

EFEITO DO ULTRASSOM E DA TEMPERATURA NO RENDIMENTO DE EXTRAÇÃO E NA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO GENGIBRE (*ZINGIBER OFFICINALE*)

Effect Of Ultrasound And Temperature On Extraction Performance And on Ginger (*Zingiber officinale*) Antioxidant Activity

Andressa Franco Denti^{1*}; Jaqueline Bertuol Vanz¹; Cristiana Schenkel¹; Bruna Maria Saorin Puton¹; Julia Lisboa Bernardi¹; Sabrina Fatima Krzysczak Gonçalves¹; Rogério Luis Cansian¹; Natalia Paroul¹

¹Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Erechim, RS, Brasil

*E-mail: andressa.franco98@hotmail.com

Data do recebimento: 23/08/2022 - Data do aceite: 29/03/2023

RESUMO: O consumo de alimentos com propriedades antioxidantes desempenha um papel importante para a saúde. A principal função deles é a eliminação de radicais livres, produzidos pelas espécies reativas de oxigênio. Na indústria de alimentos, os extratos de plantas ricas em compostos fenólicos podem ser usados como aditivos nutracêuticos ou conservantes naturais para aumentar a vida de prateleira dos alimentos industrializados. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito das variáveis independentes que influenciam na extração dos compostos bioativos do gengibre (*Zingiber officinale*) e avaliar sua atividade antioxidante e antimicrobiana. Para isso, foi realizado um planejamento experimental: Delineamento de Composto Central Rotacional (DCCR) 2², verificando o efeito da potência do ultrassom (%) e da temperatura (°C) no rendimento e na atividade antioxidante dos extratos. Também, foi avaliado o teor de compostos fenólicos totais e a atividade antibacteriana do extrato obtido na melhor condição. A condição que levou à maior atividade antioxidante foi a temperatura 45 °C, a potência de ultrassom

50% durante 1 hora de extração com etanol absoluto. O teor de compostos fenólicos totais foi de $7,07 \pm 0,44$ mgEAG/g e a atividade antioxidante expressa em termos de IC_{50} variou de 0,19 mg/mL para o método de DPPH, e 0,98 mg/mL para o método ABTS. A atividade antimicrobiana foi testada contra as bactérias *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes*. Nela, foram obtidas concentrações inibitórias mínimas de 1,56, 3,13, 1,56 e 0,39 mg/mL, respectivamente.

Palavras-chave: Gengibre. Extração. Compostos Bioativos. Planejamento Experimental.

ABSTRACT: Consumption of food with antioxidant properties plays an important role for health. Their main function is the elimination of free radicals produced by reactive oxygen species. In the food industry, plant extracts rich in phenolic compounds can be used as nutraceutical additives or natural preservatives to increase the shelf life of processed foods. Thus, the aim of the present study was to evaluate the effect of independent variables that influence the extraction of bioactive compounds from ginger (*Zingiber officinale*) and to evaluate their antioxidant and antimicrobial activities. For this, an experimental design was carried out in a Central Compound Rotational Design (CCRD)², verifying the effect of ultrasound power (%) and temperature (°C) on the yield and antioxidant activity of the extracts. The content of total phenolic compounds and the antibacterial activity of the extract obtained in the best condition were also evaluated. The condition that led to the highest antioxidant activity was temperature 45°C, ultrasound power 50% during 1 hour of extraction with absolute ethanol. The total phenolic compounds content was 7.07 ± 0.44 mgEAG/g and the antioxidant activity expressed in terms of IC_{50} ranged from 0.19 mg/mL for the DPPH method and 0.98 mg/mL for the ABTS method. Antimicrobial activity was tested against *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* bacteria, in which the minimum inhibitory concentration of 1.56, 3.13, 1.56 and 0.39 mg/mL were obtained, respectively.

Keywords: Antioxidant Activity. Ginger. Extraction. Bioactive compounds. Experimental Design.

Introdução

O consumo de alimentos e plantas com atividade antioxidante pode prevenir ou diminuir a oxidação de biomoléculas celulares por meio da eliminação dos radicais livres produzidos naturalmente pelo metabolismo

(ÖZTAŞKIN et al., 2015). Os compostos antioxidantes possuem a capacidade de proteger os seres vivos dos radicais livres e das espécies reativas de oxigênio (ROS) (BAE et al., 2016). Na indústria de alimentos, os compostos antioxidantes também possuem alto interesse, sendo utilizados na preservação dos produtos contra a oxidação, aumentando a vida útil e retardando a peroxidação lipídica

durante o armazenamento. A capacidade antioxidante geralmente está relacionada com os compostos bioativos, principalmente os polifenóis, presentes na planta (TOHMA et al., 2015; TOHMA et al., 2017).

O gengibre (*Zingiber officinale*), pertencente à família Zingiberaceae, nativa da Ásia, é uma erva perene e fonte de compostos com atividade biológica, como óleos essenciais, polissacarídeos e alcenos, sendo muito empregada na medicina oriental (WANG et al., 2019; WANG et al., 2022). É cultivado em países de clima tropical e subtropical, sendo a Índia, a China, o Nepal, a Indonésia e a Nigéria os maiores produtores mundiais de gengibre, respectivamente (MEDEIROS, 2017).

Sua composição apresenta de 3 a 6% de óleos, cerca de 9% de proteína, 60 a 70% de carboidratos, 9 a 12% de água, 2 a 3% de óleo essencial e 3 a 8% de fibras, e varia de acordo com a espécie, com as condições de plantio, com as características do solo, com o tempo de colheita e com o armazenamento (KIYAMA, 2020).

Os compostos bioativos de plantas podem ser extraídos e adicionados em diversos alimentos, visando a aumentar a qualidade alimentar e a estender o tempo de prateleira dos produtos (DALSASSO et al., 2022; KLANGMUANG e SOTHORNVIT, 2018; LI et al., 2022; SHUKLA et al., 2020). Compostos antioxidantes podem se ligar a radicais livres formando moléculas estáveis e combatendo cadeias de oxidação; agindo assim de forma preventiva, por sua capacidade de decomposição de peróxidos ou captura de moléculas de oxigênio. O gengibre é amplamente empregado em infusões devido às suas propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes, resultantes dos compostos fenólicos encontrados na planta (HERINGER et al., 2021; SILVA et al., 2018; VELLOSA et al., 2021).

Pode-se realizar a extração dos compostos bioativos de plantas secas a partir de diferentes técnicas de separação, como extração com fluido supercrítico, enzimática, ultrasônica e empregando solventes orgânicos como metanol, etanol, acetona e hexano com processos de maceração, hidrodestilação e lixiviação. Entretanto, de acordo com a técnica utilizada, podem ser deixados resíduos tóxicos na amostra, ou ocorrer a degradação dos compostos de interesse (YULIANTO et al., 2022).

A técnica de ultrassom consiste na formação de uma onda mecânica que se propaga por meio de líquidos, gases e sólidos, podendo ser empregada na extração de compostos orgânicos de diversas matérias primas. Metodologias de extração com ultrassom são vantajosas, uma vez que se aumenta a transferência de massa durante o processo de cavitação, contribuindo para a maior captação dos compostos bioativos (FERNANDES et al., 2020; LÓPEZ et al., 2018; MADALÃO et al., 2021).

É importante salientar que compostos bioativos, como os compostos fenólicos, podem ser instáveis em relação à temperatura. Logo, processos de secagem, pré-tratamento ou extração, empregando altas temperaturas, podem degradar o princípio ativo da planta e comprometer as moléculas que possuem atividade biológica e antioxidante (SCHAFRANSKI et al., 2019).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito das variáveis: potência de ultrassom e temperatura no rendimento de extração e na atividade antioxidante, pelo método 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) dos extratos de gengibre (*Z. officinale*), para posterior análise antioxidante pela metodologia de 2,2-azino-bis (3-ácido etilbenzotiazolona-6-sulfônico) (ABTS), antibacteriana e do teor de compostos fenólicos presentes na planta.

Material e Métodos

Material vegetal

A amostra de gengibre *in natura* foi adquirida em comércio local (Erechim, RS), cortada em fatias e desidratada por 36 horas à temperatura ambiente (25°C), em local escuro e ventilado, até atingir peso constante. Em seguida, foi triturada em liquidificador e armazenada sob refrigeração ao abrigo da luz.

Extração

Os extratos foram preparados usando como solvente Etanol 99% (Merk®). Para tanto, foram realizados 11 ensaios, empregando 5,0 gramas de amostra de gengibre e 50 mL de solvente, adicionados em erlenmeyer. Os frascos foram mantidos em ultrassom pelo período de 60 minutos, com variações na temperatura e na potência do ultrassom, de acordo com as condições apresentadas na Tabela 1. Posteriormente, os extratos obtidos foram concentrados em evaporador rotativo (Marconi, MA120), na temperatura de 60 °C, e pesados para a obtenção do rendimento. Em seguida, os extratos foram ressuspensos em etanol, na concentração de 50 mg/mL, para as análises de atividade antioxidante,

pelos métodos de DPPH e ABTS, e análise de compostos fenólicos, e etanol (100 mg/mL) para a análise antibacteriana.

Delineamento estatístico

Para maximizar a extração, foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2². Foram avaliados os efeitos da potência de ultrassom (Unique, 40 khz, potência máxima do equipamento, 132W) e temperatura no rendimento de extração e na atividade antioxidante dos extratos de gengibre. A Tabela I apresenta os níveis das variáveis independentes de estudo.

Para análise dos resultados, utilizou-se o *software* STATISTICA 5.0; realizou-se também o teste estatístico de Fisher, com aplicação da Análise de Variância, para determinar a significância entre as amostras, com confiança de 95%, empregando o erro puro.

Atividade antioxidante pelo método de DPPH

A análise antioxidante foi realizada em aparelho espectrofotômetro UV Visível (Pró-Análise, UV-1600), a partir da medida da extinção da absorvância do radical 2,2-difenil-1-picril hirazil (DPPH[•]) (Sigma-aldrich),

Tabela I - Fatores e níveis testados para o Delineamento Composto Central Rotacional com pontos axiais para a avaliação da atividade antioxidante do extrato de gengibre

| Variáveis independentes | Ponto axial inferior (-1,41) | Nível inferior (-1) | Nível intermediário (0)* | Nível superior (+1) | Ponto axial superior (+1,41) |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------|
| Potência de ultrassom (%)** | 10,00 | 21,63 | 50,00 | 78,37 | 90,00 |
| Temperatura (°C) | 30,90 | 35,00 | 45,00 | 55,00 | 59,10 |

*Triplicata do ponto central.

** Com base na potência máxima do equipamento.

avaliada em 515 nm (KULISIC et al., 2004). A atividade antioxidante foi expressa como percentual de inibição de DPPH[•] e calculada a partir da Equação 1. Em seguida, foi estimada a concentração de amostra capaz de capturar 50% do radical livre DPPH[•] (IC₅₀), por análise de regressão linear (NEGRI, POSSAMAI e NAKASHIMA, 2009).

$$AA\% = \frac{100 - [(Abs amostra - Abs branco) \times 100]}{Abs controle} \quad (1)$$

Análises nas condições maximizadas do delineamento estatístico

Teor de Compostos Fenólicos Totais

A avaliação do teor de compostos fenólicos totais seguiu a metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965), pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (Dinâmica), utilizando o ácido gálico (Nuclear) como padrão de referência. Em um tubo de ensaio, 0,5 mL de extrato foi misturado com 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu, previamente diluído em água (1:10), e 2,0 mL de carbonato de sódio 4% (m/v) (Synth). Em seguida, a mistura foi agitada e mantida em repouso por 2 h, ao abrigo de luz, a 25 °C. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV-Visível a 740 nm (Pró-Análise, UV-1600). O teor de compostos fenólicos foi expresso em termos de miligramas equivalentes de ácido gálico por grama de extrato (mgEAG/g), calculados por meio de uma curva de calibração, construída empregando soluções padrões de ácido gálico nas concentrações entre 1 e 100 µg/mL (SINGLETON, ORTHOF e LAMUELA-RAVENTÓS, 1999).

Atividade antioxidante pelo método de ABTS

Segundo a metodologia de ABTS (Sigma-aldrich) (RE et al., 1999), as amostras (20

µL) foram misturadas com 2 mL de ABTS^{•+}, mantidas em local escuro por 6 min e analisadas usando um aparelho espectrofotômetro a 734 nm. A variação de absorbância foi medida e sua porcentagem de inibição foi calculada por meio da Equação 1. Para construção da curva padrão, foi empregado o antioxidante sintético Trolox (Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametil-cromano-2-carboxílico), na faixa de concentração de 0,5-2,0 mM/L, em etanol. Os resultados foram expressos em IC₅₀ e como µmol equivalente de Trolox por grama de extrato (µmol TEAC/g extrato), para efeito comparativo em relação a um antioxidante de referência.

Atividade antimicrobiana

Concentração inibitória mínima (CIM)

Para a avaliação da CIM, foi empregado o método indireto de crescimento bacteriano, mediante a densidade ótica em meio de cultura líquido (GAIO et al., 2015), utilizando um leitor automático de microplacas (Bio-Tec Instruments Inc., modelo EL800), com comprimento de onda pré-selecionado de 490 nm. Foram utilizadas bactérias Gram-negativas (*Salmonella enterica* sorovar Choleraesuis - ATCC 10708 e *Escherichia coli* - ATCC 25922) e Gram-positivas (*Staphylococcus aureus* - ATCC 6538 e *Listeria monocytogenes* - ATCC 7644), previamente crescidas em caldo Luria Bertani (LB - 10 g/L triptona, 5 g/L extrato de levedura, 5 g/L NaCl), a 36 °C por 24 h, em estufa bacteriológica (J. Prolab JP 101).

O teste de CIM foi realizado a partir de diluições seriadas em placas de 96 poços, empregando 150 µL de caldo LB e 150 µL de amostra (fração aquosa, etanólica e controle de etanol). Posteriormente, 10 µL de cada cultura de bactéria previamente crescida foi adicionada aos poços. As leituras foram realizadas em 0 h. Por esse período, as placas foram mantidas em estufa a 36°C.

Após o período de incubação, a leitura (24 h) da microplaca foi realizada novamente, averiguando-se a diferença da densidade da turbidez, provocada pelo crescimento microbiano. Assim, a concentração inibitória mínima (CIM) foi a menor concentração, em mg/mL, que inibiu o crescimento microbiano.

Concentração bactericida mínima (CBM)

Para a obtenção da CBM, 10 µL das amostras preparadas anteriormente no ensaio de CIM foram transferidos para uma nova microplaca de 96 poços, com 150 µL de caldo LB. As leituras ocorreram em 0 e após 24 h em estufa (36°C). A concentração bactericida mínima (CBM) foi a menor concentração, em mg/mL, que matou a bactéria.

Resultados e Discussão

A Tabela II apresenta os rendimentos e os resultados de IC₅₀ da atividade antioxidante, obtidos em diferentes condições experimentais.

A Análise preliminar da Tabela II permite verificar que o maior rendimento da extração (~0,3g), mas ao mesmo tempo, a menor atividade antioxidante (IC₅₀ 0,45) foi encontrada no ensaio 8, quando usada a temperatura mais elevada (59,10 °C) e a potência do ultrassom (50%). Esse resultado é esperado, já que as maiores temperaturas influenciam de forma positiva nos rendimentos, em função do aumento da solubilidade de todos os metabólitos presentes na matriz vegetal. Por outro lado, isso não contribui para o aumento da atividade antioxidante, provavelmente pela ausência de atividade antioxidante nesses compostos. Os extratos obtidos nos ensaios do ponto central (9,10 e 11), quando foi usada uma temperatura mais baixa (45 °C) e a mesma potência do ultrassom do ensaio 8, ainda apresentaram bons rendimentos (~0,23 g), e também demonstraram uma atividade antioxidante duas vezes superior (IC₅₀ 0,19) à encontrada no ensaio 8. Além desses extratos, o extrato do ensaio 4, obtido com a maior potência (~78%) e temperatura (55 °C), apresentou respostas semelhantes, quando comparadas com os do ponto central tanto em termos de rendimento (0,26 g) quanto para

Tabela II - Matriz do DCCR 2² valores reais e codificados das variáveis independentes e resposta em rendimento (g) e atividade antioxidante (IC₅₀) do extrato de gengibre

| Ensaio | Potência do ultrassom (%) | Temperatura (°C) | Rendimento (g) | IC ₅₀ (mg/mL) |
|--------|---------------------------|------------------|----------------|--------------------------|
| 1 | -1 (21,63) | -1 (35) | 0,156 | 0,41 |
| 2 | 1 (78,37) | -1 (35) | 0,209 | 0,23 |
| 3 | -1 (21,63) | 1 (55) | 0,176 | 0,37 |
| 4 | 1 (78,37) | 1 (55) | 0,264 | 0,19 |
| 5 | -1,41 (10) | 0 (45) | 0,166 | 0,32 |
| 6 | 1,41 (90) | 0 (45) | 0,210 | 0,42 |
| 7 | 0 (50) | -1,41 (30,90) | 0,167 | 0,30 |
| 8 | 0 (50) | 1,41 (59,10) | 0,302 | 0,45 |
| 9 | 0 (50) | 0 (45) | 0,235 | 0,19 |
| 10 | 0 (50) | 0 (45) | 0,229 | 0,20 |
| 11 | 0 (50) | 0 (45) | 0,238 | 0,17 |

atividade antioxidante (IC_{50} 0,19). Entretanto, considerando o alto preço da energia elétrica e pensando na produção mais sustentável, as condições experimentais do ponto central ainda parecem ser mais atraentes para a extração industrial.

Entre os métodos de extração de compostos antioxidantes, a técnica assistida por ultrassom mostra-se mais eficaz, quando comparada aos métodos convencionais, os quais apresentam algumas limitações, como maiores períodos de operação e maior consumo de solvente, além das altas temperaturas que ocasionam a degradação de compostos termossensíveis. Nesse contexto, o método de ultrassom destaca-se pela sua capacidade de redução de custos energéticos e de reagentes, com altas taxas de rendimento (AGREGAN et al., 2021; YUSOFF et al., 2022).

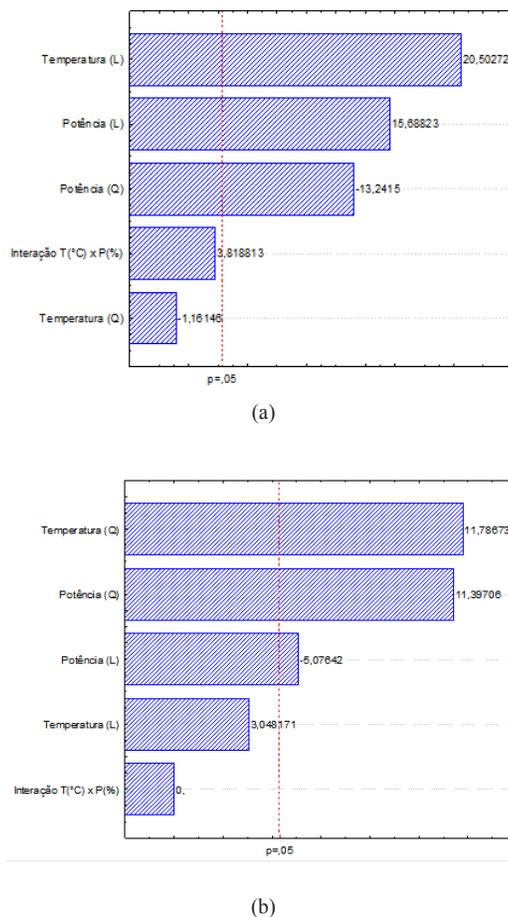
Os resultados dos rendimentos das extrações e atividades antioxidantes, expressos em termos de IC_{50} obtidos no planejamento experimental, foram tratados estatisticamente e os efeitos absolutos das variáveis independentes estão apresentados na forma de Gráfico de Pareto (Figura 1 (a) e (b)).

Tanto a temperatura quanto a potência de ultrassom apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$). Para o rendimento de extração, a temperatura linear, a potência linear (positivamente) e a potência quadrática (negativamente) foram significativas (Figura 1 (a)). Já para a atividade antioxidante, os fatores: temperatura quadrática, potência de ultrassom quadrática (positivamente) e potência de ultrassom linear (negativamente) foram significativos, de acordo com o apresentado na Figura 1 (b).

A análise estatística de variância validou o modelo matemático (Equação 2) somente para as respostas em termos de rendimento da extração (Tabela III).

O coeficiente de correlação R obtido foi 0,92 e F calculado (13,71) foi maior que

Figura 1 - Gráfico de Pareto dos rendimentos da extração (a) e atividade antioxidante (b) dos extratos de gengibre obtidos em diferentes condições reacionais



o F tabelado (4,35), validando um modelo empírico ($p < 0,50$) de obtenção dos extratos de gengibre na faixa investigada.

A Equação 2 apresenta o modelo que descreve as condições maximizadas para rendimento de extração avaliando o efeito dos fatores potência de ultrassom (%) e temperatura (°C).

$$R = 0,230 + 0,025X - 0,025X^2 + 0,033Y \quad (2)$$

Onde: R = Rendimento (g); X = Potência do ultrassom (%); Y = Temperatura (°C).

Tabela III - Análise de variância (ANOVA) para o rendimento dos extratos de gengibre

| Fonte de variação | Soma dos quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F calculado | F tabelado |
|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------|------------|
| Regressão | 0,0178 | 3,0000 | 0,0059 | 13,71 | 4,35 |
| Resíduo | 0,0030 | 7,0000 | 0,0004 | | |
| Falta de Ajuste | 0,0030 | 5,0000 | | | |
| Erro Puro | 0,0000 | 2,0000 | | | |
| Total | 0,0208 | 10,0000 | | | |

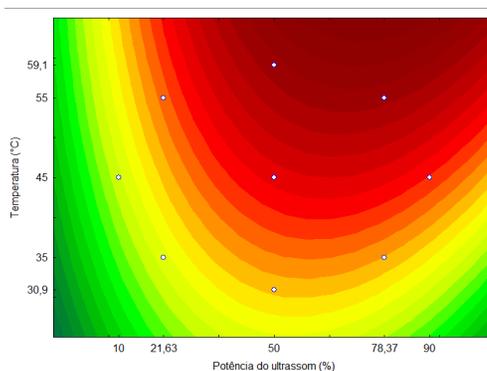
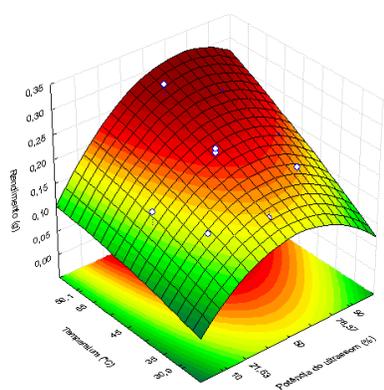
O coeficiente de variação quantifica a qualidade do ajuste fornecendo a variação da equação de regressão em razão da variação total de respostas. Em processos biológicos, é importante avaliar a influência de diferentes fatores na extração dos compostos de interesse, dadas as variações que podem acontecer no processo devido à complexidade da matriz vegetal (dos SANTOS; PIRES; CLEMENTE, 2020). Com a validação do modelo, é possível prever o efeito dos parâmetros avaliados (potência do ultrassom (%) e temperatura (°C)) no rendimento dos extratos de gengibre e na atividade antioxidante. A relação entre as variáveis independentes e a variável dependente pode ser avaliada pela superfície de resposta e pela curva de contorno, conforme apresentado nas Figuras 2 (a) e (b).

De acordo com os resultados, a maximização da extração pode ser encontrada na região a partir de temperaturas acima de 45°C, com uma potência de ultrassom acima de 50%. De acordo com a Tabela II, também é possível observar que os melhores valores de IC₅₀, avaliados pela metodologia de DPPH, foram obtidos no ponto central, com temperatura = 45°C e potência de ultrassom = 50% (equivalente a 66W).

Análises nas condições maximizadas do delineamento estatístico

A Tabela IV apresenta os resultados obtidos para a avaliação da composição fenólica e da atividade antioxidante do extrato

Figura 2 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para determinação do rendimento de extratos de gengibre em função da potência de ultrassom (%) e temperatura (°C)



de gengibre. O resultado da metodologia de DPPH foi descrito em termos de IC_{50} , sendo a concentração de extrato necessária para a inibição de 50% dos radicais livres. A metodologia ABTS foi expressa em termos de IC_{50} e também por mg equivalente de Trolox por grama de extrato (mgTEAC/g extrato).

Tabela IV - Atividade antioxidante e composição fenólica obtida para os extratos de gengibre

| Análise | Resultados |
|-----------------------|-------------|
| Fenóis totais mgEAG/g | 7,07 ± 0,44 |
| DPPH IC_{50} mg/mL | 0,19 ± 0,20 |
| ABTS IC_{50} mg/mL | 0,98 ± 0,06 |
| Trolox mgTEAC/g | 357,04 |

Nesse estudo, foram obtidos valores de IC_{50} de 0,19 mg/mL (método DPPH) e 0,98 mg/mL (método ABTS), e um teor de compostos fenólicos de 7,07 mgEAG/g. Quando empregado o antioxidante sintético Trolox, geralmente utilizado para medir a atividade antioxidante em alimentos bebidas e suplementos, um valor de 357,04 mgTEAC/g de extrato foi obtido.

A diferença entre os valores de IC_{50} , apresentada para o método de DPPH e ABTS (Tabela IV), pode ser justificada pela estrutura e mecanismos de ação diferentes entre as moléculas. O radical ABTS é um cátion reativo com a maioria dos antioxidantes, possuindo uma ação relativamente rápida. Contudo, isso não serve para avaliar compostos com potencial redox menor do que do próprio radical (REIS, 2016). O processo empregando DPPH é mais sensível em relação ao ambiente de reação (solvente, pH e exposição a luz), baseando-se na capacidade do radical DPPH de reagir com doadores de hidrogênio, sendo mais seletivo em relação ao ABTS para esses compostos. Entretanto, o radical DPPH não reage com flavonóides que não possuem hidroxilas no anel B, nem

com ácidos aromáticos que possuem apenas um grupo OH (MOŠOVSKÁA; NOVÁKOVÁA; KALIŇÁK, 2015).

Os antioxidantes possuem a capacidade de agir neutralizando ou inibindo a ação de radicais livres, dessa forma protegendo os organismos vivos de diferentes patologias. O gingerol, composto fenólico encontrado no gengibre, é descrito como fonte de propriedades antioxidantes (MOŠOVSKÁA; NOVÁKOVÁA; KALIŇÁK, 2015).

De La Cruz Quispe e Quispe Pujaioco (2020) avaliaram o conteúdo de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante de extratos hidroalcoólicos de *Z. officinale*. Foram obtidos teores de compostos fenólicos entre 12,52 e 17,81 mgEAG/g de extrato. A atividade antioxidante, expressa em $\mu\text{mol TEAC} \cdot \text{g}^{-1}$ extrato, variou entre 820,04 e 927,12.

Mošovskáa, Novákováa e Kaliňák (2015) investigaram o potencial antioxidante do extrato de gengibre, obtendo valores de IC_{50} de 0,4 mg/mL para o método de ABTS. Dalgê (2014), ao avaliar a composição biológica de extratos de gengibre elaborados, a partir de diferentes solventes, empregando uma hora de extração em equipamento com agitação, obteve para os extratos etanólicos valores de IC_{50} de 0,13 mg/mL para a avaliação da atividade antioxidante pela metodologia de DPPH. Para a composição fenólica, concentrações de 7,26 mgEAG/g foram verificadas.

Na Tabela V, pode-se observar os resultados encontrados para a avaliação da concentração inibitória mínima (CIM) e da concentração bactericida mínima (CBM) para o extrato etanólico de gengibre, para as bactérias Gram-positivas *S. aureus* e *L. monocytogenes* e para as bactérias Gram-negativas *S. enterica* e *E. coli*.

Gupta e Sharma (2014) e Jardim et al. (2019) apontam o gengibre como fonte de propriedades antimicrobianas que podem ser de grande uso na elaboração de novos

produtos ou no aprimoramento de produtos já existentes nas indústrias farmacêutica e alimentícia, aumentando a qualidade dos mesmos e possibilitando às empresas maiores ganhos econômicos. De acordo com a Tabela V, foram obtidos resultados entre 0,39 e 3,13 mg/mL para CIM e 12,50 mg/mL para CBM, para as quatro cepas avaliadas empregando o extrato etanólico de gengibre.

Tabela V - Avaliação da concentração inibitória mínima (CIM) e da concentração bactericida mínima (CBM) do extrato de gengibre

| Gram-positivas | ATCC* | CIM (mg/mL) | CBM (mg/mL) |
|-------------------------|-------|-------------|-------------|
| <i>S. aureus</i> | 25923 | 1,56 | 12,50 |
| <i>L. monocytogenes</i> | 7644 | 0,39 | 12,50 |
| Gram-negativas | ATCC* | CIM (mg/mL) | CBM (mg/mL) |
| <i>S. enterica</i> | 10708 | 1,56 | 12,50 |
| <i>E. Coli</i> | 25922 | 3,13 | 12,50 |

Yousfi et al. (2021), ao avaliar a atividade antibacteriana de extratos de gengibre em diferentes solventes, encontrou valores de CIM para os extratos etanólicos de 0,2 mg/mL, 0,2 mg/mL e >3,19 mg/mL para *S. aureus*, *L. monocytogenes* e *E. coli*, respectivamente. Para a CBM, foram observados resultados de 0,39 mg/mL, 0,39 mg/mL e >3,19 mg/mL para *S. aureus*, *L. monocytogenes* e *E. coli*, respectivamente. Nikolic et al. (2014) estudou a capacidade antibacteriana de extratos etanólicos de gengibre. Foram obtidas concentrações inibitórias mínimas de 0,0024 mg/mL para *S. aureus*, >20 mg/mL para *E. coli* e 20 mg/mL para *S. enterica*. Em relação aos valores de concentração bactericida mínima, foram obtidos valores de 0,625 mg/mL, >20 mg/mL e 20 mg/mL para *S. aureus*, *E. coli* e *S. enterica*, respectivamente.

É possível realizar a classificação de materiais vegetais baseando-se na CIM entre

inibidores fortes (CIM ≤ 0,5 mg/mL), inibidores moderados (0,6 mg/mL ≤ CIM ≤ 1,5 mg/mL) e inibidores fracos (CIM ≥ 1,5 mg/mL) (ALIGIANNIS et al., 2001; DUARTE et al., 2005). Para os resultados obtidos nesse estudo, o extrato etanólico de gengibre pode ser classificado como forte para *L. monocytogenes* (CIM = 0,39 mg/mL) e fraco para *S. aureus*, *S. enterica* e *E. Coli* (CIM = 1,56 mg/mL, 1,56 mg/mL e 3,13 mg/mL, respectivamente).

Considerações Finais

O estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da potência de ultrassom (%) e da temperatura na extração dos compostos bioativos do gengibre (*Zingiber officinale*) em relação ao rendimento de extrato e à atividade antioxidante pela metodologia DPPH. A avaliação da atividade antioxidante apresentou variação entre os métodos de ABTS (IC₅₀ = 0,98) e DPPH (IC₅₀ = 0,19). Essa variação pode ter ocorrido devido ao mecanismo de ação e à estrutura diferente entre as moléculas. Os teores de compostos fenólicos totais obtidos foram de 7,07 mgEAG/g. Esse resultado corrobora com valores encontrados na literatura para a concentração de compostos fenólicos em extratos alcoólicos de gengibre.

Em relação à concentração inibitória mínima (CIM) e à concentração bactericida mínima (CBM), os extratos foram classificados como forte para *L. monocytogenes* e fraco para *S. aureus*, *S. enterica* e *E. Coli*.

O gengibre é um rizoma amplamente empregado como alimento, especiaria e aromatizante. Devido às suas propriedades aromáticas, nutritivas e farmacológicas, pode ser utilizado contra toxicidades induzidas, químicas ou naturais, sendo as propriedades de sabor, aroma e atividade farmacológica ligadas à presença dos compostos bioativos na planta.

Os resultados obtidos no presente estudo confirmam a atividade antioxidante presente nos extratos de gengibre, dada principalmente pelo teor de compostos fenólicos encontrados, bem como pelo seu potencial antibacteriano. O método de ultrassom surge

como uma proposta interessante, uma vez que diminui o tempo de extração e pode ser utilizado com menores temperaturas, prevenindo dessa forma a degradação dos compostos de interesse.

REFERÊNCIAS

AGREGAN, R.; MUNEKATA, P. E. S.; FENG, X.; ASTRAY, G.; GULLON, B.; LORENZO, J. M. Recent advances in the extraction of polyphenols from eggplant and their application in foods, *LTW*, v. 146 p. 111381, 2021.

ALIGIANNIS, N.; KALPOUTZAKIS, E.; MITAKU, S.; CHINO, I. B. Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, n. 9, p. 4168-4170, 2001.

ALMEIDA, M. B.; BENASSI, M. T. (2011). Atividade antioxidante e estimativa do teor de melanoidinas em cafés torrados comerciais. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 1, p. 1893-1900, 2011.

ANDRIYANI, R.; BUDIATI, T. A.; PUDJIRAHARTI, S. Effect of extraction method on total flavonoid, total phenolic content, antioxidant and anti-bacterial activity of *Zingiberis officinale* rhizome. *Procedia Chemistry*, v. 16, p. 149-154, 2015.

BAE, J. H.; PARK, Y. J.; NAMIESNIK, J.; GÜLÇIN, I.; KIM, T. C.; KIM, H. C.; HEO, B. G.; GORINSTEIN, S.; KU, Y. G. Effects of artificial lighting on bioactivity of sweet red pepper (*Capsicum annum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, v. 51, n. 6, p. 1378-1385, 2016.

DALGÊ, J. J. **Estudo da capacidade antioxidante, antimicrobiana e anti-hemolítica do gengibre (*Zingiber officinale*)**. Dissertação de mestrado (Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo. 70f. Pirassununga-SP, 2014.

DALSASSO, R. R.; VALENCIA, G. A.; MONTEIRO, A. R. Impact of drying and extractions processes on the recovery of gingerols and shogaols, the main bioactive compounds of ginger. *Food Research International*, v. 154, p. 111043, 2022.

DE LA CRUZ QUISPE, R. I.; QUISPE PUJAICO, R. M. **Comparación del contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de los extractos hidroalcohólicos de *Zingiber officinale* L. (jengibre) colectados en tres zonas de cultivo en el Departamento de Junín**. Trabalho de Conclusão de curso (Farmácia) – Universidade Maria Auxiliadora. 40f. Lima-Peru, 2020.

DOS SANTOS, V. F.; PIRES, C. R. F.; CLEMENTE, R. C. Otimização da extração de compostos antioxidantes da guapeva (*Pouteria gardneriana* Radlk) através da análise de superfície de resposta. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e328973978-e328973978, 2020.

DUARTE, M. C. T.; FIGUEIRA, G. M.; SARTORATTO, A.; REHDER, V. L. G.; DELARMELENA, C. Anti-Candida activity of Brazilian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 97, n. 2, p. 305-311, 2005.

- EZEZ, D.; TEFERA, M. Effects of solvents on total phenolic content and antioxidant activity of ginger extracts. **Journal of Chemistry**, ID 6635199, 2021.
- FERNANDES, F. A.; FONTELES, T. V.; RODRIGUES, S.; DE BRITO, E. S.; TIWARI, B. K. Ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and phenolics from jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel: kinetics and mathematical modeling. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 6, p. 2321-2328, 2020.
- GAIO, I.; SAGGIORATO, A. G.; TREICHEL, H.; CICHOSKI, A. J.; ASTOLFI, V.; CARDOSO, R. I.; TONIAZZO, G.; VALDUGA, E.; PAROUL, N.; CANSIAN, R. L. Antibacterial activity of basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.) in Italian-type sausage. **Journal of Consumer Protection and Food Safety**, v. 10, p. 323-329, 2015.
- GHAFOOR, K.; AL JUHAIMI, F.; ÖZCAN, M. M.; USLU, N.; BABIKER, E. E.; AHMED, I. A. M. Total phenolics, total carotenoids, individual phenolics and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) rhizome as affected by drying methods. **LWT Food Science and Technology**, v. 126, p. 109354, 2020.
- GUPTA, S. K.; SHARMA, A. Medicinal properties of *Zingiber officinale* Roscoe - A review. **Journal of Pharmacy and Biological Sciences**, v. 9, n. 5, p. 124-129, 2014.
- HERINGER, T. A.; VILICHANE, I. J.; ALEGRANSI, C.; VINCENSI, T. M.; DIAS, T. O.; ARRUDA, A. C.; CATTANEO, R. Caracterização fitoquímica do extrato de gengibre e avaliação do seu efeito antioxidante em eritrócitos de pacientes com insuficiência renal crônica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 81156-81167, 2021.
- JARDIM, M. F. A.; FURLAN, L. C. O.; dos SANTOS CARVALHO, I.; BARBOSA, L. N.; OTUTUMI, L. K.; JACOMASSI, E.; GERMANO, R de M.; SOARES, A. A. Atividade antibacteriana e antioxidante dos extratos aquosos das folhas e dos rizomas de *zingiber officinale* Roscoe cultivadas no horto medicinal da unipar. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 18292-18309, 2019.
- KIYAMA, R. Nutritional implications of ginger: chemistry, biological activities and signaling pathways. **The Journal of nutritional biochemistry**, v. 86, p. 108486, 2020.
- KLANGMUANG, P.; SOTHORNVIT, R. Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong). **Food bioscience**, v. 23, p. 9-15, 2018.
- KULISIC, T.; RADONIC, A.; KATALINIC, V.; MILOS, M. Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. **Food chemistry**, v. 85, n. 4, p. 633-640, 2004.
- LI, X.; TU, Z. C.; SHA, X. M.; YE, Y. H.; LI, Z. Y. Flavor, antimicrobial activity and physical properties of gelatin film incorporated with of ginger essential oil. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 815-824, 2022.
- LÓPEZ, C. J.; CALEJA, C.; PRIETO, M. A.; BARREIRO, M. F.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. Optimization and comparison of heat and ultrasound assisted extraction techniques to obtain anthocyanin compounds from *Arbutus unedo* L. Fruits. **Food Chemistry**, v. 264, p. 81-91, 2018.
- MADALÃO, M. C. M.; LIMA, E. M. F.; BENINCÁ, D. B.; SARAIVA, S. H.; CARVALHO, R. V. D.; SILVA, P. I. Extraction of bioactive compounds from juçara pulp (*Euterpe edulis* M.) is affected by ultrasonic power and temperature. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e024820, 2021.
- MEDEIROS, R. de O. N. B. de. **Estudo da aplicação na área da saúde do gengibre, sua caracterização química**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Ciências Da Saúde Egas Moniz. 68f. Portugal, 2017.

- MOŠOVSKÁ, S.; NOVÁKOVÁ, D.; KALIŇÁK, M. Antioxidant activity of ginger extract and identification of its active components. **Acta Chimica Slovaca**, v. 8, n. 2, p. 115-119, 2015.
- NEGRI, M. L. S.; POSSAMAI, J. C.; NAKASHIMA, T. Atividade antioxidante das folhas de espinheira-santa-*Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss., secas em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2, p. 553-556, 2009.
- NIKOLIĆ, M.; VASIĆ, S.; ĐURĐEVIĆ, J.; STEFANOVIĆ, O.; ČOMIĆ, L. Antibacterial and anti-biofilm activity of ginger (*Zingiber officinale* (Roscoe)) ethanolic extract. **Kragujevac Journal of Science**, n. 36, p. 129-136, 2014.
- OSAE, R.; ZHOU, C.; XU, B.; TCHABO, W.; TAHIR, H. E.; MUSTAPHA, A. T.; MA, H. Effects of ultrasound, osmotic dehydration, and osmosonication pretreatments on bioactive compounds, chemical characterization, enzyme inactivation, color, and antioxidant activity of dried ginger slices. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1-14, 2019.
- ÖZTAŞKIN, N.; CETINKAYA, Y.; TASLIMI, P.; GÖKSU, S.; GÜLÇİN, İ. Antioxidant and acetylcholinesterase inhibition properties of novel bromophenol derivatives. **Bioorganic Chemistry**, v. 60, p. 49-57, 2015.
- RE, R.; PELEGRINE, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, p. 1231-1237, 1999.
- REIS, E. C. **Avaliação da atividade antioxidante dos extratos etanólicos dos frutos de *Eugenia moraviana* e *Eugenia blastantha***. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 53f. Londrina, 2016.
- SÁNCHEZ-GONZALEZ, I.; JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; SAURA-CALIXTO, F. In vitro antioxidant activity of coffees brewed using different procedures (italian, espresso and filter). **Food Chemistry**, v. 90, n. 2, p. 133-139, 2005.
- SEMWAL, R. B.; SEMWAL, D. K.; COMBRINCK, S.; VILJOEN, A. M. Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. **Phytochemistry**, v. 117, p. 554-568, 2015.
- SHUKLA, A.; DAS, C.; GOUD, V. V. Infusion of gingerols into candied mango enhances shelf-life by inhibiting browning and associated quality parameters during storage. **Food Chemistry**, v. 316, p. 126354, 2020.
- SILVA, T. M. D.; FERNANDES, V. V. B.; SANTANA, R. S. D.; MARINHO, R. M. D. M.; VALERA, M. C.; BRESCIANI, E. Influence of *Zingiber officinale* extract on push-out bond strength of glass-fiber post. **Brazilian Dental Journal**, v. 29, p. 93-98, 2018.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.
- SINGLETON, V. L.; ORTHOF, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Journals & Books**, v. 299, p. 152-198, 1999.
- TOHMA, H.; ISIK, M.; KORKMAZ, M.; BURSAL, E.; GULCIN, I.; KOKSAL, E. Determination of antioxidant properties of *Gypsophila bitlisensis* bark. **International Journal of Pharmacology**, v. 11, n. 4, p. 366-71, 2015.
- TOHMA, H.; GÜLÇİN, İ.; BURSAL, E.; GÖREN, A. C.; ALWASEL, S. H.; KÖKSAL, E. Antioxidant activity and phenolic compounds of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) determined by HPLC-MS/MS. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 2, p. 556-566, 2017.

VELLOSA, J. C. R.; BIAVATTI, M.; FRANÇÓIA, P. C. O.; DE MELLO, B. J.; DE ALMEIDA, A. C.; BUENO, G. E. Estresse oxidativo: uma introdução ao estado da arte. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 10152-10168, 2021.

WANG, L. T.; GAO, M. Z.; YANG, Q.; CUI, Q.; JIAN, Y.; FAN, X. H.; YAO, L. P.; FU, Y. J. An Efficient Strategy Based on Liquid-Liquid Extraction with Acid Condition and HSCCC for Rapid Enrichment and Preparative Separation of Three Caffeoylquinic Acid Isomers From Mulberry Leaves. **Journal of Chromatographic Science**, v. 57, n. 8, p. 738-744, 2019.

WANG, L. X.; HU, C.; ZHANG, J. D.; GONG, P. S.; ZHANG, H.; ZHAO, S. H. Identification of Five Flavonoid Compounds from the Remaining Ginger Powder Purified by Using High-Speed Counter-Current Chromatography and Their Bioactivity. **Food Analytical Methods**, v. 15, n. 2, p. 485-497, 2022.

YOUSFI, F.; ABRIGACH, F.; PETROVIC, J. D.; SOKOVIC, M.; RAMDANI, M. Phytochemical screening and evaluation of the antioxidant and antibacterial potential of *Zingiber officinale* extracts. **South African Journal of Botany**, v. 142, p. 433-440, 2021.

YULIANTO, M. E.; PARAMITA, V.; AMALIA, R.; WAHYUNINGSIH, N.; NYAMIATI, R. D. Production of bioactive compounds from ginger (*Zingiber officinale*) dregs through subcritical water extraction. **Materials Today: Proceedings**, v. 63, p. S188-S194, 2022.

YUSOFF, I. M.; TAHER, Z. M.; RAHMAT, Z.; CHUA, L. S. A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. **Food Research International**, p. 111268, 2022.