

AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE EXTRATOS DA *Cymbopogon citratus* OBTIDOS POR DIFERENTES SOLVENTES

EVALUATION OF BIOACTIVE COMPOUND AND ANTIFUNGAL ACTIVITY IN Cymbopogon citratus EXTRACTS OBTAINED USING DIFFERENT SOLVENTS

Itamar de Miranda Pereira¹, Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira²,
Everton Vieira da Silva³, Damião Alves dos Santos Silva⁴,
Maria Alcântara dos Santos⁵, Yara Natane Lira Duarte⁶ e Winício de Abreu Alves⁷

RESUMO

Cymbopogon citratus contém metabólitos secundários responsáveis pelas atividades antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana. Assim, objetivou-se obter extratos de *C. citratus* utilizando diferentes solventes, determinar seus compostos bioativos e avaliar seu efeito *in vitro* no crescimento micelial de *Colletotrichum musae*. O material adquirido em Cajazeiras, Paraíba, Brasil foi higienizado e seco. Em seguida, a extração foi realizada com solventes alcoólicos, hidroalcoólicos e aquosos. A análise fitoquímica foi realizada em extratos, amostras frescas e secas. Utilizando um espectrofotômetro, foram determinados os teores de clorofilas, carotenoides, flavonoides, antocianinas e compostos fenólicos totais. Na análise antifúngica, a espécie *C. musae* foi tratada com extratos nas concentrações de 0,0%, 0,5% e 1,0%. Foram observados elevados teores de fenólicos totais (responsáveis pelas ações antimicrobianas), com concentração de extrato alcoólico de $1538,92 \pm 30,88$ mg/100g, demonstrando inibição de 70% contra o fitopatógeno estudado. Os extratos aquosos e hidroalcoólico forneceram $1.240,5 \pm 20,26$ mg/100g e $976,34 \pm 11,41$ mg/100g de fenólicos, respectivamente, e demonstraram taxas de inibição de 40% e 25%, respectivamente. Portanto, conclui-se que o etanol é mais eficaz na extração de compostos bioativos. Além disso, apresentou o melhor desempenho na redução do crescimento micelial de *C. musae*, mostrando-se uma alternativa no controle da espécie patogênica.

Palavras-chaves: fitopatógenos; metabólitos secundários; produtos naturais; química orgânica.

1 Licenciado em Química na Universidade Federal de Campina Grande, Campus Cajazeiras - PB. E-mail: itamarmiranda1993@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3414-8922>

2 Doutorando em Química na Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife - PE. E-mail: darlei.gutierrez@ufpe.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1951-5747>

3 Docente em Química na Universidade Federal de Campina Grande, Campus Cajazeiras - PB. E-mail: everton.vieira@professor.ufcg.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1256-7704>

4 Professor em Química na Secretaria de Educação do Estado de Alagoas. E-mail: damalves002@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1951-5747>

5 Técnica em Química na Universidade Federal de Campina Grande, Campus Cajazeiras - PB. E-mail: maralca@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9097-2410>

6 Doutoranda em Química na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Recife. E-mail: yaranlduarte@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7488-5970>

7 Licenciado em Química na Universidade Federal de Campina Grande, Campus Cajazeiras - PB. E-mail: winicio_cz@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2208-4762>

ABSTRACT

Cymbopogon citratus contains secondary metabolites that are responsible for antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial activities. Thus, the objective was to obtain extracts from *C. citratus* using different solvents, determine their bioactive compounds, and evaluate their *in vitro* effect on the mycelial growth of *Colletotrichum musae*. The material purchased in Cajazeiras, Paraíba, Brazil was sanitized and dried. Then, extraction was carried out using alcoholic, hydroalcoholic, and aqueous solvents. Phytochemical analysis was carried out on extracts, fresh and dry samples. Using a spectrophotometer, the levels of chlorophylls, carotenoids, flavonoids, anthocyanins, and total phenolic compounds were determined. In the antifungal analysis, the species *C. musae* was treated with extracts at concentrations of 0.0%, 0.5%, and 1.0%. High levels of total phenolics were observed (responsible for antimicrobial actions), with an alcoholic extract concentration of 1538.92 ± 30.88 mg/100g, demonstrating a 70% inhibition against the studied phytopathogen. The aqueous and hydroalcoholic extracts provided 1240.5 ± 20.26 mg/100g and 976.34 ± 11.41 mg/100g of phenolics, respectively, and demonstrated inhibition rates of 40% and 25%, respectively. Therefore, it is concluded that ethanol is more effective in extracting bioactive compounds. Furthermore, it presented the best performance in reducing the mycelial growth of *C. musae*, proving to be an alternative in controlling the pathogenic species.

Keywords: organic chemistry; secondary metabolites; natural products; phytopathogens.

INTRODUÇÃO

A banana (*Musa spp*) é uma das frutas mais produzidas no mundo (Jones, 2019), com uma produção anual de aproximadamente 150 milhões de toneladas, que alimenta mais de 400 milhões de pessoas e impulsiona a economia em mais de 120 países (Jones, 2019; Cao *et al.*, 2022; Czislowvski *et al.*, 2018; Ambang; Elie; Nyamjua, 2023). No entanto a produção enfrenta um desafio significativo, a antracnose, uma doença pós-colheita causada pelo fungo *Colletotrichum musae*. Essa doença pode causar perdas de até 40% na produção, prejudicando a qualidade e comercialização dos frutos (Negreiros *et al.*, 2013; Bhutia *et al.*, 2016; Czislowvski *et al.*, 2018; Brbosa *et al.*, 2021).

O manejo com fungicidas químicos sintéticos é uma das medidas adotadas para o retardamento dos sintomas da infecção antracnose (Elie; Bachuelad; Gaston, 2022). O benomil, tiabendazol e carbendazim são um dos principais fungicidas frente a doença pós-colheita, exercendo um papel importante no prolongamento da vida útil da banana durante o armazenamento (Cao *et al.*, 2022). Porém, com alta demanda de produção o uso excessivo desses fungicidas químicos é necessário, e isso culmina no surgimento de problemas como: poluição do solo, água e ar Ortega (*et al.*, 2022), exposição humana aos resíduos químicos presentes nas frutas com potencialidades cancerígenas para saúde do consumidor e trabalhador Elie, Bachelard e Gatton (2022) e possibilidade de resistência fúngica com o passar do tempo (Wang *et al.*, 2021).

Diante dessas questões, alternativas aos fungicidas químicos sintéticos precisam ser desenvolvidas. Os produtos naturais (PN's) tem ganhado notoriedade frente aos problemas da doença pós-colheita, pois, além da eficiência inibitória, geralmente apresentam menor impacto ambiental e baixa

toxicidade (Berdy, 2005). Essas atribuições estão relacionadas com a capacidade das plantas em biossintetizar diversos produtos químicos Jan (*et al.*, 2021), com destaque aos metabólitos secundários potencialmente ativos (terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados), que exercem uma função protetora em meio a herbívoros e patógenos e com possibilidade de baixa toxicidade (Kennedy; Wigtman, 2021).

Isso tem resultado em pesquisas voltas para obtenção de extrato natural e aplicações para inibição de fungos como o *Colletotrichum kahawae* Yemo (*et al.*, 2017), *Colletotrichum gloeosporioides* López-Velásquez (*et al.*, 2021) e o *Colletotrichum musae* (Bhutia *et al.*, 2016)

Para obtenção dos extratos naturais estratégias utilizando solventes alcoólicos e aquoso Azuero (2016), hidroalcoólicos Souza (*et al.*, 2023) resultam em diferentes rendimentos de extratos e metabólitos. Outros aspectos considerados são as partes e espécies de plantas. Pois, a quantidade e os tipos de princípios ativos podem ser específicos para algumas espécies de plantas e variar quantitativamente, corroborando para diferentes capacidades inibitória frente a fungos fitopatogênicos (Yeshe *et al.*, 2022).

O capim-santo (*Cymbopogon citratus*), por exemplo, é uma espécie com potencial para o controle da antracnose, tendo vista que seu extrato foi eficiente na inibição da *Colletotrichum gloeosporioides* Rozwalka (*et al.*, 2008), *Candida albicans* Almeida (*et al.*, 2013) e *Rhizoctonia solani* (Lee *et al.*, 2020).

Portanto, tendo em vista que os compostos bioativos dos extratos de *Cymbopogon citratus* atuam em uma via metabólica capaz de inibir espécies de fungos dos gêneros *Colletotrichum*, *Candida* e *Rhizoctonia*, poderá também ser uma alternativa promissora no controle de fungos da doença pós-colheita causada pelo *Colletotrichum musae* e potencializar a produção da banana. Assim, objetiva-se investigar o efeito *in vitro* dos extratos de *Cymbopogon citratus* sobre o crescimento micelial de *Colletotrichum musae*.

MATERIAIS E MÉTODOS

OBTENÇÃO E PREPARO DAS AMOSTRAS DE *Cymbopogon citratus*

O material vegetal foi adquirido em um mercantil situado da cidade de Cajazeiras-PB em setembro de 2018 e encaminhado para o Laboratório de Química (LQ) lotado na Unidade Acadêmica de Ciências Exatas e da Natureza (UACEN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Cajazeiras PB. No LQ as plantas foram higienizadas com água destilada, posteriormente, secas em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 40 °C durante 24 horas. Após a secagem o material foi triturado em um processador doméstico e armazenado em sacos de papel laminado flexível (Silva, 2013).

OBTENÇÃO DOS EXTRATOS DAS FOLHAS DE *Cymbopogon citratus*

Com base na descrição de Silva (2017) a partir de Torres (2002) a proporção entre amostra/solvente adotada foi de 1:22 m/m. Três estratégias de solventes para a obtenção dos extratos *Cymbopogon citratus* foram utilizadas, sendo: água destilada (extração aquosa), etanol (extração alcoólica) e etanol/água 70:30 (extração hidroalcoólica).

O material botânico seco e triturado foi introduzido em um erlenmeyer juntamente com diferentes solventes em cada ensaio nas proporções mencionadas. Em um sistema fechado foi realizado uma agitação magnética pelo período de 1 hora. Após um repouso por 24 horas o material foi filtrado. Com o auxílio do Extrator de Soxhlet, o sobrenadante teve a concentração de solvente reduzida até que o líquido adquirisse uma consistência viscosa. Terminada a primeira extração, foram adotados os mesmos procedimentos para uma segunda e posterior terceira extração, sempre reaproveitando o solvente de cada extração.

ANÁLISE FITOQUÍMICA DOS EXTRATOS

Para a análise de clorofilas e Carotenoides (mg/100 g) utilizado método conforme sugerido por Lichthenthaler (1987) e adaptado por Silva (2017), 0,1 grama do extrato foi macerado com 0,2 g de CaCO_3 e 5 mL de acetona 80% por 1 minuto, levada a centrifuga a 3000 rpm por 10 minutos e em seguida, mediu-se as absorbâncias em espectrofotômetro da BIOSPECTRO - SP-22 manual nos comprimentos de onda de 470 nm, 646 nm e 66 nm

Na determinação de flavonoides e antocianinas (mg/100 g) adotou-se o procedimento Francis (1982) que foi ajustado por Silva (2017), macerou-se 0,1 grama da amostra do extrato com 0,1 g de CaCO_3 em 10 mL de Etanol/HCl (85:15 v/v) por 1 minuto. As amostras foram deixadas em repouso por 24 horas sob refrigeração e posteriormente centrifugadas à 3000 rpm por 10 minutos e levadas ao espectrofotômetro e submetidas a análise em 374 nanômetros para flavonoides e 535 para antocianinas.

Por fim, os compostos fenólicos totais (mg EAG/100g) presentes nas amostras *in natura*, secas e nos extratos obtidos foram determinados através do método de Folin-Ciocalteu, descrito por Waterhouse (2006). A abordagem consiste na construção de uma curva de calibração com solução padrão de ácido gálico anidro (PM= 170,2) - pureza 99%. A partir disso, os ensaios seguiram com a adição de 250 μL das amostras *in natura*, 150 μL das amostras seca e 100 μL do extrato alcóólico, aquoso e hidroalcoólico em diferentes tubos de ensaio. Em cada tubo contendo as alíquotas das amostras de *Cymbopogon citratus* foi adicionado 1875 μL de água destilada, 125 μL do reagente Folin-Ciocateu. Após uma agitação manual pelo período de 60 s, as amostras foram mantidas em repouso por 5 minutos para posterior adição de 250 μL de Na_2CO_3 a 20%. Repetiu-se o processo de agitação e realizou-se uma etapa de descanso com “banho maria” a 40° C pelo tempo 30 minutos.

Após o preparo das amostras foram realizadas as leituras no espectrofotômetro no comprimento de onda 765 nm. Os dados obtidos foram processados em um ambiente computacional utilizando o *software* Excel. Os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por 100g da amostra.

ATIVIDADE ANTIFÚNGICA

Os extratos obtidos foram adicionados ao meio de cultura BDA (Batata Dextrose Ágar), nas concentrações 0,0%, 0,5% e 1,0 %, sendo realizadas cinco repetições para cada tratamento (aquoso, hidroalcoólico e alcoólico). Em seguida, foram inseridos em placas de Petri de 9 cm de diâmetro em condições assépticas. Posteriormente, discos de 1 mm contendo o fitopatógeno 3499 de *Cymbopogon citratus* foram adicionados no centro das placas. Para as placas sem a adição de extrato foi utilizado apenas o meio de cultura BDA, como procedimento controle. Em seguida, as placas foram envolvidas em plástico filme e incubadas na estufa tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) a uma temperatura de 27 ± 2 °C durante o período de desenvolvimento do fungo.

A avaliação do crescimento micelial começou após 24 horas com medições no diâmetro das colônias através da média de duas medidas perpendiculares, com o auxílio de régua graduada, obtendo-se a média do crescimento diário para cada repetição de cada tratamento. Com o resultado das medidas, foram calculados a porcentagem de inibição micelial (PIC) e o índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM) (Edginton; Khew; Barron, 1971).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os compostos bioativos foram analisados com três repetições para cada tratamento, adotando-se a comparação de médias, conforme o teste de Tukey, com relevância ao nível de 5% de probabilidade (Vieira, 2006 apud Segtowitz *et al.*, 2013) e processados através do programa de computador Assistat® versão 7.7 de 2017 (Silva; Azevedo, 2009 apud Segtowitz *et al.*, 2013).

Os dados quanto a atividade antifúngica, foram analisados aplicando-se análises de variância fatorial 3x3, levando em consideração as seguintes fontes de variação: tipo de extrato (alcoólico, aquoso e hidroalcoólico), concentração de extrato (3 concentrações - 0,0; 0,5 e 1,0%) e a interação entre esses fatores, sendo adotados 5 repetições cada. Para verificar o efeito das concentrações do extrato sobre o crescimento do fungo foram realizadas regressões nos modelos lineares. As análises foram realizadas no programa R Core Team 3.5.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os extratos das folhas de *Cymbopogon citratus* com maiores rendimentos (8,57%) foram com a utilização do solvente etanol. Os extratos hidroalcolico e aquoso obtiveram percentuais de 7,42% e 6,64%, respectivamente. Dhanani *et al.* (2017) afirmam que a eficiência de extração está diretamente relacionada à solubilidade do material vegetal no solvente utilizado. O etanol, por ser anfifílico, permite a extração de substâncias tanto apolares quanto polares. Em contrapartida, quando se utilizou a água como solvente, que interage apenas com substâncias polares, o rendimento foi menor (Oliveira *et al.*, 2016). No entanto, a água se destaca por ser um solvente ambientalmente mais sustentável.

Os percentuais encontrados para os produtos extraídos nesse estudo foram superiores quando comparado aos obtido por Sousa (2018), com 3,45% para o extrato aquoso, e com o estudo de Ramos (*et al.*, 2012) para o extrato hidroalcolico que foi de 4,55%. Essas diferenças podem ter relação com empregado para extração, condições agrônomicas da planta que infere na qualidade do material vegetal (Panic *et al.*, 2019).

A quantificação de compostos bioativos do *Cymbopogon citratus* iniciou-se com clorofilas e carotenoides e os valores para esses pigmentos estão dispostos na Tabela 01.

Tabela 01 - Quantificação de clorofilas e carotenoides das nas folhas secas, *in natura* e extratos com diferentes solventes da espécie *Cymbopogon citratus*

Amostras	Clorofila a (mg/100g)	Clorofila b (mg/100g)	Clorofila total (mg/100g)	Carotenoides (mg/100g)
in natura	9,90 ^d ± 0,84	4,41 ^d ± 0,47	13,98 ^d ± 0,69	0,232 ^b ± 0,013
seca	18,68 ^d ± 0,94	11,14 ^d ± 0,61	29,81 ^d ± 0,72	0,322 ^a ± 0,022
Aquoso	82,54 ^c ± 8,18	27,26 ^c ± 1,88	109,51 ^c ± 10,02	0,333 ^a ± 0,025
Hidroalcolico	100,09 ^b ± 7,01	34,04 ^b ± 1,62	134,01 ^b ± 8,65	0,347 ^a ± 0,028
Alcolico	121,30 ^a ± 9,70	40,41 ^a ± 2,30	161,63 ^a ± 12,01	0,350 ^a ± 0,034

Fonte: Próprios autores (2023). * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 01, verifica-se diferenças estatísticas entre amostras nos teores de clorofila a, b e total. Esse comportamento sugere que o tipo de solvente utilizado para extração, bem como as condições *in natura* ou *seca* influenciam no teor dos componentes bioativos obtidos. Assim, entre os solventes estudados, os resultados sugerem que maior contração de etanol proporciona maior quantidade de compostos bioativo, nesse caso para as clorofilas a e b. Isso demonstra a eficiência do etanol como solvente na capacidade em reter tanto moléculas polares quanto apolares (Lezoul *et al.*, 2020). Com relação aos carotenoides apenas as amostras *in natura* diferem estatisticamente das demais, as condições não iram influenciar nos teores de carotenoides.

Nesse estudo, foram encontrados valores superiores os de Lins (*et al.*, 2015), que em amostras *in natura* de *Cymbopogon citratus* obteve teores de 3,68, 1,38 e 5,22 mg/100g em clorofila a, b, e

totais, respectivamente. A diferença que se pode destacar em relação ao estudo de Lins (*et al.*, 2015) pode indicar a influência da localidade de cultivo nos teores bioativos, já que as amostras foram coletadas em regiões diferentes. Isso ressalta a importância de estudos de estresse para entender como o ambiente de cultivo impacta a composição química da planta.

Em relação aos carotenoides, pigmentos de cor avermelhada, a planta demonstrou possuir pouca concentração em sua composição química. Isso ocorre devido ao fato do *Cymbopogon citratus* ter uma coloração verde intensa, bem como alto teor de clorofilas evidenciado anteriormente. Lins (*et al.*, 2015), por exemplo, detectou também um teor de carotenoides de 0,96 mg/100g em amostra *in natura* de *Cymbopogon citratus*, sendo a diferença justificada pelos fatores agrônômicos e métodos de extração distintos.

Tendo como base a Tabela 02, verifica-se novamente que o extrato alcoólico foi responsável por concentrar as maiores quantidades de metabólitos secundários investigados.

Tabela 02 - Quantificação de antocianinas, flavonoides e fenólicos totais das nas folhas secas, *in natura* e extratos com diferentes solventes da espécie *Cymbopogon citratus*

Amostras	Antocianinas (mg/100g)	Flavonoides (mg/100g)	Fenólicos Totais (EAG/100g)
<i>in natura</i>	15,85 ^d ± 0,59	35,44 ^d ± 0,14	123,63 ^c ± 18,52
seca	18,79 ^d ± 0,38	35,77 ^d ± 0,05	186,24 ^d ± 21,69
Aquoso	85,17 ^c ± 2,71	262,87 ^c ± 3,14	976,34 ^c ± 11,41
Hidroalcoólico	109,65 ^b ± 2,94	318,23 ^b ± 2,87	1240,5 ^b ± 20,26
Alcoólico	125,87 ^a ± 1,21	375,14 ^a ± 3,44	1538,92 ^a ± 30,88

Fonte: Construção dos Autores (2023). * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Analisando as diferenças estatísticas entre as amostras da Tabela 02, nota-se que com exceção das amostras *in natura* e seca para os resultados de antocianinas e flavonoides, houve diferenças significativas ao nível de 95% de confiança entre os demais resultados. Assim, os expressivos valores de antocianinas, flavonoides e fenólicos totais nos extratos retratam a contribuição dos solventes para obtenção dos respectivos metabólitos secundários. Destacado por Lezoul (*et al.*, 2020) e evidenciado nesse trabalho os solventes alcóolicos apresenta maior capacidade de extração, seguido do solvente hidroalcoólico e aquoso. Essa constatação é evidenciada estaticamente, pois os solventes apresentam diferenças significativas no potencial de extração das antocianinas, flavonoides e compostos fenólicos.

Comparando os dados com a literatura, os resultados obtidos para as antocianinas foram inferiores aos de Gomes (2020), que ao estudar sobre a teor de bioativos da *Cymbopogon citratus*, obteve valores de 35,26 mg/100g nas condições *in natura* e 26,86 mg/100g com o material vegetal seco. É relevante destacar que, no estudo de Gomes (2020), as amostras foram obtidas no comércio, o que pode ter resultado em um tempo prolongado entre a coleta e a análise, potencialmente influenciando

os resultados. Em contraste, a presente pesquisa iniciou os procedimentos para a extração do óleo imediatamente após a coleta, minimizando possíveis variações de composição.

A quantidade de flavonoides, por sua vez, registrou um valor superior ao encontrado por Silva (*et al.*, 2017), que obteve para amostra *in natura* de *Cymbopogon citratus* um teor de 25,1 mg/100mL. Em contrapartida, Queiroz (2019) em análise com diversas plantas medicinais, incluindo o *Cymbopogon citratus*, obteve um resultado superior para a amostra de massa seca da planta (52 mg/100g).

Autores como Salas *et al.* (2011) e Serpa *et al.* (2012) destacam que os flavonoides possuem propriedades antibacterianas e antifúngicas comprovadas *in vitro*, o que justifica a investigação desses metabólitos em diversas espécies vegetais. Em um estudo sobre *Cymbopogon citratus*, Port's (2011) encontrou um teor de flavonoides de 253 mg/100g em infusões aquosas de material vegetal seco. Além disso, o autor identificou uma concentração expressiva de fenólicos totais, alcançando 2704 mg EAG/100g. Esses resultados, quando comparados aos da Tabela 2, são semelhantes em relação ao teor de flavonoides, mas muito superiores na quantidade de fenólicos totais.

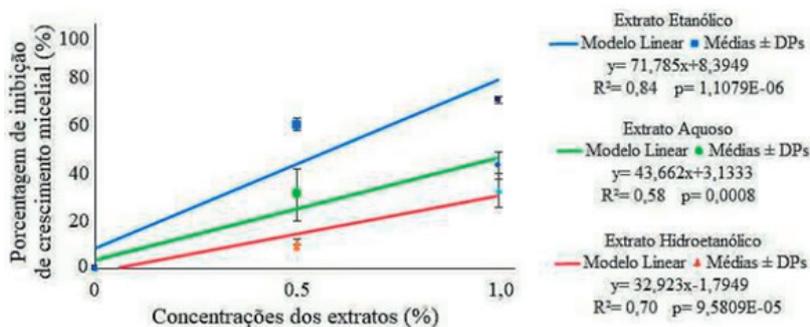
O resultado obtido por Gregório e Oliveira (2021) também foi superior para fenólicos, com uma concentração de 1400 mg EAG/100g para o extrato aquoso de *Cymbopogon citratus*. Já Tavares (2014), conseguiu valores ainda mais elevados para infusões aquosa e hidroalcoólica, tendo alcançado resultados de 4160 e 5770 mg EAG/100g para polifenóis.

Em relação ao extrato alcoólico, o resultado foi superior ao encontrado por Azevedo (*et al.*, 2011), na qual obteve no seu estudo apenas 43,05 mg EAG/100g. Segundo Costa (*et al.*, 2016), as diferenças observadas nos valores de fenólicos totais podem ser o resultado de fatores ambientais como por exemplo: a composição química do solo, época da colheita, qualidade da planta, maneira como é colhida, entre outros.

Na quantificação de bioativos, foi possível observar que o extrato alcoólico conseguiu concentrar os maiores valores desses compostos. Isso ocorre devido ao caráter anfifílico do etanol já mencionado anteriormente. Com relação ao extrato aquoso ressalta-se que, a água tem a capacidade de extrair também compostos como ácidos orgânicos, açúcares, proteínas solúveis, que podem interferir na quantificação dos compostos fenólicos (Vizzoto, 2009)

Após a quantificação de bioativos do *Cymbopogon citratus* e de seus extratos, foram realizados testes, *in vitro*, para verificar as suas ações perante ao fungo *Colletotrichum musae*, e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 01.

Figura 01 - Efeitos das concentrações dos extratos de *Cymbopogon citratus* sobre o crescimento micelial de *Colletotrichum musae*



Fonte: Contrução dos autores (2024)

Todos os extratos analisados apresentaram ação inibitória sobre o crescimento micelial do *Colletotrichum musae*. Dentre eles, o etanólico acabou apresentando um percentual maior de inibição, ultrapassando os 70% na concentração de 1,0%. Por outro lado, o extrato aquoso (1%) e hidroalcoólico (1%) conseguiram inibir o crescimento do fungo em 40% e 25%, respectivamente. As diferenças observadas na atividade antifúngica entre os extratos podem estar relacionadas às variações qualitativas e quantitativas de metabólitos secundários presentes (Costa; Hoscheid, 2018).

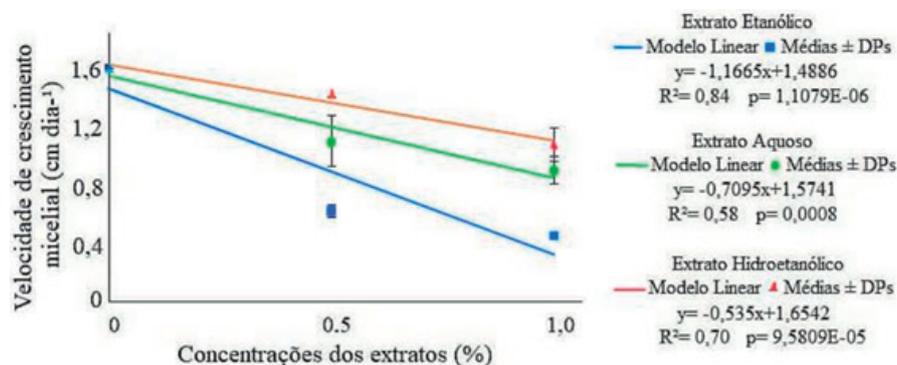
O controle micelial *in vitro* de fungos usando extratos de *Cymbopogon citratus* foi estudado por Itako (*et al.*, 2009) e nesta ocasião, os autores obtiveram a partir de extratos aquosos da planta na concentração de 40,67%, uma redução de 20% no crescimento micelial da espécie *Cladosporium fulvum*. Alves (2010), em estudo como o extrato bruto etanólico (8%), promoveu uma inibição total do crescimento micelial do *Colletotrichum gloeosporoides*. Esses resultados são bem diferentes em comparação aos encontrados nesse estudo, indicando que algumas espécies fúngicas são mais sensíveis que outras em relação ao produto gerado da extração do *C. citratus*. Essas diferenças de comportamento podem ter relação com aspectos de: resistência adquirida pelo fungo, rota sintética de inibição micelial diferente em cada extrato; relações de antagonismo e sinérgicos de compostos potencialmente inibidores presentes nos extratos; o tipo de solvente entre outros aspectos.

A espécie *Colletotrichum musae* foi testado por Nyamath & Karthikeyan (2018) utilizando extratos aquoso e alcoólico de *Cymbopogon citratus*, conseguindo reduzir seu crescimento micelial. Para o extrato aquoso foi possível ter uma zona de inibição de 9,80 mm em uma concentração de 1000 ppm. Já o extrato alcoólico na mesma concentração conseguiu uma área de inibição com 9,00 mm.

Em estudo semelhante Domingos (*et al.*, 2019) investigou o efeito do extrato hidroalcoólico de algumas plantas sobre o *Colletotrichum musae*. Dentre elas, o *Cymbopogon citratus* apresentou um percentual 33,26% na redução do crescimento micelial em uma concentração de 40 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (4%). Vale ressaltar que, os autores além de utilizar uma concentração maior de extrato, ainda obteve uma redução bem menor que os extratos etanólico e aquoso da presente pesquisa.

O crescimento micelial das colônias de *Colletotrichum musae* teve sua velocidade diminuída a medida em que foi elevada a concentração dos extratos. Esse comportamento é mostrado na Figura 02.

Figura 02 - Efeitos das concentrações dos extratos de *Cymbopogon citratus* sobre a velocidade crescimento do *Colletotrichum musae*



Fonte: Construção dos autores (2024)

Assim como o extrato etanólico apresentou o maior percentual de inibição frente ao fungo analisado, o mesmo conseguiu a melhor redução na velocidade de crescimento micelial em cerca de 0,4 cm/dia na concentração de 1%. Já o extrato aquoso e o hidroalcoólico conseguiram reduzir a velocidade na mesma concentração em apenas 1,0 e 1,5 cm/dia, respectivamente.

Técnicas e produtos que retardem o crescimento da espécie *Colletotrichum musae* é de extrema importância e interesse para a indústria alimentícia. Uma vez que, o fungo é causador da antracnose, doença que se manifesta de forma mais intensa na maturação das frutas (principalmente a banana), pelo fato de o *Colletotrichum musae* ativar a produção do gás etileno, que é responsável por induzir o amadurecimento prematuro dos frutos, comprometendo a sua qualidade e sua durabilidade (Oliveira *et al.*, 2001). Em virtude disso, os resultados dos extratos de capim santo perante a esse fitopatógeno pode configurar uma possível alternativa no controle do fungo estudado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados mostram que o *Cymbopogon citratus* possui uma boa concentração de compostos que possuem atividades biológicas importantes. Seus extratos apresentam atividades antifúngicas perante o fitopatógeno *Colletotrichum musae*, com destaque para o extrato alcoólico, conseguindo uma maior inibição em relação aos demais, fato esse que indica que o etanol como solvente é mais eficaz em extrair os compostos responsáveis pela função inibitória frente ao fungo fitopatógeno.

Logo, os extratos de *Cymbopogon citratus* podem ser uma possível alternativa no combate dessas pragas. Mesmo apresentando atividade antifúngica frente o *Colletotrichum musae*, se faz necessário à ampliação dos estudos sobre outras espécies patogênicas, e assim, se tenha um maior conhecimento do potencial biológico da planta. Além disso, é de extrema importância a identificação dos compostos fenólicos presentes nos extratos que são responsáveis por tal atividade frente ao fungo estudado.

REFERÊNCIAS

- Almeida, R. B. A., Akisue, G., Cardoso, L. M. L., Junqueira, J. C., & Jorge, A. O. (2013). Antimicrobial activity of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. on *Staphylococcus* spp., *Streptococcus mutans* and *Candida* spp. **Revista brasileira de plantas medicinais**, *15*, 474-482. (DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000400002>)
- Alves, A. P. D. F. (2010). Extratos alcoólicos de capim-limão (*Cymbopogon citratus*) no controle pós-colheita de antracnose em goiaba CV. **Paluma** (Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Maringá)
- Ambang, A. L., Elie, K. K., & Nyamjua, M. R. (2023). Inventory and Management of Fungi Associated with Banana Plant through the Use of *Allium ampeloprasum* and *Cymbopogon citratus* Extracts. **Journal of Agricultural Chemistry and Environment**, *12*(2), 51-64. (DOI: [10.4236/jacen.2023.122005](https://doi.org/10.4236/jacen.2023.122005))
- Azevedo, R. R., Almeida, V. G. A., Silva, E. M. F., de Lira Silva, A., da Silva Gomes, N. R., da Silva Matias, T. M., ... & dos Santos, A. F. (2011). Potencial antioxidante e antibacteriano do extrato etanólico de plantas usadas como chás. **Revista semente**, *6*(6), 240-249.
- Azuero, A., Jaramillo, C. J., San Martin, D., & Regnault, H. D. A. (2016). Análisis del efecto antimicrobiano de doce plantas medicinales de uso ancestral en Ecuador/Analysis of antimicrobial effect of twelve medicinal plants of ancient use in Ecuador. **Ciencia Unemi**, *9*(20), 11-18. (DOI: <https://doi.org/10.29076/issn.25287737vol9iss20.2016pp11-18p>)
- Barbosa, G. G., Costa, F. A., da Costa, A. C., & Ulhoa, C. J. (2021). Avaliação do potencial de isolados de *Trichoderma* spp. nativos do estado de Mato Grosso do Sul contra o fungo *Colletotrichum musae*. **Brazilian Journal of Development**, *7*(3), 29484-29502. (DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-592>)
- Berdy, J. (2005). Bioactive microbial metabolites. **The Journal of antibiotics**, *58*(1), 1-26. (DOI: <https://doi.org/10.1038/ja.2005.1>)
- Bhutia, D. D., Zhimo, Y., Kole, R., & Saha, J. (2016). Antifungal activity of plant extracts against *Colletotrichum musae*, the post harvest anthracnose pathogen of banana cv. Martaman. **Nutrition & Food Science**, *46*(1), 2-15

Bueno, J. M., Sáez-Plaza, P., Ramos-Escudero, F., Jiménez, A. M., Fett, R., & Asuero, A. G. (2012). Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: Chemical structure, color, and intake of anthocyanins. **Critical reviews in analytical chemistry**, 42(2), 126-151. (DOI: <https://doi.org/10.1080/10408347.2011.632314>)

Cao, M., Cheng, Q., Cai, B., Chen, Y., Wei, Y., Qi, D., ... & Wang, W. (2022). Antifungal mechanism of metabolites from newly isolated *Streptomyces* sp. Y1-14 against banana fusarium wilt disease using metabolomics. **Journal of Fungi**, 8(12), 1291. (DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8121291>)

Costa, G., Grangeia, H., Figueirinha, A., Figueiredo, I. V., & Batista, M. T. (2016). Influence of harvest date and material quality on polyphenolic content and antioxidant activity of *Cymbopogon citratus* infusion. **Industrial Crops and Products**, 83, 738-745. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.008>)

Costa, J. C. F.; Hoscheid, J. 2018. Perfil fitoquímico e avaliação da atividade antimicrobiana de extratos aquoso e etanólico de folhas de *Cecropia pachystachya*. **Revista Fitos**. Rio de Janeiro, p. 175-18. (DOI: 10.5935/2446- 4775.20180016).

Czislowski, E., Fraser-Smith, S., Zander, M., O'Neill, W. T., Meldrum, R. A., Tran-Nguyen, L. T., ... & Aitken, E. A. (2018). Investigation of the diversity of effector genes in the banana pathogen, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, reveals evidence of horizontal gene transfer. **Molecular plant pathology**, 19(5), 1155-1171. (DOI: <https://doi.org/10.1111/mpp.12594>)

Domingos, M. M.; CARVALHO, H. P.; PACHECO, A. G (2019). Inibição do crescimento micelial de *Colletotrichum musae* por extratos vegetais. *Agronomia*. **Atena Editora**, (p. 200-246), Ponta Grossa, Paraná.

Edgington, L., Khew, K., & Barron, G. (1971). Fungitoxic spectrum of benzimidazoles compounds. **Phytopathology**, St. Paul, 61, 42-44.

Elie, K. K., Bachelard, F. Y. M., & Gaston R, T. N. (2022). Antifungal Potential of Three Plant Extracts in the Control of Some Major Fungi Associated with Cashew Seeds (*Anacardium occidentale* L.). **Journal of Experimental Agriculture International**, 44(9), 168-179

Francis, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins, in Markakis, P (editor), Analysis of anthocyanins. **Anthocyanins as food colors**, (181-205), New York, EUA.

Gomes, L. A. P (2020). Plantas medicinais comercializadas em Marizópolis PB: perfil fitoquímico e as práticas de consumo da população. 2020. **Dissertação** (Mestrado em Programa de PósGraduação em Sistemas Agroindustriais do CCTA/UFCG) - Universidade Federal de Campina Grande PB.

Gregorio, W., & Oliveira, V. B. (2021). Análise quimiométrica de infusões medicinais utilizadas popularmente. **Scientific Electronic Archives**, 14(6), 69-74. (DOI: <https://doi.org/10.36560/14620211288>)

Itako, A. T., Schwan-Estrada, K. R. F., Stangarlin, J. R., Tolentino Júnior, J. B., & Cruz, M. E. S. (2021). Controle de *Cladosporium fulvum* em tomateiro por extratos de plantas medicinais. **Arquivos do Instituto Biológico**, 76, 75-83. (DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v76p0752009>)

Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, & Kim, K. M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. **Agronomy**, 11(5), 968-999. (DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050968>)

Jones, D. R. (2000). **Diseases of banana, abaca and enset**. CABI publishing

Kennedy, D. O., & Wightman, E. L. (2011). Herbal extracts and phytochemicals: plant secondary metabolites and the enhancement of human brain function. **Advances in Nutrition**, 2(1), 32-50.

Kume, A., Akitsu, T., & Nasahara, K. N. (2018). Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems?. **Journal of Plant research**, 131, 961-972. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1052-7>).

Lee, J. E., Seo, S. M., Huh, M. J., Lee, S. C., & Park, I. K. (2020). Reactive oxygen species mediated-antifungal activity of cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) and lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oils and their constituents against two phytopathogenic fungi. **Pesticide biochemistry and physiology**, 168, 104644. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104644>)

Lezoul, N. E. H., Belkadi, M., Habibi, F., & Guillén, F. (2020). Extraction processes with several solvents on total bioactive compounds in different organs of three medicinal plants. **Molecules**, 25(20), 4672. (DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25204672>)

Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In **Methods in enzymology**, 148, 350-382. (DOI:[https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1))

LINS, A. D. F., OLIVEIRA, M. N., Fernandes, V. O., Rocha, A. P. T., Sousa, F. C., Martins, A. N. A., & Nunes, E. N. (2015). Quantificação de compostos bioativos em erva cidreira (*Melissa officinalis* L.) e capim cidreira [*Cymbopogon citratus* (dc) Stapf.]. **Gaia Scientia**, 9(1), 17-21.

López-Velázquez, J. G., Delgado-Vargas, F., Ayón-Reyna, L. E., López-Angulo, G., Bautista-Baños, S., Uriarte-Gastelum, Y. G., ... & Vega-García, M. O. (2021). Postharvest application of partitioned plant extracts from Sinaloa, Mexico for controlling papaya pathogenic fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. **Journal of Plant Pathology**, 103, 831-842. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s42161-021-00838-w>)

Negreiros, R. J. Z. D., Salomão, L. C. C., Pereira, O. L., Cecon, P. R., & Siqueira, D. L. D. (2013). Controle da antracnose na pós-colheita de bananas-’prata’ com produtos alternativos aos agrotóxicos convencionais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 35, 51-58. (DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100007>)

Nyamath, S., & Karthikeyan, B. (2018). In vitro antifungal activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) leaf extracts. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 7(3), 1148-1151.

Oliveira, S. M. A.; Holanda, S. C. C.; Dantas, F. A. S (2001). Diagnose e manejo de doenças das frutíferas tropicais no Nordeste brasileiro. In: Micherf, S. G.; Barros (Editores.). **Proteção de plantas na agricultura sustentável**, (p. 183-223). Recife: Imprensa Universitária da UFRPE.

Oliveira, V. B., Zuchetto, M., Oliveira, C. F., Paula, C. S., Duarte, A. F. S., Miguel, M. D., & Miguel, O. G. (2016). Efeito de diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por clae-dad de *dicksonia sellowiana* (presl.). Hook, dicksoniaceae. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 18, 230-239. (DOI: https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_106)

Ortega, P., Sánchez, E., Gil, E., & Matamoros, V. (2022). Use of cover crops in vineyards to prevent groundwater pollution by copper and organic fungicides. Soil column studies. **Chemosphere**, 303, 134975. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134975>)

Panić, M., Gunjević, V., Cravotto, G., & Redovniković, I. R. (2019). Enabling technologies for the extraction of grape-pomace anthocyanins using natural deep eutectic solvents in up-to-half-litre batches extraction of grape-pomace anthocyanins using NADES. **Food Chemistry**, 300, 125185. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125185>)

Port's, P. S (2011). Compostos fenólicos e potencial antioxidante de ervas consumidas na região amazônica brasileira. 2011. 97f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP

Queiroz, A. C. M (2019). Ocorrência urbana de plantas medicinais em Ituiutaba, MG. 2019. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Coordenação do Curso de Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Uberlândia, Ituituba MG.

Ramos, E. T. A, de Souza Borges, K. C. A., & Tebaldi, V. M. R. (2012). Atividade bactericida dos extratos hidroalcoólicos de hera-roxa e capim-limão e dos óleos essenciais de orégano, tomilho e melaleuca sobre xanthomonas albilineans. **Cadernos UniFOA**, 7(19), 65-71. (DOI: <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v7.n19.1103>)

Rozwalka, L. C., Lima, M. L. R. Z. D. C., Mio, L. L. M. D., & Nakashima, T. (2008). Extratos, decoctos e óleos essenciais de plantas medicinais e aromáticas na inibição de *Glomerella cingulata* e *Colletotrichum gloeosporioides* de frutos de goiaba. **Ciência Rural**, 38, 301-307. (DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200001>)

Salas, M. P., Céliz, G., Geronazzo, H., Daz, M., & Resnik, S. L. (2011). Antifungal activity of natural and enzymatically-modified flavonoids isolated from citrus species. **Food Chemistry**, 124(4), 1411-1415. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.100>)

Segtowick, E. C. D. S., Brunelli, L. T., & Venturini Filho, W. G. (2013). Avaliação físico-química e sensorial de fermentado de acerola. **Brazilian Journal of Food Technology**, 16, 147-154. (DOI: <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000015>)

Serpa, R., França, E. J., Furlaneto-Maia, L., Andrade, C. G., Diniz, A., & Furlaneto, M. C. (2012). In vitro antifungal activity of the flavonoid baicalein against *Candida* species. **Journal of medical microbiology**, 61(12), 1704-1708. (DOI: <https://doi.org/10.1099/jmm.0.047852-0>)

Silva, E. V (2013). Farelos dos frutos de *Geoffroea spinosa*: composição química, caracterização térmica e físico-química e aplicação como aditivos de pães. Mestrado (**Dissertação de Mestrado**). Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa PB.

Silva, N. L., Araújo, Í. P. C., Batista, M. R. F., Santos, T. B. A., Fernando, W. L., & Amaral, F. R. (2017). Determinação da atividade antioxidante e do teor de flavonoides totais equivalentes em quercetina em extrato aquoso de folhas de *Cymbopogon citratus* (dc) stapf e *Melissa officinalis* lam obtidos por decocção. **Conexão Ciência**, Formiga-MG, 12(1), 46-53. (DOI: <http://dx.doi.org/10.24862/ccov12i1.499>)

Sousa, V. B. R. (2018) Efeito antimicrobiano fenólicos totais de extratos aquosos de erva cidreira (*Lippia alba*), capim santo (*Cimnopogon citratus*) e eucalipto (*Eucalyptus globulus*). **Monografia** (curso de Química Industrial) Universidade Federal do Maranhão, São Luís MA.

SOUZA, Pércia Graczyk *et al.* Natural Extracts from *Eugenia brasiliensis* Lam Leaves to Improve the Shelf-Life of Fresh Tomatoes. **Waste and Biomass Valorization**, v. 14, n. 4, p. 1293-1304, 2023. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01941-4>)

Tavares, F. R. G. (2014). Prospecção e obtenção de compostos com potencial terapêutico, a partir de subprodutos industriais. **Mestrado em Química Farmacêutica Industrial**. Universidade de Coimbra, Portugal.

Torres, D. E. G., Assunção, D., Mancini, P., Torres, R. P., & Mancini-Filho, J. (2002). Antioxidant activity of macambo (*Theobroma bicolor* L.) extracts. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 104(5), 278-281. (DOI: [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200205\)104:5<278::AID-EJL-T278>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200205)104:5<278::AID-EJL-T278>3.0.CO;2-K))

Vizzoto, M.; Pereira, M.C. (2009). Metodologia científica: otimização do processo de extração de compostos fenólicos antioxidantes de mirtilo (*Vaccinium ashei* Reade). Embrapa Clima Temperado, Ariano Martins Junior (Editor). **Pelos RS: Boletim de Pesquisa e desenvolvimento**, Embrapa.

Wang, C. Y., Lou, X. Y., Cai, Z., Zhang, M. Z., Jia, C., Qin, J. C., & Yang, Y. W. (2021). Supramolecular nanoplatform based on mesoporous silica nanocarriers and pillararene nanogates for fungus control. **ACS Applied Materials & Interfaces**, 13(27), 32295-32306. (DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.1c08582>).

Yemo, N. Y., Tsopmbeng, G. R. N., Keuete, K. E., & Nchongboh, C. G. (2017). Antifungal activities of plant extracts against coffee berry disease caused by *Colletotrichum kahawae* L. **International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology**, 4(7), 60-66.

Nguyen, Y., Noumbo, G. T., Kajdoum, E. K., & Nchongboh, C. G. (2017). Antifungal Activities of Plant E, extracts against coffee berry disease caused by *Colletotrichum kahawae*, 60-66.

Waterhouse, A. (2006). Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and viticulture**, 48, 357-363.

Yeshe, K., Crayn, D., Ritmejeriyè, E., & Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses has potential application in pharmaceutical product development. **Molecules**, 27(1), 313. (DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27010313>)