partir de danos mecânicos aos grãos de mostarda, como aqueles provocados pelo processo de moagem dos grãos, que promovem o rompimento dos tecidos vegetais e possibilitam a hidrólise dos glucosinolatos, especialmente sinigrina e sinalbina, catalisada pela enzima mirosinase. Para a liberação do isotiocianato a partir da sinigrina ou sinalbina é necessária a presença de água. Desta forma, após a maceração do tecido vegetal é fundamental que haja umidade em contato com a amostra para que a hidrólise do glucosinolato aconteça (Dai; Lim, 2015). Os produtos da hidrólise incluem isotiocianatos, nitrilas, tiocianatos, epitionitris, oxazolidina-2-tionas e derivados de indol (Lietzow, 2021).

A espécie de mostarda, a parte avaliada, as condições de processamento e o tipo de matriz avaliada, como grãos e farinhas, podem influenciar a composição de isotiocianatos (Liang *et al*., 2023; Shen *et al*., 2018; Ortner; Granvogl; Schieberle, 2016; Torrijos *et al*., 2023). Dessa forma, a composição de isotiocianatos presentes nas mostardas varia de acordo com o glucosinolato do qual derivam. Nos grãos de mostarda amarela (*Sinapis alba*), o principal composto é a sinalbina que se degrada preferencialmente em isotiocianato de 4-hidroxibenzila. Já nos grãos de mostardas marrom (*Brassica juncea*) e mostarda preta (*Brassica nigra*), predomina a sinigrina que forma preferencialmente o isotiocianato de alila (Lietzow, 2021; Liu *et al.*, 2020). Independentemente da espécie, além dos compostos majoritários, outro volátil encontrado é o isotiocianato de benzila que se caracteriza como um líquido oleoso, hidrofóbico e de odor pungente, apresentando alta volatilidade e facilidade de degradação (Feltes, 2021), bem como outros em menor quantidade como o isotiocianato de 2-feniletila, o isotiocianato de 3-butenila, o isotiocianato de butila e o isotiocianato de 3-(metiltio)propila (Lamy *et al.*, 2011; Sharma; Rai; Prasad, 2018; Wu *et al.*, 2022). Estes compostos possuem relevantes propriedades biológicas, como ação antimicrobiana, antifúngica, antioxidante e anti-inflamatória, além de serem considerados promissores agentes anticancerígeno contra diversos tipos de tumores (Arora *et al.*, 2016; Ezzat *et al.*, 2024; Feltes, 2021; Liu *et al.*, 2020; Tarar *et al.*, 2022).

A literatura descreve diversas técnicas de extração de isotiocianatos em matrizes vegetais (Das *et al*., 2022; Karanikolopoulou *et al*., 2021; Kyriakou *et al*., 2022; Yadav; Dhankhar; Kundu, 2022), entre elas estão a hidrodestilação, a destilação a vapor, a extração com solventes orgânicos, extração assistida por ultrassom ou por micro-ondas, além de fluido supercrítico e microextração em fase sólida. Após a etapa de extração, os compostos voláteis são separados, quantificados e identificados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas. O avanço de técnicas analíticas de extração e dos métodos instrumentais têm possibilitado um mapeamento mais detalhado dos compostos voláteis dos alimentos. A combinação dessas técnicas com análise sensorial permite identificar compostos de impacto sensorial, bem como marcadores químicos utilizados no controle de qualidade, autenticação e diferenciação entre espécies de alimentos.

Nesse contexto, o estudo sistemático dos isotiocianatos presentes na mostarda é essencial para avançar na compreensão de suas propriedades químicas, sensoriais e biológicas. A análise detalhada desses compostos permite não apenas correlacionar perfis químicos com percepções sensoriais e potenciais efeitos funcionais, mas também fornece subsídios para o desenvolvimento de estratégias de otimização de processos industriais e valorização de subprodutos. Assim, o presente trabalho tem como objetivo identificar e quantificar os isotiocianatos em coprodutos de mostarda, como óleo bruto e seu subproduto (resíduo de prensagem ou torta), bem como mostarda em grãos, em pó, Dijon e tipo Dijon, empregando diferentes técnicas de extração - hidrodestilação, microextração em fase sólida e a combinação das duas técnicas - associadas à cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. Os resultados desta pesquisa poderão ampliar a base científica sobre os isotiocianatos, contribuindo para futuras investigações sobre sua funcionalidade, segurança alimentar e aplicações tecnológicas.

6 CONCLUSÃO

A presença de água mostrou-se importante para a detecção dos isotiocianatos nas diferentes matrizes pela técnica de HS-SPME, por proporcionar condições para a atuação da enzima mirosinase na hidrólise dos glucosinolatos. A combinação da hidrodestilação com a HS-SPME dos hidrolatos ampliou a diversidade de isotiocianatos detectados, principalmente de compostos minoritários.

As tortas apresentaram maior diversidade de isotiocianatos em comparação ao óleo bruto, indicando que o resíduo da produção industrial de óleo de mostarda apresenta potencial de aproveitamento como fonte desses compostos, desde que submetido a hidrólise com adição controlada de água para ação da enzima mirosinase. Assim, as tortas podem representar uma matéria-prima promissora para o desenvolvimento de diversos produtos contendo compostos bioativos, com possíveis aplicações, por exemplo, em defensivos agrícolas.

As amostras comerciais de mostarda preta (*Brassica nigra*) e marrom (*Brassica juncea*) apresentaram predominância de isotiocianatos alifáticos, como o isotiocianato de alila e de 3-butenila, enquanto as mostardas amarelas (*Sinapis alba*) apresentaram compostos aromáticos, como os isotiocianatos de benzila e 2-fenetila. As diferenças observadas nos perfis de isotiocianatos entre os grupos de mostardas demonstram a influência das matrizes na ocorrência desses compostos. Contudo, observa-se que esses perfis nem sempre foram exclusivos de cada grupo.

Os resultados reforçam o potencial das tortas de mostarda e dos hidrolatos, considerados subprodutos, como fontes de compostos bioativos, além do uso da técnica HS-SPME associada à CG-EM na investigação de compostos voláteis nas matrizes de mostarda para a caracterização e diferenciação desses produtos.

REFERÊNCIAS

ABDEL-MASSIH, R. M. *et al.* Glucosinolates, a natural chemical arsenal: More to tell than the myrosinase story. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1-15, 2023.

AĆIMOVIĆ, M. G. *et al.* Hydrolates – By-products of essential oil distillation: Chemical composition, biological activity and potential uses. **Advanced Technologies**, v. 9, n. 2, p. 54-70, 2020.

AEPPLI, C. *et al.* Simultaneous quantification of polar and non-polar volatile organic compounds in water samples by direct aqueous injection-gas chromatography/mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1181, p. 116-124, 2008.

ALMUSHAYTI, A. Y. *et al.* Current analytical methods for determination of glucosinolates in vegetables and human tissues. **Journal of Chromatography A**, v. 163, p. 1-16, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967321001849#bib0051. Acesso em: 24 jul. 2025.

AL-QUDAH, M. A. *et al.* Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oil from *Sinapis alba L*. and *Sinapis arvensis L*. (*Brassicaceae*) growing wild in Jordan. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v. 2, n. 4, p. 1136-1144, 2011.

ANGELINO, D. *et al.* Myrosinase-dependent and –independent formation and control of isothiocyanate products of glucosinolate hydrolysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1-6, 2015. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2015.00831/full. Acesso em: 25 out. 2025.

APOLÔNIO, B. M. *et al.* O potencial terapêutico do hidrolato de plantas medicinais nos tratamentos estéticos. **Peer Review**, v. 5, n. 24, p. 217-232, 2023.

ARORA, R. *et al.* 3-Butenyl isothiocyanate: a hydrolytic product of glucosinolate as a potential cytotoxic agent against human cancer cell lines. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 9, p. 3437–3445, 2016.

ASHOKKUMAR, K. *et al.* GC/MS analysis of essential oil composition from selected seed spices. **National Academy Science Letters**, v. 44, n. 6, p. 503-506, 2021.
3
BAHMID, N. A.; HEISING, J.; DEKKER, M. Multiresponse kinetic modelling of the formation, release, and degradation of allyl isothiocyanate from ground mustard seeds to improve active packaging. **Journal of Food Engineering**, v. 292, 2021.

BERNARDI, R. *et al.* Isolation of the epithiospecifier protein from oil-rape (*Brassica napus ssp. oleifera*) seed and its characterization. **FEBS Letters**, v. 467, p. 296-298, 2000.

BIZZO, H. R.; REZENDE, C. M. O mercado de óleos essenciais no Brasil e no mundo na última década. **Química Nova**, v. 45, n. 8, p. 949-958, 2022.

BLAŽEVIĆ, I. *et al*. Glucosinolate structural diversity, identification, chemical synthesis and metabolism in plants. **Phytochemistry**, v. 169, n. 6, p. 1-57, 2020.

BONES, A. M.; ROSSITER, J. T. The enzymic and chemically induced decomposition of glucosinolates. **Phytochemistry**, v. 67, p. 1053-1067, 2006.

BOTELHO, F. Mostarda-negra *Brassica nigra* Crucífera ou Brassicaceae**. Portal do Jardim**, 2013. Disponível em: https://www.portaldojardim.com/pdj/2013/10/23/mostarda-negra-brassica-nigra-crucifera-ou-brassicacea/. Acesso em: 29 jul. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 727, de 1º de julho de 2022.** Dispõe sobre a rotulagem dos alimentos embalados. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 6 jul. 2022. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-727-de-1-de-julho-de-2022-413249279. Acesso em: 30 jul. 2026.

CARDEAL, J. S. Hidrodestilação de óleos essenciais: modelagem matemática e composição química. **Repositório Institucional PUCRS**, 2024. Disponível em: https://hdl.handle.net/10923/27015. Acesso em: 23 jul. 2025.

COOLS, K.; TERRY, L. A. The effect of processing on the glucosinolate profile in mustard seed. **Food Chemistry**, v. 252, n. 3, p. 343-348, 2018.

DAI, R.; LIM, L. T. Release of allyl isothiocyanate from mustard seed meal powder entrapped in electrospun PLA-PEO nonwovens. **Food Research International**, v. 77, p. 467–475, 2015.

D'ARCE, M. A. B. R. O processamento industrial do óleo vegetal e do farelo. **Food Visão Agrícola**, v. 1, n. 5, p. 140–141, 2006.

DAS, G. *et al.* Glucosinolates and omega-3 fatty acids from mustard seeds: phytochemistry and pharmacology. **Plants**, v. 11, n. 17, p. 1-22, 2022.

EIB, S. *et al*. Relationship between mustard pungency and allyl-isothiocyanate content: A comparison of sensory and chemical evaluations. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 9, p. 2728-2736, 2020.

ESCHILIMAN, K.; BOSSMANN, S. H. T. Synthesis of Isothiocyanates: An Update. **Synthesis**, v.51, n. 8, p. 1746–1752, 2019. Disponível em: https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/html/10.1055/s-0037-1612303. Acesso em: 01 ago. 2025.

EUROPEAN UNION. Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers. **Official Journal of the European Union**: L 304, p. 18-63, 25 Out. 2011. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1169. Acesso em: 30 jul. 2026.

EZZAT, M. *et al*. Nutritional sources and anticancer potential of phenethyl isothiocyanate. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 68, p. 2400063-2400088, 2024.

FABRO, N. Mostarda Dijon: conheça sua origem e 10 dicas de receitas. **Revista Casa e Jardim**, 2021. Disponível em: https://revistacasaejardim.globo.com/Casa-e-Comida/Receitas/noticia/2021/02/mostarda-dijon-conheca-sua-origem-e-10-dicas-de-receitas.html. Acesso em: 25 jan. 2026.

FELTES, G. **Estudo de diferentes técnicas de extração para isotiocianato de benzila das sementes de mamão (*Carica papaya linn*) do grupo formosa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2021.

FENG, Y. *et al*. Approaches of aroma extraction dilution analysis (AEDA) for headspace solid phase microextraction and gas chromatography–olfactometry (HS-SPME–GC–O): Altering sample amount, diluting the sample or adjusting split ratio?. **Food Chemistry**, v. 187, n. 1, p. 44-52, 2015.

FIPKE, M. V.; VIDAL, R. A. Non-proteinogenic amino acids potential use as allelochemicals. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 256–262, 2016.

Flor planta mostarda amarela. Pixabay, 2023. Disponível em: https://pixabay.com/pt/photos/flor-planta-mostarda-amarela-7735603/. Acesso em: 29 jul. 2025.

FRANCEZON, N.; STEVANOVIC, T. Chemical composition of essential oil and hydrosol from *Picea mariana* Bark Residue. **BioResources**, v. 12, n. 2, p. 2635-2645, 2017.

FRANDSEN, H. B. *et al*. Effects of Novel Processing Techniques on Glucosinolates and Membrane Associated Myrosinases in Broccoli. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 64, n. 1, p. 17–25, 2014.

GARCÍA, Y. M. *et al*. Extração e análise de compostos orgânicos voláteis por SPME-HS e GC-MS – um breve referencial teórico. *In:* MELO, J. O. F. (org.). **Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil**. 1 ed. Guarujá: Científica Digital, 2021. Cap. 4, p. 68-83. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/56519. Acesso em: 16 ago. 2025.

GARIBAY, B. M.; PALOU, E.; MALO, A. L. P. Composition, diffusion, and antifungal activity of black mustard (*Brassica nigra*) essential oil when applied by direct addition or vapor phase contact. **Journal of Food Protection**, v. 78, n. 4, p. 843-848, 2015.

GARIBAY, B. M. *et al.* Características físicas y antioxidantes de semillas y productos de mostaza negra (*Brassica nigra*) y amarilla (*Brassica alba*). **Archivos latinoamericanos de nutrición**, v. 65, n. 2, p. 128-135, 2017.

GÖK, V.; ÇAGLAR, M. Y.; TOMAR, O. Comparison of chemical properties, antioxidant capacity, and phenolic acids of autoclaved and unautoclaved ground mustard seeds. **Food Science and Technology,** v. 40, n. 2, p. 513–518, 2021.

GOVERNMENT OF CANADA. **Mustard: a priority food allergen**. Ottawa: Government of Canada, 2024. Disponível em: https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/reports-publications/food-safety/mustard-priority-food-allergen.html. Acesso em: 30 jul. 2026.

GRYGIER, A. Mustard seeds as a bioactive component of food. **Food Reviews International**, v. 39, n. 7, p. 4088–4101, 2023.

GUIMARÃES, L. G. L. *et al*. Atividades antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 464-472, 2011.

GUPTA, P. *et al*. Phenethyl Isothiocyanate: A comprehensive review of anticancer mechanisms. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1846, n. 2, p. 405–424, 2014.

HASIB, Z. M. *et al*. Bio-diesel from mustard oil: a renewable alternative fuel for small diesel engines. **Modern Mechanical Engineering**, v. 1, n. 2, p. 77-83, 2011.

HONG, E.; KIM, G. H. GC-MS Analysis of the extracts from korean cabbage (*Brassica campestris L. ssp. pekinensis*) and its seed. **Preventive Nutrition and Food Science,** v. 18, n. 3, p. 218-221, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção de mostarda**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/mostarda/br. Acesso em: 7 ago. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9235:** Aromatic natural raw materials — Vocabulary. Genebra, 2021.

JAKUBCZYK, K.; TUCHOWSCA, A.; MILCZAREK, K. J. Plant hydrolates – Antioxidant properties, chemical composition and potential applications. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 142, p. 1–7, 2021.

JIANG, Z. T.; LI, R.; ZUO, Y. M. Composition of essential oil of *Brassica juncea* (L.) Coss. from China. **Journal of Essential Oil Research**, v. 11, n. 4, p. 503-506, 1999.

KALUA, C. M.; BOSS, P. K. Sample preparation optimization in wine and grapes Dilution and sample/ headspace volume equilibrium theory for headspace solid-phase microextraction. J**ournal of Chromatography A**, v. 1192, p. 25-35, 2008.

KARANIKOLOPOULOU, S. *et al*. Current Methods for the Extraction and Analysis of Isothiocyanates and Indoles in Cruciferous Vegetables. **Analytica**, v. 2, p. 93–120, 2021.

KATEKAR, V. P.; RAO, A. B.; SARDESHPANDE, V. R. A hydrodistillation-based essential oils extraction: A quest for the most effective and cleaner technology. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 36, p. 1-35, 2023.

KAYAÇETİN, F.; ÇINAR, O.; VURAN, F. A. Crude and essential oil content composition of indigenous turkish black and brown mustard seeds. **ISPEC - Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 4, p. 1245-1255, 2025.

KO, J. A.; KIM, W. Y.; PARK, H. J. Effects of microencapsulated Allyl isothiocyanate (AITC) on the extension of the shelf-life of Kimchi. **International Journal of Food Microbiology**, v. 153, n. 2, p. 92–98, 2012.

KOWALSKA, B. *et al*. The potential of volatiles from *Brassica juncea* seeds against grey mould agent *Botrytis cinerea* and their effect on storage and sensory quality of spinach leaves. **Plant Protection Science**, v. 61, n. 1, p. 66–76, 2025.

KRAMER, B.; WUNDERLICH, J.; MURANYI, P. Impact of volatile allyl isothiocyanate on fresh produce. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 220–224, 2018.

KREMR, D. *et al*. Using headspace solid-phase microextraction for comparison of volatile sulphur compounds of fresh plants belonging to families *Alliaceae* and *Brassicaceae*. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 9, p. 5727–5735, 2015.

KUMAR, G. A. *et al*. Mustard cake as a source of dietary protein for growing lambs. **Small Ruminant Research**, v. 44, n. 1, p. 47–51, 2002.

KYRIAKOU, S. *et al*. Assessment of Methodological Pipelines for the Determination of Isothiocyanates Derived from Natural Sources. **Antioxidants**, v. 11, p. 1-38, 2022.

LAMY, E. *et al*. Isothiocyanate-containing mustard protects human cells against genotoxins in vitro and *in vivo*. **Mutation Research**, v. 726, p. 146–150, 2011.

LASHKARI, E. *et al.* Innovative application of metal-organic frameworks for encapsulation and controlled release of allyl isothiocyanate. **Food Chemistry**, v. 221, p. 926–935, 2017.

LEVASSEUR, M. *et al.* Composition of antifungal volatile organic compounds in Sextonia rubra fruit by molecular networks. **Comptes Rendus Chimie**, v. 26, n. 2, p. 97-109, 2023.

LIANG, M. *et al.* Comparative analysis of volatile flavor compounds in seven mustard pastes via HS-SPME–GC–MS. **Molecules**, v. 244, p. 5-11, 2023.

LIETZOW, J. Biologically Active Compounds in Mustard Seeds: a Toxicological Perspective. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 2089, 2021.

LIMA, F. B. *et al*. Determinação da atividade antioxidante do hidrolato de canela. In: Reunião Anual da SBPC, 76., 2024, Belém. Anais eletrônicos da 76ª Reunião Anual da SBPC. Belém: SBPC, 2024. Disponível em:

https://reunioes.sbpcnet.org.br/76RA/inscritos/resumos/2750_18d779a7b207445b3f1e204be177e91ea.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

LIU, J. *et al.* Synergistic effects of benzyl isothiocyanate and resveratrol against Listeria monocytogenes and their application in chicken meat preservation. **Chemosphere**, v. 244, p. 1-8, 2020.

LODI, F. G. Essenciais, Vegetais e Essências Sintéticas. **Unicesumar,** 2019. Disponível em: https://www.unicesumar.edu.br/wp-content1/uploads/degustacao/ebook/ebook-material-didatico-terapias-integrativas-e-complementares.pdf. Acesso em: 24 jun. 2025.

LUNA, E. C. **Óleos essenciais e seus componentes bioativos para uso frente à doenças negligenciadas e arbovirose: uma revisão.** Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.

MACHADO, C. C. **Estudo e desenvolvimento de mostarda à l'ancienne.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MADALENA, L. C. S. *et al.* Uma revisão sobre a mostarda (*Brassica spp*.) e seu possível uso como alternativa para produção de biodiesel. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 23-34, 2017.

MARCINKOWSKA, M.; JELEŃ, H. H. Determination of the odor threshold concentrations and partition coefficients of isothiocyanates from Brassica vegetables in aqueous solution. **LWT - Food Science and Technology**, v. 131, p. 1-7, 2020.

MARCOLINA, C. **Óleos essenciais: estudo de extração e atividade antimicrobiana.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

MAZUMDER, A.; DWIVEDI, A; PLESSIS, J. D. Sinigrin and Its Therapeutic Benefits. **Molecules**, v. 21, n. 4, p. 1-11, 2016.

MEDEIROS, L. L. B. *et al*. Potencial antibacteriano do hidrolato de *Lippia grata* em cepas planctônicas de *Salmonella entérica.* **ACSA**, v. 20, n. 1, p. 66-68, 2024.

MENEZES FILHO, A. C. P.; SOUSA, W. C.; CASTRO, C. F. S. Caracterização química e atividades antioxidante e antifúngica do óleo essencial das flores de *[Cochlospermum regium* (*Mart. ex Schrank*.) *Pilger*] (*Bixaceae*). **Revista Princípia**, n. 52, p. 80–91, 2020.

MILANI, A. M. *et al.* Comparison of the chemical compositions and antibacterial activities of two iranian mustard essential oils and use of these oils in turkey meats as preservatives. **Applied Food Biotechnology**, v. 6, n. 4, p. 225-236, 2019.

MITROVIĆ, P. M. *et al.* White Mustard (*Sinapis alba L*.) Oil in Biodiesel Production: A Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1-22, 2020. Disponível em:

https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.00299/full. Acesso em: 25 jun. 2025.

MOHAMAD, N. *et al*. Comparison of hydro-distillation, hydro-distillation with enzyme-assisted and supercritical fluid for the extraction of essential oil from pineapple peels (*Bixaceae*). **Biotech**, v. 9, n. 6, p. 1–9, 2019.

MOSTARDA-marrom. Picture This, 2022. Disponível em: https://www.picturethisai.com/pt/wiki/Brassica_juncea.html. Acesso em: 29 jul. 2025.

MOSTARDA moída 100 gramas. Emporio Manjericão, 2024. Disponível em: https://www.loja.emporiomanjericao.com.br/temperos-html/mostarda-moida-100-gramas. Acesso em: 22 jan. 2026.

MOSTARDA Preta em Grãos - Granel. Don Grano, 2023. Disponível em: https://www.dongrano.com.br/mostarda-preta-em-graos-granel. Acesso em: 8 jan. 2026.

MOURA, G. S. *et al*. Atividade antimicrobiana e indutora de fitoalexinas do hidrolato de carqueja [*Baccharis trimera (Less.) DC*.]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 2, p. 309-315, 2014.

MUSTARD Market: industry analysis and opportunity assessment. Fact.MR, 2025. Disponível em: https://www.factmr.com/report/mustard-market. Acesso em: 17 mar. 2026.

MUSTARD Oil Processing: From Seed to Bottle. Nayesha Mills, 2023. Disponível em: https://nayeshamills.com/blogs/news/mustard-oil-processing-from-seed-to-bottle. Acesso em: 29 jul. 2025.

MUSTARD Production Manual. Saskatchewan Mustard Development Commission, 2025. Disponível em: https://saskmustard.com/production-manual/. Acesso em: 29 jul. 2025.

NAZARETH, T. DE M. *et al.* Antifungal and antimycotoxigenic activity of allyl isothiocyanate on barley under different storage conditions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 112, p. 1-7, 2019.

OLIVEIRA, L. E. S. A. *et al*. Extração do isotiocianato de benzila (BITC) no ensino de química por meio da atividade experimental problematizada (AEP): possibilidade de reaproveitamento das sementes do mamão. **Química Nova**, v. 48, n. 4, p. 1-9, 2025.

OLUKAYODE, A. O. *et al*. Thermal and pressure stability of myrosinase enzymes from black mustard (Brassica nigra L. W.D.J. Koch. var. nigra), brown mustard (Brassica juncea L. Czern. var. juncea) and yellow mustard (Sinapsis alba L. subsp. maire) seeds. **Food Chemistry**, v. 187, p. 485-490, 2015.

OREOPOULOU, A.; TSIMOGIANNIS, D.; OREOPOULOU, V. Extraction of Polyphenols From Aromatic and Medicinal Plants: An Overview of the Methods and the Effect of Extraction Parameters. *In:* WATSON, R. R (org.). **Polyphenols in**

Plants: Isolation, Purification and Extract Preparation. 2. ed. Arizona: Academic Press, cap. 15, p. 243-259, 2019.

ORTNER, E.; GRANVOGL, M.; SCHIEBERLE, P. Elucidation of thermally induced changes in key odorants of white mustard seeds (*Sinapis alba L*.) and rapeseeds (*Brassica napus L*.) using molecular sensory science. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 8179-8190, 2016.

OTTONELLI, L. G. P. **O processo de produção de óleo de soja: da semente ao produto final.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

PARREIRA, F. V.; CARDEAL, Z. L. Amostragem de compostos orgânicos voláteis no ar utilizando a técnica de microextração em fase sólida. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 646-654, 2005.

PENG, C. *et al.* Chemical composition, antimicrobial property and microencapsulation of Mustard (*Sinapis alba*) seed essential oil by complex coacervation. **Food Chemistry**, v. 165, p. 560–568, 2014.

RAHMAN, M. *et al*. Brassicaceae Mustards: Phytochemical Constituents, Pharmacological Effects, and Mechanisms of Action against Human Disease. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 16, p. 1-46, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/1422-0067/25/16/9039. Acesso em: 13 ago. 2025.

RATZA, A. *et al.* Disarming the mustard oil bomb. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, n. 17, p. 11223–11228, 2002.

REIS, T. C. *et al*. Avaliação do potencial antibacteriano e antifúngico do hidrolato orgânico e do óleo essencial orgânico de *Lavandula dentata L.* (*Lamiaceae*). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. 1-7, 2022. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36076. Acesso em: 17 out. 2025.

SAIKIA, D. **Brown Mustard Seed (Close)**. Wikimedia Commons, 2015. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ABrown_Mustard_Seed_%28Close%29.jpg. Acesso em: 1 fev. 2026.

SALMAN, I. A. *et al.* Effect of *Brassica nigra* seeds extract against hepatocellular proliferation induced by phenobarbital as tumor promoter agent. **Archivos Venezolanos de Farmacologia y Terapeutica**, v. 41, n. 7, p. 491-499, 2022.

SHARMA, A. *et al*. Isothiocyanates in Brassica: Potential Anti Cancer Agents. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, v. 17, p. 4507–4510, 2016.

SHARMA, A.; RAI, P. K.; PRASAD, S. GC–MS detection and determination of major volatile compounds in *Brassica juncea L*. leaves and seeds. **Microchemical Journal**, v. 138, p. 488–493, 2018.

SHEN, Q. *et al*. Characterization of volatile compounds in pickled and dried mustard (*Brassica juncea*, Coss.) using optimal HS-SPME-GC-MS. **CYTA – Journal of Food**, v. 16, n. 1, p. 331-339, 2018.

SINGH, A. S.; SINGH, V. K. Chemical and pharmacological activities of rape seed mustard *Brassica nigra* (black mustard): a magic herb. **Asian Journal of Biological Sciences**, v. 18, n. 1, p. 43-54, 2025.

SINGH, S. *et al.* Comparison of chemical composition, antioxidant and antimicrobial potentials of essential oils and oleoresins obtained from seeds of *Brassica juncea* and *Sinapis alba*. **MOJ Food Process Technology**, v. 4, n. 4, p. 113-120, 2017.

ŚMIGIELSKI, K. B. *et al.* Comparison of qualitative and quantitative chemical composition of hydrolate and essential oils of lavender (*Lavandula angustifolia*). **The Journal of Essential Oil Research**, v. 15, n. 4, p. 291-299, 2013.

SOFRATA, A. *et al.* Benzyl isothiocyanate, a major component from the roots of salvadora persica is highly active against gramnegative bacteria. **Plos One**, v. 6, n. 8, p. 1-10, 2011.

SOUIY, Z. Essential Oil Extraction Process. *In:* VISKELIS, J (org). **Essential Oils - Recent Advances, New Perspectives and Applications.** IntechOpen, 2024, cap. 8. Disponível em: https://www.intechopen.com/chapters/88433. Acesso em: 20 jun. 2025.

SOUSA, D. P. *et al.* Essential Oils: Chemistry and Pharmacological Activities. **Biomolecules**, v. 13, n. 7, p. 1144-1173, 2023.

SOUZA, K. S. *et al.* Atividade biológica de extratos, hidrolatos e óleos voláteis de pau-rosa (*Aniba duckei Kostermans*) e quantificação do linalol no hidrolato de folhas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 9, n. 2, p. 1-7, 2007.

STEFFENS, A. H. **Estudo da composição química dos óleos essenciais obtidos por destilação por arraste a vapor em escala laboratorial e industrial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SWATI, S. S.; DAS, M. A brief overview: Present status on utilization of mustard oil and cake. **Indian Journal of Tradicional Knowledge**, v. 14, n. 2, p. 244-250, 2015.

TARAR, A. *et al.* Anticancer Activity, Mechanism, and Delivery of Allyl Isothiocyanate. **Bioengineering**, v. 09, p. 470–490, 2022.

TAVARES, C. S. *et al.* Hydrolates: a review on their volatile composition, biological properties and potential uses. **Phytochemistry Reviews**, v. 21, p. 1661–1737, 2022.

TAVEIRA, M. *et al*. Evolution of Brassica rapa var. rapa L. volatile composition by HS-SPME and GC/IT-MS. **Microchemical Journal**, v. 93, p. 140–146, 2009.

THOMAS, J.; KURUVILLA, K. M.; HRIDEEK, T. K. Mustard. *In:* PETER, K. V. (org). **Handbook of herbs and spices.** CRC Press, 2004, cap. 12.

TIAN, Y.; DENG, F. Phytochemistry and biological activity of mustard (*Brassica juncea*): a review. **CyTA - Journal of Food**, v. 18, p. 704–718, 2020.

TORRIJOS, R. *et al*. Phytochemical profiling of volatile and bioactive compounds in yellow mustard (*Sinapis alba*) and oriental mustard (*Brassica juncea*) seed flour and bran. **LWT - Food Science and Technology**, v. 173, p. 114221–114233, 2023.

TRACZ, B. L. **Ação do isotiocianato de alila sobre fungos micotoxigênicos e deteriorantes de alimentos**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, São José dos Pinhais, 2015.

TRANSPARENTE isolado fundo. Pixabay, 2024. Disponível em: https://pixabay.com/pt/illustrations/transparente-isolado-fundo-8864298/. Acesso em: 8 jan. 2026.

VALÉRIO, S. H.; JOÃO, S. **Glucosinolatos: Estrutura química, mecanismo de ativação enzimática e atividade biológica**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química) - Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2017.

WADE, A. H. *et al.* Yellow and oriental mustard seed lecithin content and composition.
Journal of Food Composition and Analysis, v. 98, p. 103819-103823, 2021.

WANDERLEY, K. A.; JÚNIOR, S. A.; SANTOS, C. O. P. Síntese hidrotermal assistida por micro-ondas como metodologia sintética eficiente para obtenção da rede metalorgânica $[Zn(BDC)(H_2O)2]_n$. **Química Nova**, v. 34, n. 3, p. 434-438, 2011.

WHICH Country Produces the Most Mustard Seeds?. Helgi Library, 2024. Disponível em: https://www.helgilibrary.com/charts/which-country-produces-the-most-mustard-seeds-22/. Acesso em: 07 ago. 2025.

WIECZOREK, M. N.; JELEŃ, H. H. Volatile Compounds of Selected Raw and Cooked Brassica Vegetables. **Molecules**, v. 24, n. 3, p. 1-12, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **In brief: risk assessment of food allergens: priority food allergens**. Geneva: World Health Organization, 2024. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/B09010. Acesso em: 03 ago. 2026.

WU, H. *et al*. Functional Chitosan-Based Composite Film Incorporated with 3-(Methylthio) Propyl Isothiocyanate/α-Cyclodextrin Inclusion Complex for Chicken Meat Preservation. **Polymers**, v. 14, p. 1-16, 2022.

XIAO, J. *et al.* PEITC inhibits the invasion and migration of colorectal cancer cells by blocking TGF-β-induced EMT. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 130, p. 1-8, 2020.

YADAV, K.; DHANKHAR, J.; KUNDU, P. Isothiocyanates – a review of their health benefits and potential food applications. **LWT - Food Science and Technology**, v. 10, n. 2, p. 476-502, 2022.

YI, W. *et al.* Benzyl isothiocyanate improves the prognosis of Aspergillus fumigatus keratitis by reducing fungal load and inhibiting Mincle signal pathway. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1-13, 2023.

YU, J. C*. et al*. Chemical composition of the essential oils of *Brassica juncea* (l.) Coss. Grown in different regions, hebei, shaanxi and shandong, of China. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 11, n. 1, p. 22-26, 2003.

ZHANG, B. *et al.* Extraction and identification of isothiocyanates from Broccolini seeds. **Natural Product Communications**, v. 6, n. 1, p. 65-66, 2011.

ZHONG, Y*. et al*. Comparative Analysis of Volatile Compounds from Four Radish Microgreen Cultivars Based on Ultrasonic Cell Disruption and HS-SPME/GC–MS. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, p. 1-14, 2023.