

UNIVERSIDADE DE UBERABA

WELISSON MARTINS ROCHA

EFEITO FUNGICIDA DAS FRAÇÕES SOLÚVEIS DA CAVALINHA

(Equisetum hyemale)

UBERABA/MG

2022

WELISSON MARTINS ROCHA

EFEITO FUNGICIDA DAS FRAÇÕES SOLÚVEIS DA CAVALINHA

(Equisetum hyemale)

Dissertação de conclusão de curso apresentado ao Mestrado Profissional em Engenharia Química da Universidade de Uberaba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador (a) Prof. (a): Dr. Leonardo Campos de Assis.

Co-orientador: Prof.Dr. José Roberto D.Finzer.

Co-orientador: Prof. Dr.^a Thaís Oliveira Ramalho Bean.

UBERABA/MG

2022

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

R582e Rocha, Welisson Martins.
Efeito fungicida das frações solúveis da cavalinha (*Equisetum hyemale*) /
Welisson Martins Rocha. – Uberaba, 2022.
60 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de
Mestrado em Engenharia Química, concentração: Desenvolvimento de
Processos Químicos Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis.

Coorientadores: Prof. Dr. José Roberto D. Finzer; Profa. Dra. Thaís
Oliveira Ramalho Bean.

1. Plantas medicinais. 2. Processos de secagem. 3. Extração (Engenharia
Química). I. Assis, Leonardo Campos de. II. Finzer, José Roberto D. III.
Bean, Thaís Oliveira Ramalho. IV. Universidade de Uberaba. Programa de
Mestrado em Engenharia Química. V. Título.

CDD 615.321

WELISSON MARTINS ROCHA

EFEITO FUNGICIDA DAS FRAÇÕES SOLÚVEIS DA CAVALINHA (*Equisetum Hyemale*)

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

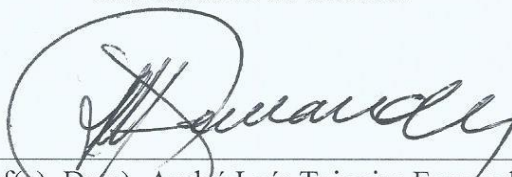
Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 31/03/2022

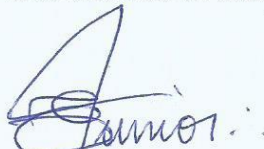
BANCA EXAMINADORA:



Prof(a). Dr(a). Leonardo Campos de Assis - Orientador
Universidade de Uberaba



Prof(a). Dr(a). André Luís Teixeira Fernandes
Universidade de Uberaba



Prof(a). Dr(a). Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Universidade Federal de Uberlândia



Prof(a). Dr(a). José Roberto Delalibera Finzer
Universidade de Uberaba

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível, e aos meus pais, por todo apoio durante esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao orientador, Professor Doutor Leonardo Campos de Assis, pelo suporte durante a execução do trabalho, pelas suas correções e incentivos.

Ao professor Doutor José Roberto Delalibera Finzer, pela sua paciência, atenção e pelas conversas enriquecedoras.

Ao Mestre Fabricio Gomes Menezes Porto, pela oportunidade de realização do projeto e por todo ensinamento durante esse período.

À professora Thais Oliveira Ramalho Bean, pela disposição de seu laboratório, pelo ensinamento na área microbiológica e pela paciência e atenção.

À SATIS (Satis Indústria e Comércio Ltda.), FAZU (Faculdades Associadas de Uberaba), à UNIUBE (Universidade de Uberaba) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), por todos equipamentos e materiais disponibilizados ao projeto e todo auxílio que tive por essas instituições.

E a todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado

RESUMO

Questões relativas à preservação do meio ambiente e à saúde humana vem sendo cada vez mais motivo de preocupação por parte da população. Dessa forma, é crucial que a evolução da tecnologia e o desenvolvimento de produtos contemplem esse conteúdo. Um dos temas de estudo na produção agroquímicos é a substituição de matérias-primas, em que o uso de plantas medicinais vem sendo uma alternativa. Por serem matéria orgânica, não prejudiciais ao meio ambiente, possuem baixo custo, além de apresentar em suas composições substâncias que permitem a nutrição e proteção em plantações. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi elaborar e avaliar o efeito de extratos solúveis de *Equisetum hyemale* (Cavalinha) no crescimento do fitopatógeno *Exserohilum turcicum*. Tal fungo é conhecido popularmente como mancha foliar e foi escolhido por causar prejuízo às plantações, uma vez que ataca os tecidos fotossintéticos de planta, impedindo a fotossíntese fazendo com que o transporte de nutrientes não ocorra. A Cavalinha foi escolhida por conter sílica em sua composição, substância potencialmente capaz de induzir a resposta imunológica de plantas, evitando pragas e patógenos. Foram produzidos dois tipos de extrato de Cavalinha, um alcoólico e um alcalino. Para produção do extrato alcoólico, foi realizada a colheita, posteriormente efetuou-se a higienização da matéria-prima, a pré-secagem, a moagem, a extração sólido-líquido e a filtração à vácuo. A produção do extrato alcalino foi disposta da colheita da matéria-prima, higienização, moagem, preparo de solução alcalina, extração por hidrólise alcalina e filtragem. Para avaliação de resultados efetuou-se análises de umidade, pH, inoculação do *Exserohilum turcicum* com ataque dos extratos produzidos, tendo como fonte avaliação o Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) e o Percentual de Inibição de Crescimento (PIC). Verificou-se que os extratos absorveram a sílica presente na Cavalinha e, comparando os resultados do extrato alcalino com o extrato alcoólico, o alcalino demonstrou superioridade por apresentar PIC de 25,72% e IVCM de 30% superior ao alcoólico, confirmando que o extrato teve inibição contra o *Exserohilum turcicum*.

Palavras-chave: Secagem; Planta Medicinal; Extração.

ABSTRACT

Issues related to the preservation of the environment and human health have been increasingly a matter of concern for the population. Thus, it is crucial that the evolution of technology and the development of products contemplate this content. One of the topics of study in agrochemical production is the replacement of raw materials, in which the use of medicinal plants has been an alternative. As they are organic matter, not harmful to the environment, they have low cost, in addition to presenting in their compositions substances that allow nutrition and protection in plantations. Within this context, the objective of this work was to elaborate and evaluate the effect of soluble extracts of *Equisetum hyemale* (Horsetail) on the growth of the phytopathogen *Exserohilum turcicum*. This fungus is popularly known as leaf spot and was chosen because it causes damage to crops, since it attacks the photosynthetic tissues of the plant, preventing photosynthesis, preventing the transport of nutrients from occurring. Horsetail was chosen because it contains silica in its composition, a substance potentially capable of inducing the immune response of plants, preventing pests and pathogens. Two types of horsetail extract were produced, one alcoholic and one alkaline. For the production of the alcoholic extract, the harvest was carried out, afterwards the raw material was cleaned, pre-drying, milling, solid-liquid extraction and vacuum filtration were carried out. The production of the alkaline extract was arranged by harvesting the raw material, cleaning, grinding, preparing an alkaline solution, extracting it by alkaline hydrolysis and filtering. To evaluate the results, analyzes of humidity, pH, inoculation of *Exserohilum turcicum* with attack of the extracts produced were carried out, having as source evaluation the Mycelial Growth Velocity Index (IVCM) and the Growth Inhibition Percentage (PIC). It was verified that the extracts absorbed the silica present in Cavalinha and, comparing the results of the alkaline extract with the alcoholic extract, the alkaline showed superiority for presenting PIC of 25.72% and IVCM of 30% higher than the alcoholic, confirming that the extract had inhibition against *Exserohilum turcicum*.

Keywords: Drying; Medicinal Plant; Extraction

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CURVA DE SECAGEM 1	19
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DE OBTENÇÃO DE EXTRATO DE CAVALINHA.....	30
FIGURA 3 - EXEMPLARES DE <i>EQUISETUM HYEMALE</i>	30
FIGURA 4 - AMOSTRAS DE CAVALINHA COM CORTE DE ADEQUAÇÃO	31
FIGURA 5 - SECADOR PARDAL MODELO NEW HOBBY DIGITAL.....	32
FIGURA 6 - MOINHO DE FLUXO CONTÍNUO MARCONI MODELO MA600	32
FIGURA 7 - MECANISMO DE EXTRAÇÃO	34
FIGURA 8 - BOMBA DE VÁCUO COM KITASSATO E FUNIL DE BUCHNER.....	35
FIGURA 9 - BALANÇA DETERMINADORA DE UMIDADE METTLER TOLEDO	37
FIGURA 10 - PENEIRAS GRANULOMÉTRICAS	39
FIGURA 11 - MEDIDOR DE PH MS TECBOPON LUCA-210.....	40
FIGURA 12 - GRÁFICO DE ANÁLISE DE PORCENTAGEM DE SILÍCIO NO EXTRATO DE CAVALINHA	43
FIGURA 13 - GRÁFICO DO TEOR DE SÓLIDOS NO FILTRADO	45
FIGURA 14 - EXTRATOS E SÓLIDOS RESIDUAIS DE FILTRO	46
FIGURA 15 - GRÁFICO DO ÍNDICE DE VELOCIDADE DE CRESCIMENTO MICELIAL (IVCM).....	48
FIGURA 16 - DEMONSTRAÇÃO DO CRESCIMENTO MICELIAL DO <i>EXSEROHILUM TURCICUM</i>	50
FIGURA 17 - GRÁFICO DA RELAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE % KOH COM % DE SILÍCIO.....	52
FIGURA 18 - GRÁFICO DO ÍNDICE DE VELOCIDADE DE CRESCIMENTO MICELIAL (IVCM) COM KOH	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EXEMPLO DE SOLVENTE EXISTENTES.....	21
TABELA 2 - VARIÁVEIS PROPOSTAS PELO PLANEJAMENTO DO COMPOSTO CENTRAL.....	33
TABELA 3 - MALHAS DE PENEIRAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE	38
TABELA 4 - RESULTADOS DE PH DOS EXTRATOS DE <i>EQUISETUM HYEMALE</i> (CAVALINHA).....	47
TABELA 5 - RESULTADOS DE PERCENTUAL DE INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO MICELIAL (PIC)	49
TABELA 6 - RESULTADOS ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS DO PIC 50	
TABELA 7 - PORCENTAGEM DE SILÍCIO EM EXTRATO COM KOH	51
TABELA 8 - RESULTADOS DE PERCENTUAL DE INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO MICELIAL (PIC) COM KOH	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCC.....	Planejamento do Composto Central
IVCM.....	Índice de Velocidade de Crescimento Micelial
PIC.....	Porcentagem de Inibição do Crescimento Micelial
BDA.....	Agar Batata Dextrose
ANOVA.....	Análise de Variância
DIC.....	Delineamento Inteiramente Casualizado
ET.....	<i>Exserohilum turcicum</i>
Ds.....	Diâmetro de Sauter
Xi.....	Fração de massa retida de duas peneiras
Di.....	Média aritmética entre aberturas de peneiras
H ₂ O.....	Água
C ₂ H ₅ OH.....	Álcool Etílico
Si.....	Silício
Mn.....	Manganês
F.....	Ferro
H ₄ SiO ₄	Ácido Ortossilícico
Ca.....	Cálcio
Cl.....	Cloro
Mg.....	Magnésio
Na.....	Sódio
S.....	Enxofre
P.....	Flúor
K.....	Potássio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 CAVALINHA (Equisetum hyemale).....	18
3.2 SECAGEM.....	18
3.3 MOAGEM.....	19
3.4 SOLVENTES	20
3.5 TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO	22
3.5.1 Extração por fluido supercrítico	22
3.5.2 Extração sólido-líquido.....	22
3.5.3 Extração por pressão	23
3.5.4 Extração líquido-líquido	23
3.6 FILTRAÇÃO	23
3.7 SILÍCIO EM MEIO AGRÍCOLA.....	24
3.8 FUNGOS.....	26
3.9 MÉTODOS ESTATÍSTICOS	27
3.9.1 Planejamento de composto central (pcc ou ccd).....	27
3.9.2 Teste de hipótese.....	27
3.9.3 Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC).....	28
3.10 HIDRÓLISE ÁCIDA E ALCALINA	28
3.10.1 Hidrólise alcalina	28
3.10.2 Hidrólise ácida	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO	30

4.1.1 Colheita de cavalinha (equisetum hyemale)	30
4.1.2 Corte e higienização de cavalinha (equisetum hyemale).....	31
4.1.3 Pré-secagem	31
4.1.4 Moagem	32
4.1.5 Planejamento Do Composto Central (PCC)	33
4.1.6 Extração alcoólica.....	34
4.1.7 Filtração à vácuo	35
4.2 EXTRAÇÃO POR HIDRÓLISE ALCALINA.....	35
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	36
4.3.1 Quantificação de silício	36
4.3.2 Quantificação de umidade.....	36
4.3.3 Peneiramento e diâmetro de Sauter.....	38
4.3.4 Teor de sólidos no filtrado alcoólico	39
4.3.5 Medição de PH.....	39
4.3.6 Inoculação de Exserohilum Turcicum (ET).....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 ANÁLISE DE SILÍCIO	43
5.2 UMIDADE	44
5.3 PENEIRAMENTO E DIÂMETRO DE SAUTER	44
5.4 TEOR DE SÓLIDOS NO FILTRADO ALCOÓLICO	44
5.5 ANÁLISE DE pH.....	46
5.6 INOCULAÇÃO DE Exserohilum Turcicum (ET).....	47
5.7 EXTRAÇÃO POR HIDRÓLISE ALCALINA.....	51
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE A - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA CAVALINHA PÓS-MOAGEM	61

APÊNDICE B - RESULTADOS DE PROCEDIMENTOS PROPOSTOS PELO (PCC)	
PRIMEIRA PARTE.....	62

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, perdas por mato-competição (culturas principais prejudicadas por plantas daninhas em seu desenvolvimento) são um dos principais fatores restritivos de produção da soja, correspondendo por 20% a 30% em relação a todas as culturas e o prejuízo alcança 9 bilhões de reais (FOWLER, 2020).

Plantações estão expostas a uma ampla gama de patógenos causadores de doenças que, em sua maioria, são controladas mediante a utilização de agroquímicos que podem desencadear efeitos maléficos tanto ao meio ambiente quanto à saúde de operadores e consumidores. (GUIMARÃES *et al.*, 2015)

Os agroquímicos, segundo Fowler (2020, p. 57), “são produtos físicos, químicos ou biológicos utilizados na produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas”. Eles visam alterar a fauna e a flora agrícola com a finalidade de prevenir doenças, pragas, entre outros, para um melhor rendimento de produtos. Eles podem ser maléficos ou benéficos à saúde humana e ao meio ambiente.

O Brasil é um país que possui uma grande demanda alimentar e tem uma imensa preocupação no que diz respeito à preservação do meio ambiente e saúde humana e, para que apresente melhoras, a evolução dos agroquímicos (ou defensivos agrícolas) é crucial para se manter em alto nível no ramo agropecuário (FOWLER *et al.*, 2020). Assim, estudos mostram o potencial de plantas medicinais no controle fitopatogênico apresentando sua ação como defensivo agrícola.

As plantas medicinais possuem substâncias responsáveis principalmente por ações fitoterapêuticas. Atualmente, estão sendo bastante utilizadas como recurso medicinal alternativo para tratamento de diversas enfermidades, apresentando grande potencial contra inúmeras pragas e doenças desenvolvidas no meio agrícola, diminuindo a degradação de solos por serem matéria orgânica, além de terem custos menores, sendo mais acessíveis à população (CARNEIRO *et al.*, 2014).

Esse potencial se deve por suas composições, por apresentar vantagens como menores custos e menos prejudiciais ao homem e meio ambiente, são meios disponíveis facilmente para agricultores, e por esses motivos pode superar produtos sintéticos em propriedades fungitóxicas (VENTUROSO *et al.*, 2011).

A planta medicinal *Equisetum hyemale* – conhecida como cavalinha, cavalinha-gigante, erva-canudo, rabo-de-cavalo, entre outros – apresenta grande potencial para uso como

defensivo agrícola, por apresentar em sua composição o Silício, e, por meio desse nutriente, auxilia na resposta imunológica das plantas. A *Equisetum* pertence à família das *Equisetaceae*, nativa do continente americano, sendo distribuída por todo território brasileiro, com maior ocorrência no Sul do país (QUEIROZ *et al.*, 2014).

Em seres humanos, é muito utilizada para o tratamento de doenças reumáticas, cálculos renais e demais infecções do trato urinário, tendo também uma grande ação diurética, anti-hemorrágica e anti-anêmica. Em relação às plantas, a Cavalinha atua na indução de sua resistência pela ativação das fitoalexinas, que são metabólitos secundários que demonstram ações na proteção contra vários tipos de patógenos (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

Na cultura da soja, segundo Guimarães *et al.* (2015, p. 57), “a fitoalexina gliceolina mostra-se importante na interação dessa leguminosa com fitopatógenos, utilizando seus cotilédones como ferramenta de estudos envolvendo ação elicitora de moléculas de origem biótica e abiótica”. Segundo os autores, o preparo de extrato de Cavalinha apresenta uma redução no crescimento do fungo *Rhizoctonia Solani*.

Com isso, devido às plantas serem organismos eucariontes multicelulares e a existência de inúmeros microrganismos, cada espécie pode reagir de variadas formas com o extrato de cavalinha. Sendo assim, a Cavalinha demonstra um imenso potencial de ativação de resposta de defesa vegetal, por conta do percentual de Silício (Si) presente em sua composição.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito de extratos solúveis de cavalinha no crescimento do fitopatógeno *Exserohilum turcicum*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o desempenho da extração sólido-líquido com solvente alcoólico e da extração alcalina para obtenção de solúveis de cavalinha;
- Avaliar o potencial de solúveis de cavalinha (*Equisetum hyemale*) na inibição do crescimento do fungo *Exserohilum turcicum*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CAVALINHA (*Equisetum hyemale*)

A Cavalinha é nativa do continente americano, pertencente à família *Equisetaceae*. É uma planta perene, podendo chegar entre 20 e 65 cm, seus caules são verdes, sulcados, ocos com ramos que se multiplicam geralmente de dois em dois no caule. Ela é considerada uma planta medicinal, que muitas das vezes combate doenças infecciosas ou inflamatórias por conta de nutrientes de sua composição (PEREIRA *et al.*, 2019). É composta por Ácido Sílico, Ácido Gálico, Resinas, Sais de Potássio, Tiaminas, Luteolina, Saponinas, Compostos Orgânicos como Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Flúor (F), Manganês (Mn), Silício (Si), Enxofre (S), Fosforo (P), Cloro (Cl), Potássio (K) Triglicerídeos (Ácido Oléico, Esteárico, Lenoléico, Elinolênico), Óleos, Flavonóides (Isoquercetina, Esquitrina, Canferol, Galutenina, Fitosterol), Alcalóides (Metosapiridina, Nicotina, Palustrina, Palustrinina), Vitamina C e Taninos (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

3.2 SECAGEM

A operação de secagem é definida como uma etapa de transferência de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. Tal retirada de água só pode ser realizada até o equilíbrio e o produto não deve perder suas qualidades nutritivas, para preservar sua aparência. Assim, pode-se dizer que a operação faz parte do pré-processamento de produtos, visando a retirada de água presente no material mantendo suas principais características (SILVA *et al.*, 2018).

Ainda segundo os mesmos autores, durante a secagem, a extração de umidade é obtida por movimentação de água, pela diferença de pressão de vapor d'água entre superfície do material a ser secado e o ar sobre ele. A velocidade de secagem, em questões gerais, depende muito do tamanho da partícula a ser analisada que, por consequência, partículas menores secarão em maior velocidade do que partículas de tamanho maiores e de suas camadas protetoras; por esse motivo, partículas sem camadas protetoras terão maior velocidade em relação às com camadas (SILVA *et al.*, 2018).

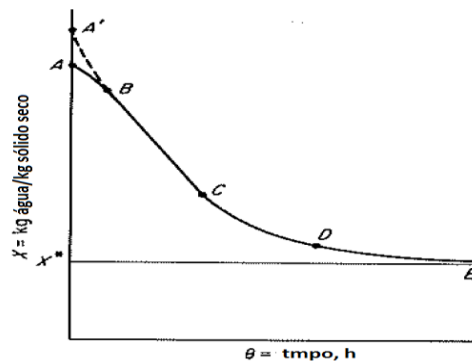
Uma das vantagens da exposição do material ao ar aquecido é a diminuição da proliferação de microrganismos; porém, uma das desvantagens seria ocorrer um aumento de algumas transformações químicas devido à maior concentração de outros componentes

moleculares presentes no material. Um exemplo é em materiais alimentícios com porcentagens consideráveis de óleo, em que, naturalmente, poderia ocorrer uma oxidação da gordura conhecida como rancificação (BOBBIO *et al.*, 2001). Assim, realizando-se a etapa de secagem, parte da umidade será retirada, controlando o crescimento microbiano, por não ter um percentual de água necessário para seu crescimento desenvolvendo sua atividade metabólicas (GAVA, 1984; FRANCO, 1996).

O desempenho da secagem, na maioria das vezes, é demonstrado por um gráfico que apresenta a curva de secagem. Nesse modelo de gráfico, conseguimos aferir o quão foi satisfatório o procedimento e em qual momento o material a ser secado demonstrou a que a umidade estava próximo ao valor desejado. Na Figura 1, apresenta-se um esquema de curva de secagem.

Nota-se na Figura 1 que A, B, C, D e E são pontos da curva, sendo que A é o material em sua constituição inicial e, com o passar do tempo, ele vai perdendo umidade gradativamente, até que o material chegue em E, que é seu estado de equilíbrio onde não perderá mais umidade.

FIGURA 1 - CURVA DE SECAGEM 1



Fonte: MAcCABE; SMITH; HARRIOT (2001)

3.3 MOAGEM

Em muitos processos industriais, pode haver a necessidade de redução de tamanho das partículas sólidas, entretanto, essa redução pode dar origem a um novo produto, ou apenas aumentar a superfície de contato entre o sólido e o solvente. A moagem é uma operação unitária, que tem a finalidade de redução de tamanhos de partículas pela aplicação de forças de impacto, compressão e abrasão, sendo constantemente utilizada com grãos e cereais (ROCHA *et al.*, 2018).

O sistema pode ser considerado ineficaz do ponto de vista energético. Somente uma pequena parte da energia é empregada realmente para a ruptura ou fragmentação do sólido, pois a maior parte é usada para a deformação desse sólido e a criação de novas linhas de sensibilidade, que podem produzir a ruptura sucessiva dos fragmentos, o restante da energia se dissipa em forma de calor, gerando assim uma grande perda de energia durante o processo (STREIT *et al.*, 2000).

As vantagens de redução da extensão de partícula com o processamento se devem ao aumento da relação superfície/volume, aumentando a eficiência de futuras extrações, aquecimentos, resfriamentos, dentre outros. Uniformidade do tamanho do produto é uma grande vantagem que o processo também apresenta, sendo que, nesse caso, a uniformidade auxilia em homogeneizações de produtos (STREIT *et al.*, 2000).

Atualmente no mercado, há inúmeros modelos de moinhos, dentre eles, têm-se os moinhos de rolos, que são muito utilizados em moagens de cereais, que fornecem um produto com textura mais uniforme. Seu funcionamento acontece com dois ou mais cilindros girando em direções contrárias, forçando as partículas a receberem forças de compressão (STREIT *et al.*, 2000).

Outro modelo muito utilizado é o moinho de facas e martelos, que fornece um material mais fino que o anterior e, assim como o moinho de rolos, é também indicado a cereais destinados à extração de solúveis do pó. O moinho funciona com um rotor de alta velocidade que gira no interior de uma capa cilíndrica; no exterior do rotor, são acoplados uma série de martelos, sendo assim, a moagem ocorre pelo impacto dos martelos no material (STREIT *et al.*, 2000).

3.4 SOLVENTES

Pode ser dito que toda substância chamada de dispersante, que no caso permite que o soluto se espalhe por sua composição, é um solvente. Existem inúmeras espécies de solventes, que são classificados pela família química a que pertencem, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de solvente existentes

Família	Solventes
Hidrocarbonetos aromáticos	Benzeno, Tolueno e Xileno;
Hidrocarbonetos alifáticos	Hexano, Heptano e Benzina;
Álcoois	Álcool Metílico, Álcool Etílico e Álcool Propílico;
Cetonas	Acetona, Metil Etil Cetona e Metil Isobutil Cetona;
Ésteres	Acetato de Etilo e Acetato de Butilo;
Éteres	Éter Dibutílico, Éter Dimetílico e Éter Etílico;
Hidrocarbonetos	Cloreto de Metileno, Dicloreto de Etileno, Tetra Cloro Etileno, Tetracloro de Carbono, Tricloro
Halogenados	Etano e Tricloro Etileno;

Fonte: Mota (2007)

Dentre todas as classes, os hidrocarbonetos foram os primeiros a serem comercializados com o benzeno. Tal matéria-prima, nos anos de 1849, era produzido pelo carvão e só em 1941 passou a ser obtida através do petróleo, sendo essa obtenção até os dias atuais (MEDEIROS *et al.*, 2022). Como principais grupos de solventes, vemos os hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos alifáticos, álcoois, cetona, ésteres, éteres, hidrocarbonetos e halogenados.

Os Hidrocarbonetos aromáticos são formados por átomos de carbono e hidrogênio e detém de uma estrutura básica de anel e núcleo aromático composto por cadeia fechada. Já Hidrocarbonetos alifáticos, diferentemente dos aromáticos, possuem cadeia aberta ou acíclica. Os álcoois apresentam em sua cadeia o grupo hidroxila ligada a um ou mais carbonos e as cetonas possuem grupo funcional carbonila (MEDEIROS *et al.*, 2022).

Já os ésteres possuem um radical carbônico no lugar do hidrogênio dos carboxílicos e, por conta dessa exclusividade, faz com que suas espécies difiram umas das outras, já os éteres contêm oxigênio entre os átomos de carbono e, por fim, os halogenados apresentam em sua cadeia carbônica pelo menos um átomo pertencente ao grupo dos halogênios, por exemplo, flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br), dentre outros. Apresentadas as características de cada família de solvente, é possível selecionar qual grupo cada solvente se enquadra (MARTINS *et al.*, 2013).

3.5 TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO

A extração pode ser definida como um sistema de separação, em que ocorre uma divisão de substâncias em uma mesma fase, que pode ser sólida ou líquida. Atualmente, os métodos mais utilizados para uma extração são: líquido-líquido, sólido-líquido, pressão e extração com fluido por supercrítico.

3.5.1 Extração por fluido supercrítico

O fluido supercrítico é um estado da matéria em que suas características se encontram acima dos seus pontos críticos, pressão crítica e temperatura crítica. Nessas condições, o fluido de extração não pode ser liquefeito, por conta de um aumento de pressão. No cenário atual de mercado, em que são buscadas alternativas de custo baixo, o CO₂ é o fluido supercrítico mais utilizado, pois, além da questão financeira, ele é um composto relativamente não-tóxico, não-inflamável e, comparando com outros fluidos, possui uma baixa temperatura e pressão crítica, além ser de fácil remoção após o processo ser realizado. Contudo, o processo como um todo é oneroso, devido às condições operacionais e equipamentos requeridos (QUEIROZ *et al.*, 2001).

Esse tipo de extração é um método de separação de substâncias em que, ao invés de ser utilizado algum tipo de solvente em fase líquida ou gasosa, é utilizado um fluido supercrítico. Esse método é bastante utilizado na extração de solúveis em sólidos, porém, pode ser usado na extração de solúveis em líquidos (MAUL *et al.*, 1996).

3.5.2 Extração sólido-líquido

A extração sólido-líquido ou lixiviação consiste na técnica de solubilizar um, ou mais constituintes de uma mistura através do contato com um solvente líquido; com esse método, é possível isolar um componente puro a partir de uma mistura, através da separação desse componente com outros componentes (MEIRELLES *et al.*, 2019).

Esse método pode ser tanto utilizado para a obtenção de uma nova substância quanto de purificação de uma substância. Sendo assim, tem-se o interesse na separação de um soluto que seria o produto desejado, ou então, a remoção de impurezas de um sólido agregando valor no material e descartando ou reaproveitando o soluto extraído da substância utilizada inicialmente (COELHO *et al.*, 2015).

3.5.3 Extração por pressão

Esse método é considerado o mais antigo para a extração, ocorrendo com a aplicação de pressão sobre um material. Geralmente em indústrias, essa pressão é aplicada com uma prensa. Ao passar dos tempos, com o desenvolvimento e a modernização, as prensas de alavancas foram substituídas por prensas de tipo parafuso e, atualmente, já são utilizadas prensas contínuas e hidráulicas, em escala industrial (SANTOS *et al.*, 2011).

3.5.4 Extração líquido-líquido

O método de extração líquido-líquido – ou extração por solvente – é um processo em que ocorre a separação de compostos entre dois líquidos diferentes. Para que a extração ocorra por esse método, é importante que a separação seja baseada em suas diferentes solubilidades em dois líquidos diferentes imiscíveis. Normalmente, o mais utilizado é água e um solvente orgânico (SANTOS *et al.*, 2011). A afinidade do soluto pelo solvente de extração é de extrema importância para a eficiência da extração e outra variável que deve ser considerada é a razão das fases e do número de extrações (QUEIROZ *et al.*, 2001).

Essa operação apresenta vantagens por ser um método simples, que pode ser utilizado com variados tipos de solventes puros e disponíveis comercialmente, nos proporcionando uma vasta faixa de solubilidade e seletividade. No entanto, também há desvantagens, como as amostras possuírem uma alta afinidade pela água que, no caso, ocorre a extração parcial pelo solvente orgânico, resultando em perda do analito. Impurezas do solvente geralmente são concentrados juntos com a amostra, isso seria resolvido com a utilização de solventes ultrapuros. Outra desvantagem seria a formação de emulsões acarretando um grande consumo de tempo (QUEIROZ *et al.*, 2001).

3.6 FILTRAÇÃO

Essa operação é utilizada quando se deseja separar partículas sólidas de um fluido através de um meio filtrante, em razão de um diferencial de pressão (por ação da gravidade, aplicação de pressão superior à atmosférica ou ainda sob vácuo), propiciando que o fluido flua através do meio com a conseqüente formação ou acúmulo do material sólido sobre o meio filtrante, denominada torta (MEIRELLES *et al.*, 2019).

A filtração se constitui em um caso especial de escoamento de fluidos através de meios porosos, em que a resistência ao escoamento vai aumentando à medida que aumenta a espessura da camada da torta formada e/ou o entupimento dos poros do meio filtrante. A operação de filtração pode ser conduzida em condições de diferencial de pressão constante ou a vazão volumétrica constante (MEIRELLES *et al.*, 2019).

Dependendo do tipo de indústria, pode ser que o interesse seja o filtrado ou os sólidos retidos. Podem também operar em processo contínuo ou em batelada. Na indústria de alimentos, a filtração é empregada para clarificar líquidos pela remoção de pequenas quantidades de partículas sólidas, como em vinhos, cerveja, óleos e xaropes (MEIRELLES *et al.*, 2019).

Em laboratório, existem basicamente cinco tipos de filtração. O primeiro é o mais comum entre eles, sendo utilizado o papel filtro qualitativo e um funil comum. O segundo é usado em análises quantitativas e seu filtro, diferentemente do primeiro método, apresenta menores percentuais de cinzas por serem lavados com ácido clorídrico e fluorídrico, apresentando diversos modelos com inúmeras texturas. O funil é um sistema analítico, que apresenta um tubo com saída longa assim em contato com o líquido, acelera a operação de filtração (FOUST *et al.*, 1980).

A filtração com funil de *Buchner* ou Cadinho de *Gooch*, conhecido como filtração à vácuo, também é uma opção para a operação. Esse método é realizado com o auxílio de uma trompa de vácuo e kitassato, em que uma placa plana perfurada é adaptada com um disco de papel filtro. Assim, com auxílio de vácuo, ocorre a sucção, fazendo com que o composto seja separado entre parte líquida e sólida (FOUST *et al.*, 1980).

Uma quarta opção é a filtração em cadinhos com placas porosas, podendo ser de porcelana ou vidro. Geralmente, é utilizada com soluções alcalinas, quando a própria placa é o filtro. Por fim, tem-se a filtração à quente: nesse método, uma grande aplicação é na extração de solúveis do café, em que o líquido, por estar em alta temperatura, tem sua viscosidade reduzida, facilitando a separação da borra do café e o líquido (MEIRELLES *et al.*, 2019).

3.7 SILÍCIO EM MEIO AGRÍCOLA

O silício em meio agrícola tem sido obtido através de extratos vegetais, assim sendo extraído por variados métodos. Ele trabalha aumentando a resistência natural das plantas, possibilitando uma agricultura mais sustentável, com menor custo e ecologicamente correto, ajudando na crescente demanda de produtividade em áreas plantadas (FERNANDES *et al.*, 2009).

Na atualidade, é sabido que a capacidade das plantas na absorção de silício (Si) difere uma das outras, que constitui de 0,1% a 10% da matéria seca das mesmas. Para tanto, existem inúmeros estudos demonstrando o grande potencial desse elemento em meio agrícola (QUEIROZ *et al.*, 2018).

As safras brasileiras se deparam com muitos problemas durante seu cultivo, entre eles estão as pragas, os patógenos, a fertilidade do solo e até mesmo as adversidades climáticas, acarretando a diminuição do rendimento e a depreciação da qualidade de insumos. Dessa forma, é de suma importância a utilização de nutrientes necessários durante o ciclo de cultura, visando a diminuição ou até mesmo a não ocorrência de adversidades em cultivos.

Segundo Pereira *et al.* (2009, p. 58), “O silício (Si) tem aumentado a resistência de várias espécies, na maioria monocotiledôneas, as pragas e as doenças, bem como a diversos tipos de estresses abióticos tais como altas temperaturas, toxidez de ferro e manganês as raízes”. Assim, a utilização do Silício (Si) torna-se necessária, pois apresenta benefícios às plantas e solos, demonstrando grandes potenciais em questões de resistência imunológica, evitando ataques de insetos, nematoides, bactérias e fungos, melhorando seu estado nutricional e possivelmente aspectos da eficiência fotossintética (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2010).

Outra melhoria do uso do elemento, segundo Pereira Júnior (2010, p. 58), é “o fornecimento de Silício (Si) às plantas pode aliviar a toxidez de Manganês (Mn) e Ferro (Fe)”. Isso se deve ao fato da redução de absorção desses elementos e pelo aumento do nível de rejeição da planta com o excesso de Manganês (Mn) em seus tecidos. A absorção do elemento nas plantas se deve pelo ácido Ortossilícico (H_4SiO_4) e água (H_2O) (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2010).

A teoria de redução da intensidade das doenças pelo Silício (Si) deve-se, em parte, a união desse elemento com a parede celular e abaixo da cutícula de plantas, assim formando uma dupla camada entre sílica e cutícula, essa dupla camada contendo sílica geralmente atua como uma barreira física impedindo ou atrasando a penetração de fungos e patógenos (SCHURT *et al.*, 2015).

Na crosta terrestre, o segundo elemento mais encontrado é o Silício (Si), sendo constituído na forma de silicatos e quartzo. Geralmente, é dessa maneira que ele é introduzido em cultivos, sendo aplicados via solo ou foliar. Atualmente, os silicatos são as principais fontes do elemento utilizado no Brasil, porém, com o desenvolvimento da tecnologia, novos estudos vêm sendo utilizados, demonstrando a eficiência de plantas medicinais contendo o composto e, assim, substituindo a principal matéria-prima, sendo eles os silicatos (QUEIROZ *et al.*, 2018).

3.8 FUNGOS

Para a obtenção de resultados em processos de produção de defensivos agrícolas, é de suma importância seu ataque em fungos, garantindo a eficiência em meio agrícola. Para tanto, foi utilizado o *Exserohilum turcicum*, por ser um fungo muito presente em culturas de milho e que requer atenção para seu controle.

O *Exserohilum turcicum* foi detectado inicialmente na Índia, em meados de 1870. Posteriormente, foi se transferindo para todo o planeta, tornando-se uma grande preocupação principalmente no Brasil e África do Sul. Em solos brasileiros, é conhecido por seus nomes científicos: *Bipolaris túrcica*, *Exserohilum turcicum* e *Helminthosporium turcicum*, porém, popularmente é chamado de Mancha foliar, constituindo-se num patógeno que na maioria dos casos está situada nas áreas de cultivo de milho no Brasil. Em condições favoráveis (alta umidade e temperatura entre 18 e 27°C), a doença pode causar sérios danos à lavoura, levando à seca prematura da planta (GONÇALVES *et al.*, 2013).

Por ser considerado um patógeno necrotrófico, tendo a capacidade de extrair nutrientes de tecidos mortos do hospedeiro, pode chegar a perdas de rendimento de uma safra de milho de 60%. Os sintomas da doença atingem com grande frequência as folhas, que são danificadas com lesões de formato elíptico de tamanhos variados (2,5 a 15 cm de comprimento). Em plantas jovens, a cor das lesões é um tom de palha, nas adultas, a coloração passa para avermelhado a castanho (ROSSI *et al.*, 2012).

Por sua vez, as folhas são danificadas por consequência da destruição dos tecidos fotossintéticos, do aumento do número e da área das lesões necróticas, acarretando a redução da interceptação da radiação solar e fazendo com que a transmissão de nutrientes fornecidos pela fotossíntese seja prejudicada, de forma a promover a baixa concentração de açúcares na planta, não ocorrendo o enchimento deste de forma devida (ALVIM *et al.*, 2010).

Dessa forma, o fungo pode sobreviver de estação para a outra de cultivo, em restos de safra como folhas, palha da espiga e bainha das folhas, e com possibilidade da presença na própria semente, tendo assim formas de se transferir de uma safra para outra. As medidas de controle mais utilizadas se devem ao uso de cultivares resistentes e de estudos verificando a melhor época e local para plantio, aplicação equilibrada de adubos e fungicidas (ROSSI *et al.*, 2012).

3.9 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

3.9.1 Planejamento de Composto Central (PCC ou *Central Composite Design - CCD*)

O Planejamento do composto central (PPC) foi desenvolvido inicialmente por Box e Wilson em 1951 com intuito de estudo de polinômios em indústria, até então, várias tentativas eram feitas para redução do número de pontos experimentais. Assim, o PCC que utiliza todas as combinações de variáveis em estudo foi desenvolvido, com o intuito de ser comum repetir apenas um tratamento, sendo relativo ao ponto central (BARDIN *et al.*, 2001).

O método é uma técnica que auxilia no planejamento de experimentos. Sua necessidade de uso veio da redução de esforço experimental para obtenção de uma estimativa de parâmetros de uma superfície de segunda ordem, conjunto ao número de variáveis a serem estudadas. Ele é composto de um ponto central, que é executado com réplicas e fornece uma estimativa interna do erro puro e de pontos axiais. Por conta dessas estimativas, é possível determinar os termos quadráticos. É muito utilizado para verificação de curvatura de um plano, ou seja, quando se tem a necessidade de verificação da existência dos termos quadráticos no modelo de regressão proposto (COSTA *et al.*, 2015).

Segundo Ponte *et al.* (2017, p. 58), “O planejamento composto central (PCC) com três fatores foi aplicado para analisar a influência das condições operacionais na produção de biocombustível via esterificação heterogênea”, indicando que o método auxilia na otimização do planejamento. Em comparação ao planejamento de terceira ordem, se mostra mais atual, pois no de terceira via-se a necessidade de muitos experimentos para um pequeno número de fatores, o que não ocorre no planejamento de segunda ordem, o PCC. Nesse, tem-se vantagens, como rotatividade, por apresentar várias alternativas para o melhor resultado e a blocagem, que é o arranjo de unidades experimentais em grupos, além de números de ensaios pequenos para determinação do melhor resultado (COSTA *et al.*, 2015).

3.9.2 Teste de hipótese

É uma metodologia estatística que auxilia a tomar decisões sobre uma ou mais populações baseadas na informação obtida na amostra. Permite verificar se os dados amostrais trazem evidências que apoiem ou não uma hipótese estatística formulada. Ao tentar tomar decisões, é conveniente a formulação de suposições ou de conjeturas sobre as populações de

interesse, que, em geral, consistem em considerações sobre parâmetros. Essas suposições, que podem ser ou não verdadeiras, são denominadas de Hipóteses Estatísticas (BARBOSA, 2014).

Em muitas situações práticas, o interesse do pesquisador é verificar a veracidade sobre um ou mais parâmetros populacionais, ou sobre a distribuição de uma variável aleatória. Um dos métodos que comprova esse teste é a análise de variância (ANOVA), em que uma vez que o F calculado seja menor que o F tabelado, não é rejeitado o H_0 , assim, os dados amostrais são iguais, porém, se o F calculado for maior que o F tabelado, rejeita-se o H_0 , podendo afirmar que os dados amostrais diferem (LEONI *et al.*, 2015).

3.9.3 Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC)

O (DIC) é o mais simples dos delineamentos existentes e possui dois princípios básicos da experimentação, a repetição e casualização. Dessa forma, o modelo assume que as condições locais são homogêneas e não têm efeitos significativos sobre o tratamento requerido, não sendo necessário, portanto, o controle do local (ZEVIANI *et al.*, 2019).

Segundo Zeviani (2019, p. 58), “O delineamento deve ser usado quando as unidades experimentais não apresentam heterogeneidade em nenhum aspecto com potencial influência nas variáveis a serem medidas”. A situação citada acima refere-se às unidades experimentais que não apresentam fatores que influenciam no planejamento. Caso alguma dessas condições não for atendida, deve-se considerar outro delineamento.

3.10 HIDRÓLISE ÁCIDA E ALCALINA

É definida como uma reação química em meio aquoso, em que a água sofre dupla decomposição em um composto. A hidrólise ocorre quando uma molécula de hidrogênio da água é transferida para um dos produtos, e o grupo OH é transferido para o outro produto. As hidrólises mais utilizadas são as ácidas e alcalinas, que podem ser aplicadas tanto em reações orgânicas como inorgânicas.

3.10.1 Hidrólise alcalina

São substâncias iônicas que, em solução aquosa, sofrem dissociação, fornecendo cátions diferentes de H_3O e ânions diferentes de OH. Ela é conhecida também como hidrólise básica e esse método é uma reação hidrolítica em que um álcali (ou base) é utilizado no lugar da água,

fazendo com que no final se obtenha como produto um sal alcalino e um ácido (HIJAZIN *et al.*, 2010).

Segundo Barcza (2010), a hidrólise alcalina possui classes como o uso de baixas concentrações de álcali na hidrólise, que é usado nas reações dos ésteres, nas fusões de materiais orgânicos com potassa ou soda caustica. Outro meio de utilização da hidrólise é no tratamento de resíduos de couro, adicionando um hidróxido ao resíduo com elevação de temperatura. Dessa forma, nota-se que a hidrólise alcalina também é uma alternativa para ajudar no desenvolvimento de tecnologias limpas, podendo ser utilizada em produção de extratos de vegetais (HIJAZIN *et al.*, 2010).

3.10.2 Hidrólise ácida

Ocorre quando se usa um ácido mineral (ácido obtido a partir de substância mineral inorgânica) em solução aquosa, podendo ser essa diluída ou concentrada. De acordo com Barcza (2010), ela ocorre com os compostos orgânicos ésteres, amidas, açúcares, dentre outros. Os ácidos mais utilizados nessa reação hidrolítica são o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido clorídrico (HCl) (HIJAZIN *et al.*, 2010).

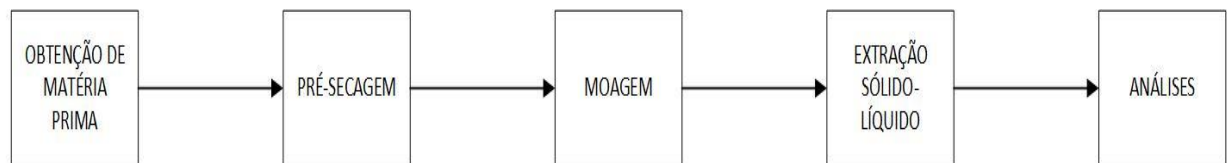
Pode ser usada como alternativa para o tratamento de alguns resíduos sólidos, como serragem de rebaxeadeira (que é um resíduo de couro cromado). Muitas vezes não é descartada corretamente, sendo armazenada em depósitos ou disposta aleatoriamente no solo sem um tratamento prévio. Existem, entretanto, alternativas viáveis para o tratamento desse resíduo, como a separação do cromo da proteína, que pode ser feita, por exemplo, através de descromagem ácida (HIJAZIN *et al.*, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO

A realização do extrato de Cavalinha pelo método de extração sólido-líquido seguiu o fluxograma apresentado na figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de obtenção de extrato de cavalinha



Fonte: Autor (2021)

4.1.1 Colheita de cavalinha (*Equisetum hyemale*)

A colheita dos exemplares de cavalinha (Figura 3) foi feita durante os anos de 2020/2021, em grande maioria nas dependências da Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU), no município de Uberaba-MG, na região do Triângulo Mineiro. O corte da planta foi realizado próximo à raiz para que pudessem crescer novamente.

Figura 3 - Exemplares de *Equisetum hyemale*



Fonte: Autor (2020)

4.1.2 Corte e higienização de cavalinha (*Equisetum hyemale*)

As plantas de Cavalinha colhidas foram levadas ao laboratório de Engenharia Química, no bloco E da Universidade de Uberaba (UNIUBE), Campus Aeroporto. O preparo inicial das amostras envolveu a higienização da matéria-prima com lavagem em água corrente para redução de impurezas e o corte da planta para acomodação das amostras no secador Pardal (Figura 4), onde foram submetidas à operação de pré-secagem (operação inicial).

Figura 4 - Amostras de cavalinha com corte de adequação



Fonte: Autor (2020)

4.1.3 Pré-secagem

Após o preparo da amostra e sua devida higienização, a cavalinha foi distribuída em bandejas e submetida à etapa de pré-secagem no secador Pardal (Figura 5), um desidratador de pequeno porte no qual ocorre escoamento de ar aquecido. Esse equipamento é muito utilizado para materiais *in natura*, possui a temperatura de trabalho de 22 a 62°C, 5 bandejas de 29 x 40 cm em plástico PS branco com telas removíveis, paredes duplas com isolamento térmico e gabinete em aço pintado epóxi branco, além de portas e acabamento em PS branco. O secador pardal comporta até 7 kg em suas bandejas e possui área total de secagem de 0,51 m².

A pré-secagem foi utilizada para remover o excesso de umidade que a cavalinha apresenta *in natura*, de modo a facilitar a moagem. Dessa forma, foi incluída uma etapa para retirada de umidade. As variáveis de operação foram temperatura de 50°C por período de 1 hora. Assim, a amostra reduziu sua umidade, auxiliando na operação de moagem.

Figura 5 - Secador pardal modelo new hobby digital



Fonte: Autor (2020)

4.1.4 Moagem

Após a secagem, os exemplares de cavalinha desidratada foram levados ao moinho de escoamento contínuo para grãos e materiais secos marca Marconi MA-600 (Figura 6). O moinho possui um rendimento de 50g a cada 10 segundos, com capacidade de rotação de 3360 RPM (Rotações por minuto). Para que ocorra a moagem, o moinho opera em regime de fluxo contínuo com funil dosador instalado acima do funil rotor/martelo móvel de alta dureza. A moagem objetiva obter o produto na forma de pó para auxiliar o processo de extração pelo aumento da superfície de contato entre sólido e soluto.

Figura 6 - Moinho de fluxo contínuo marconi modelo ma600



Fonte: Autor (2020)

4.1.5 Planejamento do Composto Central (PCC)

Para a determinação dos parâmetros a serem utilizados no projeto, utilizou-se o método estatístico Planejamento do Composto Central, em que foi verificado que o *tempo*, *concentração* de solvente e *temperatura* eram variáveis fundamentais para a etapa de obtenção do extrato.

Assim, para o tempo dividiu-se entre 15, 30, 60 e 120 minutos. Em relação à concentração de solvente, a porcentagem de etanol no solvente em contato com o sólido foi de 0, 33, 66 e 100%, lembrando que no restante da porcentagem foi acrescentado água (H₂O). Por fim, a variável temperatura operacional foi selecionada em 25, 31, 37.5 e 50°C.

Com as variáveis selecionadas, deu-se entrada com os dados no software *Statistic 7*, em que se determinaram as variáveis experimentais apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis propostas pelo Planejamento do Composto Central

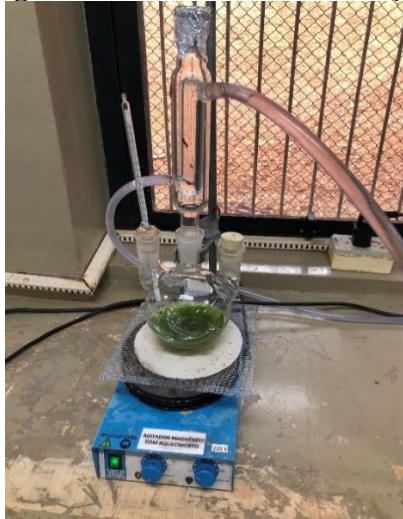
Extratos	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Solvente (% m/m)
1	25,00000	15,00000	33,3000
2	25,00000	15,00000	100,0000
3	25,00000	75,00000	33,3000
4	25,00000	75,00000	100,0000
5	50,00000	15,00000	33,3000
6	50,00000	15,00000	100,0000
7	50,00000	75,00000	33,3000
8	50,00000	75,00000	100,0000
9	20,58592	45,00000	66,6000
10	54,41408	45,00000	66,6000
11	37,50000	4,40620	66,6000
12	37,50000	85,59380	66,6000
13	37,50000	45,00000	21,4732
14	37,50000	45,00000	111,7268
15	37,50000	45,00000	66,6000
16	37,50000	45,00000	66,6000
17	37,50000	45,00000	66,6000

Fonte: Autor (2020)

4.1.6 Extração alcoólica

Para realização da extração, uma unidade experimental foi planejada, onde as perdas por evaporação não prejudicaram o volume final de cada procedimento. O mecanismo de extração utilizado (Figura 7) é composto pelos seguintes materiais: suporte com garra para bureta, balão de fundo redondo com 3 bocas, condensador Allihn de 400 mm e 2 juntas, manta aquecedora, aquecedor com agitador magnético, termômetro e barra magnética de agitação (Peixinho).

Figura 7 - Mecanismo de extração



Fonte: Autor (2020)

Foi realizada a injeção do material moído em uma das bocas do balão, que entra em contato com o solvente álcool etílico (C_2H_5OH) com teor de 99,8% P.A.ACS em conjunto com a água (H_2O), ou então cada um separado, seguindo-se as variações propostas pelo método do Planejamento do Composto Central.

Primeiro, o solvente foi transferido da fase líquida até a superfície do sólido que o umedece. Assim, o álcool etílico (C_2H_5OH) penetrou na matriz sólida por meio de difusão molecular e, como a quantidade de sólidos de cavalinha foi menor que a de álcool etílico (C_2H_5OH) e água (H_2O), ocorreu a diluição dos solutos. Dessa forma, por difusão molecular, a solução contendo o soluto retornou à superfície do sólido, entrando em transferência para o meio líquido por convecção, obtendo-se o extrato de cavalinha.

4.1.7 Filtração à vácuo

Após o procedimento de extração de solúveis, o composto contendo sólido e líquido foi submetido à filtração a vácuo, com auxílio da Bomba Tecnal modelo TE-058, acoplada em um Kitassato com funil de Buchner, que continha um filtro em sua parte interior (Figura 8).

O líquido com sólido foi adicionado ao funil de Buchner contendo filtro. Assim, com auxílio do vácuo, o processo de separação de sólido e líquido ocorriam, obtendo-se o produto final extrato de *Equisetum hyemale* (Cavalinha).

Figura 8 - Bomba de vácuo com kitassato e funil de Buchner



Fonte: Autor (2021)

4.2 EXTRAÇÃO POR HIDRÓLISE ALCALINA

Para a extração, o solvente utilizado foi o KOH (Hidróxido de Potássio), diluído nas concentrações de 1, 2, 4, 8, 12 e 16%. A massa de cavalinha utilizada foi fixada em 10 g para 90 g de solvente, variando-se as concentrações de KOH (Hidróxido de Potássio) (HIJAZIN *et al.*, 2010).

O preparo das soluções foi realizado em *erlenmeyer* de 500 mL, posteriormente fechando-se seu orifício de entrada com algodão. Dessa forma, a vidraria com solução de KOH e Cavalinha em seu interior estava preparada para a extração em autoclave.

A extração alcalina ocorreu mediante a pressão de 1,21 kgf cm⁻² por 2 horas em autoclave. Após o tratamento, a solução foi submetida à filtração à vácuo, separando-se a parte sólida da líquida da solução, obtendo o extrato de cavalinha por meio alcalino.

Para a inoculação do fungo *Exserohilum turcicum*, o extrato que apresentou o melhor aproveitamento de absorção de silício foi selecionado. Tal análise de silício foi realizada em

parceria com a empresa Labfert Análises, em Uberaba-MG, realizada uma vez para cada tipo de extrato para definir o resultado com melhor extração de silício da planta.

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Após a filtração, obteve-se o produto, o extrato de *Equisetum hyemale* (Cavalinha). A avaliação do produto foi efetuada por meio de análises descritas a seguir:

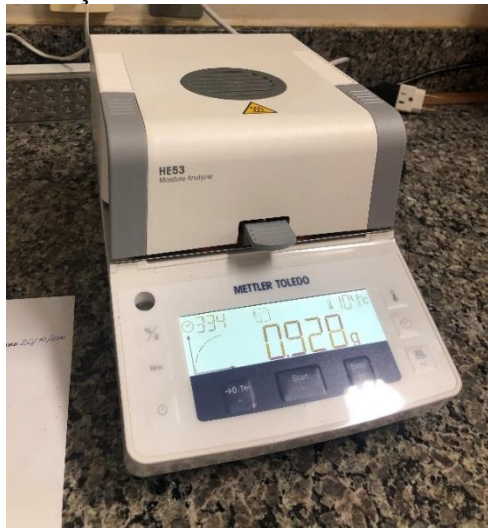
4.3.1 Quantificação de silício

Para a quantificação de silício, o procedimento foi realizado em parceria com um laboratório externo, LabFert Análises. Os extratos foram elaborados no Laboratório de Engenharia Química da Universidade de Uberaba, Campus Aeroporto, onde foram obtidas quatro amostras, sendo 100 mL de solvente para 1g, 5g, 10g e 20g de Cavalinha. Os extratos foram encaminhados para a empresa para verificação do percentual de silício em cada uma das amostras, quantificando-se a relação massa solvente/silício pelo método espectrofotométrico do $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ (Molibdato de amônia).

4.3.2 Quantificação de umidade

Para cada etapa do projeto, a *Equisetum hyemale* apresentou um determinado valor de umidade – na parte *in natura* (ao ser colhida), no processo de pré-secagem e por fim na moagem. Os respectivos valores foram de suma importância para cálculos posteriores. A quantificação foi dada com o auxílio da balança determinadora de umidade *Mettler Toledo Moisture Analyze HE53* (Figura 9), que via raios infravermelhos demonstrando a perda de água em relação ao tempo. O aparelho apresenta temperaturas de secagem de 50 a 160°C e sua capacidade máxima de carga é de 54g.

Figura 9 - Balança determinadora de umidade mettler toledo



Fonte: Autor (2021)

A Mettler Toledo apresenta a massa inicial do sólido e sua perda de massa de H₂O da *Equisetum hyemale* com o passar do tempo. Assim, é possível a realização de cálculos para apresentação da umidade. Na equação 1, consta a massa de água contida no sólido, calculada pela diferença de massa de cavalinha inicial pela massa de cavalinha pós-secagem:

$$\text{Massa de H}_2\text{O} = \text{Massa inicial de sólidos} - \text{Massa final de sólidos secos} \quad (1)$$

Com o resultado de massa de H₂O calculado, a equação 2 nos apresenta o cálculo de umidade em que a Massa de H₂O é dividida pela massa final de sólidos secos. Esse valor multiplicado por 100, produz o valor final da umidade:

$$\text{Umidade} = \frac{\text{Massa de H}_2\text{O}}{\text{Massa final de sólidos secos}} \times 100 \quad (2)$$

Assim, com todos os valores calculados, a equação 3 determina o Teor de Sólidos e permite aferir a porcentagem de umidade na massa inicial da cavalinha:

$$\text{Teor de Sólidos} = 100\% - \text{Umidade} \quad (3)$$

4.3.3 Peneiramento e diâmetro de Sauter

O peneiramento é um método de separação de partículas, de acordo com o tamanho. Os finos “undersize” passam através das aberturas da peneira e o retido “oversize” ficam armazenados na superfície peinerante. O material que é processado em uma série de telas de abertura (malhas) diferentes é separado em frações de tamanhos diferentes, portanto, é realizada com peneiras padronizadas quando à abertura das malhas e à espessura dos fios de que são feitas.

Para o projeto, a classificação foi realizada com nove (9) peneiras, com as seguintes malhas, disposta na tabela 4:

Tabela 3 - Malhas de peneiras utilizadas para análise

Numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aberturas (mm/μ)	2,36	2,00	1,00	0,850	0,600	0,425	0,212	0,149	0

Fonte: Autor (2021)

Após a montagem da pilha de peneiras, o sólido de cavalinha foi adicionado na parte superior, e elas foram agitadas mecanicamente, ocorrendo a penetração das partículas sólidas por peneira (Figura 10). Para cálculo do Diâmetro Médio ou Diâmetro de Sauter foi utilizada a Equação (4):

$$D_s = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{D_i}} \quad (4)$$

Sendo x_i uma fração de massa retida entre duas peneiras e D_i a média aritmética entre as aberturas dessas peneiras.

Figura 10 - Peneiras granulométricas



Fonte: Autor (2021)

Realizado o peneiramento, cada parte passou pela pesagem para quantificação de massa retida e a diferença do peso inicial sem o sólido para o peso final com o sólido proporcionou determinar a massa retida em cada peneira. Assim, tornou-se possível o cálculo de Diâmetro de Sauter que apresenta a relação superfície/volume para todas as partículas, de forma a apresentar o valor médio do tamanho das partículas.

4.3.4 Teor de sólidos no filtrado alcoólico

O teor de sólidos no filtrado permite a verificação da porcentagem de extração do soluto no líquido após a extração e, para tanto, a obtenção desse valor se torna possível pela quantificação de umidade, sendo a massa de cavalinha inicial e final e quantidade de extrato produzido ao fim da etapa de filtração. O método de cálculo utilizado está disposto na Equação (5).

$$\text{Teor de sólidos no filtrado} = \frac{(\text{Massa inicial} \times \text{Teor de sólidos}) - \text{Massa pós secagem}}{\text{Massa de Extrato final}} \quad (5)$$

4.3.5 Medição de PH

A análise de pH permite observar o meio em que o extrato de *Equisetum hyemale* se encontra. Meio ácido permite o melhor crescimento do inóculo de *Exserohilum turcicum* e no meio básico apresenta condições favoráveis de controle microbiológico. A quantificação foi

efetuada com um pHmetro LUCA-210 da MS Tecbopon Equipamentos (Figura 11), disponível no laboratório de química da Universidade de Uberaba.

Figura 11 - Medidor de ph ms tecbopon luca-210



Fonte: Autor (2021)

4.3.6 Inoculação de *Exserohilum Turcicum* (ET)

Os experimentos foram realizados no laboratório de Microbiologia da UNIUBE (Universidade de Uberaba), campus Aeroporto em Uberaba, Minas Gerais, entre os anos de 2020 a 2021.

O Isolado fúngico *Exserohilum turcicum* utilizado nos ensaios foi fornecido pela SATIS e FAZU (Faculdades Associadas de Uberaba) e mantidos no laboratório de Engenharia Química da UNIUBE, em temperatura controlada, visando sua conservação ao longo do tempo. O fungo foi escolhido para o projeto por estar presente nas culturas de milho do País, sendo um patógeno que degrada o tecido das folhas requerendo controle para evitar perda de produtividade em plantações.

O meio de cultura BDA (Batata Dextrose Ágar) foi preparado conforme indicação do fabricante KASVI, mantendo-se a proporção de 39 g do produto em pó para cada litro de água destilada. Para a montagem das placas, foram preparadas porções de 250 mL com suspensão para este volume de 9,75 g de BDA (KASVI – Agar Batata Dextrose K25-610102). Assim, o meio era submetido a um pré-aquecimento via micro-ondas por 3 minutos em potência máxima de 1,4 KW, em que a parte sólida homogeneizava com a parte líquida. Dessa forma, foi aquecida em autoclave por 20 minutos para sua esterilização completa e dissolução do produto.

Após a esterilização, o Ágar é levado a banho-maria para ser resfriado até a temperatura de 50°C. Com o composto em temperatura desejada, o líquido é transferido com auxílio de uma pipeta volumétrica e uma pera eletrônica para as placas, que recebem 10 mL de Ágar.

Ao meio de cultivo BDA, foi adicionado o extrato de *Equisetum hyemale* (Cavalinha) em diferentes concentrações (Tabela 2), com auxílio de uma pipeta automática de volume variado. Os extratos foram adicionados às placas em proporção de 1000 µL. Em seguida, discos de 6 mm de diâmetro contendo micélio fúngico crescido em meio BDA foram alocados nas placas de Petri, tanto com tratamentos quanto com controle negativo. O crescimento micelial foi avaliado de dois em dois dias após a inoculação dos fungos. Ao fim do cobrimento da placa do controle negativo, o acompanhamento do crescimento era interrompido, e avaliava-se o tamanho do inóculo em cada dia de coleta, e em seguida comparava-se ao controle negativo.

Como a elaboração dos procedimentos ocorreram em ambiente controlado (Laboratório de Microbiologia), o delineamento experimental (DIC) foi utilizado devido ao local apresentar condições homogêneas e não ter efeito significativo sobre os tratamentos. Para cada tratamento, foram realizadas cinco repetições inicialmente, sendo utilizadas placas de Petri descartáveis de 90 x 15 mm de diâmetro.

A montagem dos procedimentos ocorreu entre os meses de janeiro, fevereiro e março de 2021. Avaliou-se o contato do *Exserohilum turcicum* considerando o mesmo delineamento, tratamento, repetições e avaliações e as variações do extrato de *Equisetum hyemale*.

No período de avaliação de crescimento, a medição ocorreu até que o controle negativo (Placa com apenas BDA) ocupasse totalmente o meio de cultura no interior da placa de Petri, que corresponde a 8,2 cm (Considerando toda área da placa).

Para determinação do índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM), seguiu-se a seguinte Equação (6) para avaliação (OLHER *et al.*, 2021):

$$IVCM = \sum \frac{d-Da}{N} \quad (6)$$

IVCM = índice de velocidade de crescimento micelial;

d = diâmetro médio atual;

Da = diâmetro médio da avaliação anterior;

N = número de dias após a inoculação.

Para determinação de ação fungitóxica dos tratamentos, calculou-se a porcentagem de inibição dos tratamentos em relação à testemunha, utilizando os valores médios de diâmetros de crescimento diagonais e, com auxílio de escalímetro *Trident*, foi aferida a medição de comprimento do micélio em seu crescimento diagonal. A partir dos resultados obtidos, estabeleceu-se a Porcentagem de Inibição do Crescimento micelial (PIC) determinado pela Equação (7) (SILVA DE BRITO *et al.*, 2017).

$$PIC = \frac{(d-dt)}{(d)} \cdot 100 \quad (7)$$

PIC = porcentagem de inibição do crescimento micelial (em %);

d = diâmetro médio do crescimento da testemunha;

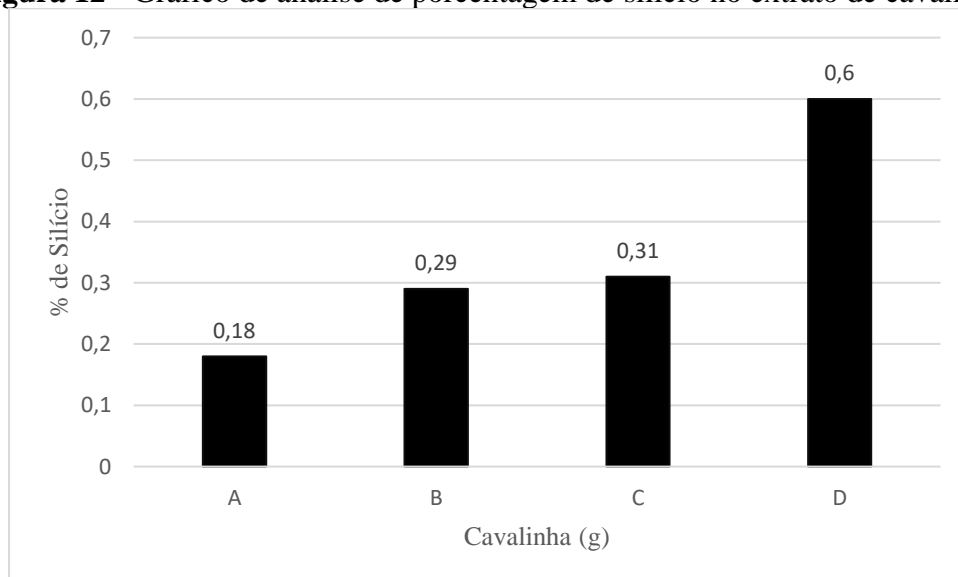
dt = diâmetro médio do crescimento do tratamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DE SILÍCIO

Na Figura 12, constam os resultados das análises de Silício, em porcentagem, onde nota-se que os extratos absorveram Silício da cavalinha, desta forma o extrato pode induzir a resistência imunológica das plantas onde aplicado. A análise foi realizada uma vez para cada extrato, 4 extratos foram produzidos utilizando 100% álcool etílico na temperatura de 50°C por 15 min de agitação. A variação ocorreu na massa de cavalinha inserida na extração sólido-líquido, possuindo massas de 1 g, 5 g, 10 g e 20 g. Por sua vez, os extratos foram denominados como extrato A (1 g), B (5 g), C (10 g) e D (20 g), respectivamente.

Figura 12 - Gráfico de análise de porcentagem de silício no extrato de cavalinha



Fonte: Autor (2021)

No extrato A tem-se 0,0018 g de silício, em B tem-se 0,0145, em C encontrou-se 0,031 e, por fim, em D obteve-se 0,12 do elemento. Dessa forma, nota-se que, com o aumento de massa de cavalinha na extração, conseqüentemente, se terá aumento de silício no extrato final. O valor de 1 g para 100 mL de solvente foi selecionado como valor fixo para as demais extrações, pois o extrato não foi sobrecarregado com excesso de massa de cavalinha em relação às outras massas testadas.

5.2 UMIDADE

É de suma importância citar que em cada etapa do processo de obtenção do extrato, a *Equisetum hyemale* (Cavalinha) apresentava uma umidade diferente. *In natura*, foi 69,75% de massa de H₂O (Água), após pré-secagem 34,36% de massa de água e posteriormente à moagem tinha-se entre 23 a 32% de massa de H₂O (Água). A diferença de umidade entre a pré-secagem e a moagem se deve à energia que o Moinho gera em contato com o sólido, ocorrendo aumento de temperatura e, assim, perda de H₂O (Água). Os valores de umidade podem variar de acordo com a matéria-prima.

5.3 PENEIRAMENTO E DIÂMETRO DE SAUTER

Os resultados da análise granulométrica realizada com sólido de cavalinha pós-moagem (apêndice A), utilizado para extração sólido-líquido. Ao inserir a *Equisetum hyemale* nas peneiras, ocorreu perda de 1,01% de massa, pois se inicia com 15,759 gramas e no recolhimento obtém-se 15,602 g, isso se deve a perdas retidas no próprio material das peneiras. Na peneira 5, é onde se encontra a maior quantidade de massa de *Equisetum hyemale* retida, 4,787 g, que equivale 30,69% do total de massa, e que o diâmetro médio 0,5125 mm é muito próximo do diâmetro de Sauter.

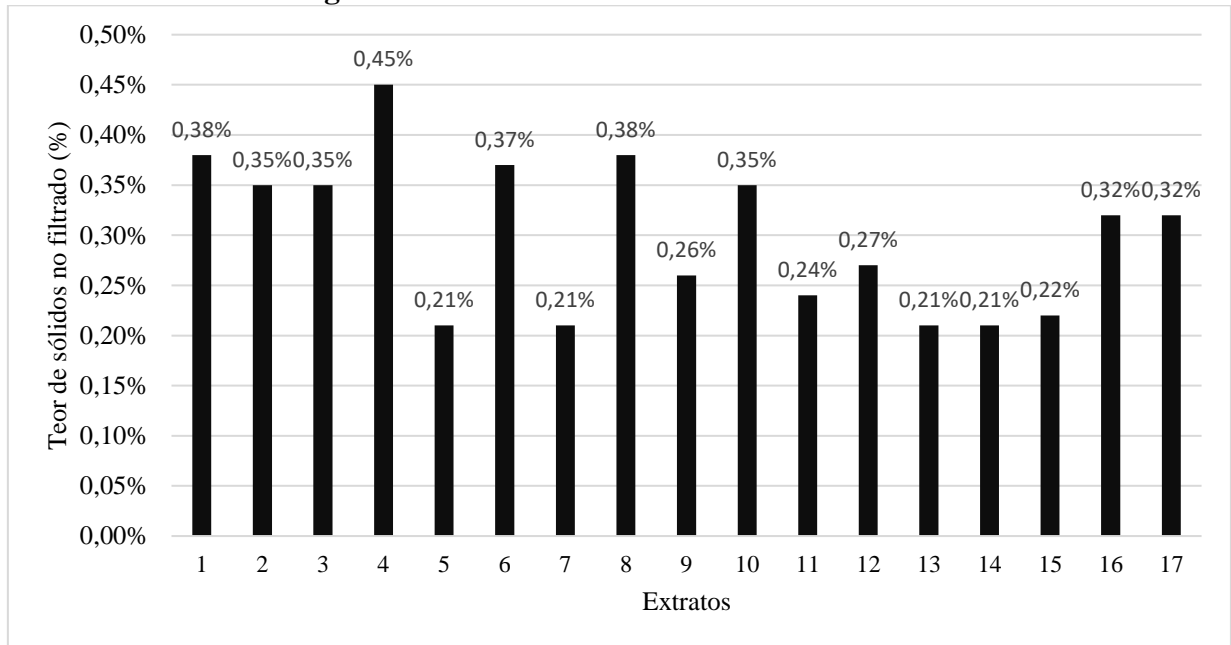
O valor do Diâmetro de Sauter (Ds) foi 0,3393 mm, o qual representa o tamanho médio das partículas moídas de *Equisetum hyemale* (Cavalinha). Segundo dados fornecidos pela literatura, a média de diâmetro utilizada em outros estudos é 0,92 mm (MICHIELIN, 2002). A diferença encontrada pela literatura e no estudo atual se deve ao disco de saída do moinho de facas, como ocorreu a redução de diâmetro, o contato entre o sólido e o líquido na extração se mostra mais eficiente, de acordo com a redução da partícula a área de contato é aumentada.

5.4 TEOR DE SÓLIDOS NO FILTRADO ALCOÓLICO

Ao final da filtração, o sólido de *Equisetum hyemale* retido no filtro era levado para a balança Mettler Toledo, em que, por via de radiação infravermelho, determinava-se a massa final de sólidos secos, sendo possível a realização de cálculos de umidade e o teor de sólidos no filtrado. No teor de sólidos no filtrado, pode-se verificar a porcentagem de sólidos de *Equisetum hyemale* que o solvente extraiu durante a extração sólido-líquido. O apêndice B apresenta os resultados quantificados.

Com os dados apresentados no apêndice B, foi possível a demonstração da Figura 13, que nos indica a comparação dos teores de sólidos no filtrado de cada procedimento.

Figura 13 - Gráfico do teor de sólidos no filtrado



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 13, consta o teor de sólidos no filtrado, assim, observa-se que os resultados dos extratos com 100% de álcool etílico (C_2H_5OH) mostraram aumento de extração de sólidos comparada aos demais. Observa-se que o solvente puro apresenta a melhor extração de sólidos, porém, o ensaio 14 utilizou 111,72% de solvente e apresentou resultados inferiores comparados aos de 100% álcool etílico, isso se deve à saturação de solvente comparada à massa de sólidos inserida, ocorrendo uma baixa absorção de sólidos pelo solvente.

Na figura 13, é notável que as melhores absorções ocorrem nas variações 4, 6 e 8, coincidentemente todas com 100% álcool. Esse fato pressupõe que, pelo extrato apresentar maior absorção dos sólidos, também apresentará maiores porcentagens de componentes ativos da *Equisetum hyemale*. Sendo assim, espera-se, maior potencial em resposta antifúngica contra o *Exserohilum turcicum*. Exemplos de extrato com 100, 66 e 33% com seus sólidos filtrados estão dispostos na Figura 14.

Figura 14 - Extratos e sólidos residuais de filtro



Fonte: Autor (2021)

São demonstradas na Figura 14 três variações de extratos, o extrato 1 contendo 100% de álcool etílico (C_2H_5OH), o 2 com 33% de solvente e, por fim, o 3 apresentando 66% de álcool. Nota-se que, com o aumento de solvente, a coloração do extrato aumenta de dourado a verde-escuro devido à maior absorção de sólidos na etapa de extração sólido-líquido com o aumento do solvente no extrato. Observa-se sobra de sólidos da filtração, com maior quantidade de solvente no extrato em que a coloração é mais clara. Esse exemplo é apresentado no extrato 1, significando que o extrato teve um melhor aproveitamento na absorção dos sólidos, sendo visível que parte das características se transferiram para o líquido.

5.5 ANÁLISE DE pH

Outro fato importante para inibição de crescimento micelial é o pH, onde o meio é ácido, entre 4 a 7, demonstram-se melhores condições para o crescimento do fungo, enquanto o meio básico é melhor condição para efeitos antifúngicos (FERREIRA, 2016). A Tabela 5 apresenta o pH de todos os extratos em base alcoólica do estudo.

Tabela 4 - Resultados de pH dos extratos de *Equisetum hyemale* (cavalinha)

Extratos	pH
1	6,69
2	6,59
3	6,86
4	6,44
5	6,72
6	6,55
7	7,12
8	9,87
9	7,92
10	6,94
11	6,12
12	6,33
13	6,53
14	8,73
15	6,43
16	6,54
17	6,5

Fonte: Autor (2021)

Baseado em dados teóricos, o pH do extrato de cavalinha em contato apenas com H₂O (Água) é de 6.3 (CARMO, 2009). Já segundo Guimarães (2015), o pH aferido em seu projeto foi de 8, porém, esse valor foi ajustado com ácido clorídrico. Já os encontrados para o estudo atual possuem uma média de 6.99 e segundo estudos de Ferreira (2016), os extratos 7, 8, 9 e 14 apresentam meio básico, possuindo melhores resultados em controle fúngico. Já os extratos alcalinos apresentaram uma media de 12,5 de pH assim tendo maior eficiência no controle fúngico.

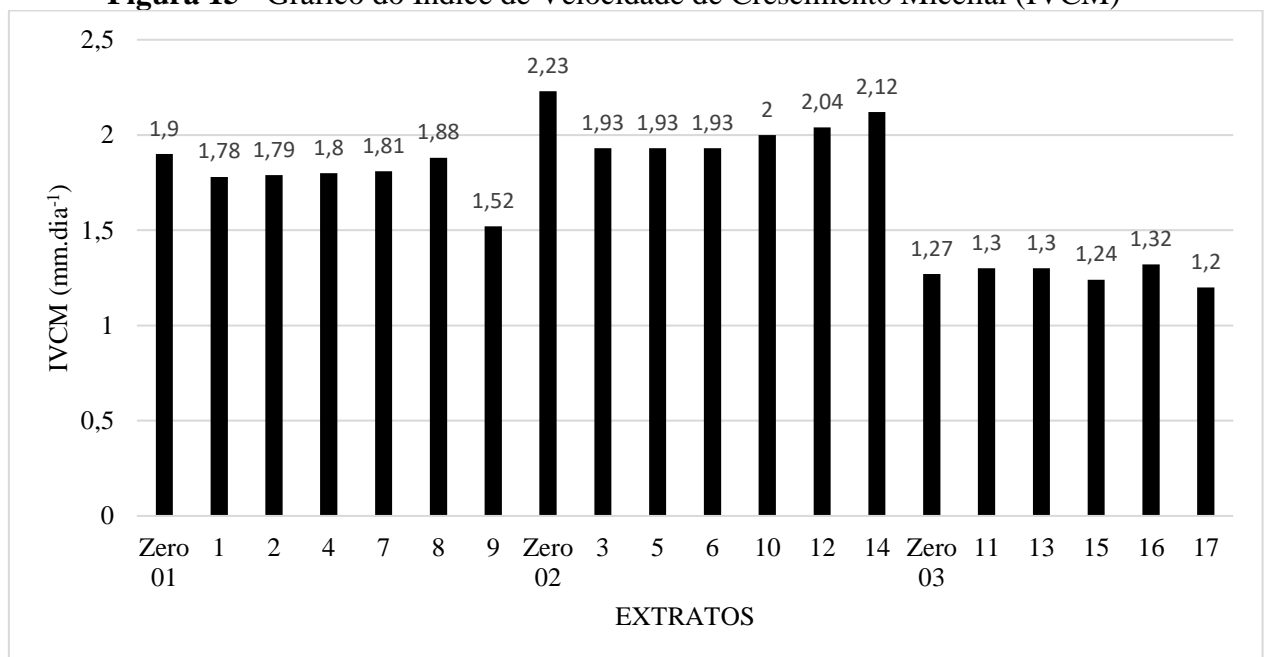
5.6 INOCULAÇÃO DE *Exserohilum Turcicum* (ET)

Para inoculação do *Exserohilum turcicum*, os resultados obtidos nos ensaios possibilitaram observar o efeito de cada extrato de *Equisetum hyemale*. Todos os produtos adquiridos pela extração foram inseridos em mesma concentração no meio de cultura. Assim,

verificou-se seu diâmetro médio, que subsidiou os calculados do IVCM e do PIC, dados que comprovam a eficiência do extrato como um fungicida.

Para melhor compreensão dos dados, o gráfico de colunas representado na Figura 15 foi selecionado para apresentação da comparação dos resultados entre os extratos testados. No gráfico, os procedimentos denominados zero apresentam a contraprova da inoculação, onde o fungo não entra em contato com o extrato, assim, vemos seu crescimento natural. Já outras siglas apresentadas indicam as diferentes formulações do extrato utilizado para ataque ao fungo.

Figura 15 - Gráfico do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM)



Fonte: Autor (2021)

Com todos os ensaios realizados, pôde-se observar que os extratos apresentaram significativamente uma redução do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) do fungo avaliado principalmente os extratos 9, 6 e 17 comparados a sua contraprova. Considerando-se essa redução evidente, apresentada no gráfico de colunas da Figura 15, cabe ressaltar que embora o fungo tenha se comportado de maneiras diferentes na contraprova, a temperatura e umidade do ambiente durante o crescimento justificam tal diferença. O *Exserohilum turcicum* apresentou dificuldades de crescimento em temperaturas baixas, portanto, possui diferenciações no IVCM de cada contraprova e nos ensaios com extratos utilizados no mesmo procedimento.

A contraprova zero 1 foi realizada nos mesmos dias dos extratos 1, 2, 4, 7, 8 e 9, para a Zero 2 os procedimentos realizados no mesmo dia foram 3, 5, 6, 10, 12 e 14, por fim, a Zero 3

foi acompanhada pelos procedimentos 11, 13, 15, 16 e 17. O extrato 6, comparado a sua contraprova (Zero 2), apresentou redução de 13,58%, enquanto o 9, comparado ao Zero 1, 19,89% e o 17 com o zero 3 apresentou redução de 5,61%. Essas são as melhores reduções para cada contraprova. Analisando os ensaios como um todo, o melhor resultado de redução de IVCm foi apresentado pelo 9.

Nos resultados do percentual de inibição do crescimento micelial (PIC) (Tabela 7), assim como no IVCm, o melhor resultado foi obtido no extrato 9, que inibiu 44,74% do crescimento micelial nos dois primeiros dias. Com o passar dos dias, o extrato foi perdendo sua eficácia, reduzindo o percentual de inibição.

Tabela 5 - Resultados de Percentual de Inibição do Crescimento micelial (PIC)

Extratos	PIC em %			
	2ºDia	4ºDia	6ºDia	8ºDia
1	13,16	7,84	7,53	1,94
2	7,89	9,8	8,24	1,94
3	0	0	0	0
4	7,89	10,78	8,24	0
5	2,63	0	0	0
6	2,63	0	0	0
7	7,89	6,86	8,24	0
8	7,89	0	0	0
9	44,74	25	19	1,94
10	16,39	14,02	9,76	0
11	0	9,84	5,10	0
12	13,11	8,41	9,76	0,61
13	0	4,92	2,04	2,46
14	7,38	7,94	5,72	0
15	0	1,64	6,12	0,82
16	0	0	0	2,46
17	0	18,03	8,16	5,74

Fonte: Autor (2021)

Para melhor verificação dos resultados encontrados, o método estatístico de Análise de Variância (ANOVA) a 2 fatores e nível de significância de 5% foi utilizado. Os dados adquiridos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 6 - Resultados análise de variância dos resultados do PIC

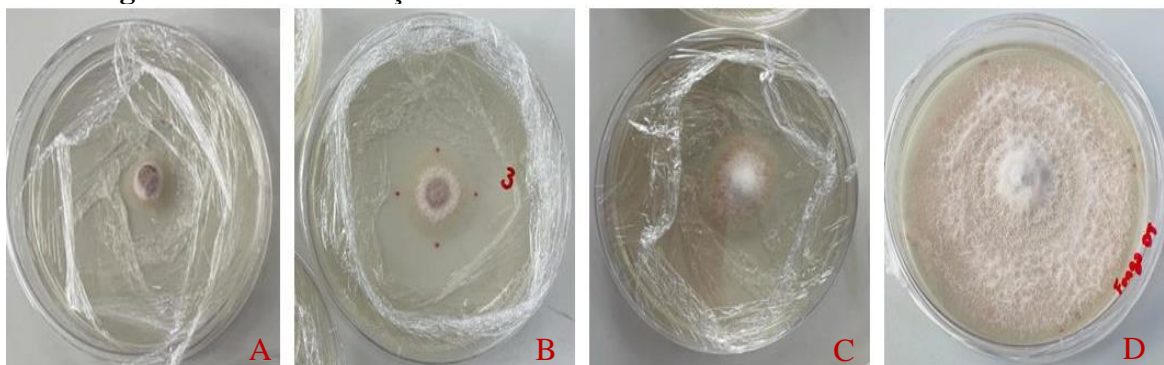
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Concentrações	3394,71	16	212,17	2,768	0,0033	1,8592
Dias	341,36	3	113,78	1,484	0,2306	2,7981
Erro	3679,17	48	76,65			
Total	7415,23	67				

Fonte: Autor (2021)

Os resultados indicam que não há diferença estatística de Percentual de Inibição de Crescimento em relação aos dias, mas há em relação às concentrações, ou seja, diferentes concentrações de extração influenciam na inibição do crescimento. Assim, podemos afirmar em qual variação de extratos obtivemos o melhor resultado na inibição.

O ensaio 6 (Figura 13) apresenta o comportamento do crescimento micelial do *Exserohilum turcicum*, em que a variação ocorre pela velocidade do crescimento IVCN e pela porcentagem de inibição do crescimento PIC. O fungo apresentou dados de crescimento em média de oito dias, cobrindo totalmente a placa de Petri. Um fator que afeta o crescimento do *Exserohilum turcicum* é a temperatura, pois, em temperaturas mais baixas, há um retardamento em seu crescimento comparado às temperaturas mais altas. Nos meses de execução dos procedimentos a temperatura do ambiente variou entre 20 a 30°C, ocorrendo variações no crescimento dos fungos.

Figura 16 - Demonstração do crescimento micelial do *Exserohilum turcicum*



Fonte: Autor (2021)

A imagem A representa o fungo inoculado após 2 dias, a B em 4 dias, C em 6 e, por fim, a D com 8 dias de crescimento, ocupando a área total da placa de petri.

5.7 EXTRAÇÃO POR HIDRÓLISE ALCALINA

Após a produção de extrato utilizando KOH, efetuou-se a quantificação de silício no extrato, pela empresa Labfert. Na Tabela 9, consta a porcentagem de silício encontrada nos extratos em que se variou a concentração de KOH, de modo que a massa de cavalinha utilizada nos extratos foi de 10 g para cada um.

Tabela 7 - Porcentagem de silício em extrato com KOH

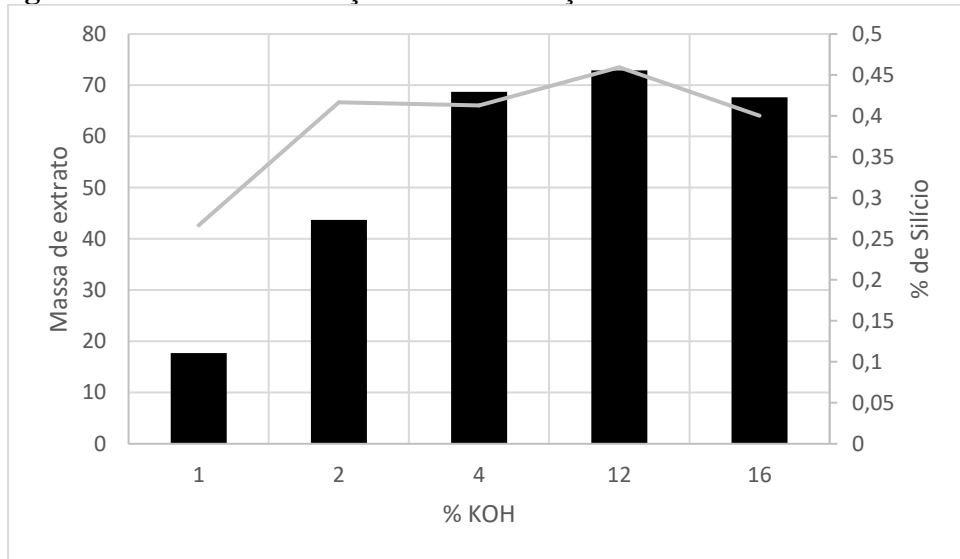
% KOH	m cavalinha	% Si	m extrato	g silício extraída
1	10	0,26	42,65	0,11089
2	10	0,41	66,67	0,273347
4	10	0,65	66,06	0,42939
12	10	0,62	73,51	0,455762
16	10	0,66	64,05	0,42273

Fonte: Autor (2021)

Com os dados obtidos na extração e porcentagem de silício no extrato, encontra-se a relação de porcentagem de concentração de KOH com porcentagem de silício e massa de extrato obtidos após extração. Estes dados estão apresentados na Figura 17.

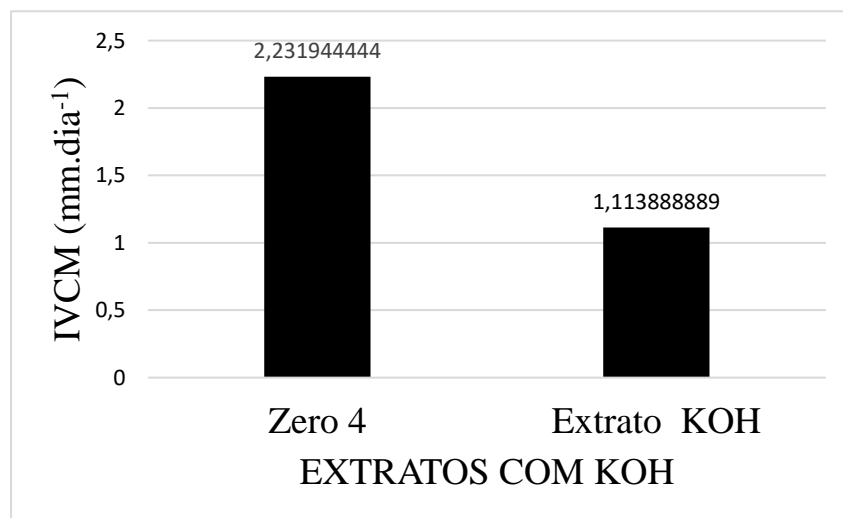
Analisando-se a Figura 17, pode-se afirmar que a melhor combinação de solvente e sólido de cavalinha foi de 4% de KOH, com a obtenção de massa de extrato padrão entre os solventes de 66,06 g e 0,65% de silício, demonstrando melhor rendimento entre as outras concentrações analisadas. O extrato com 12% de KOH obteve valores semelhantes, porém, utilizou-se mais que o dobro de KOH e menor porcentagem de silício no extrato.

O extrato com 16% demonstrou porcentagem de silício maior, porém, proporcionou menor massa de extrato na extração e teve um gasto quatro vezes maior de KOH comparado ao melhor resultado. Com 1% de KOH, o extrato apresentou menor rendimento em massa e porcentagem de silício, com 2% obteve-se melhora no rendimento de massa de extrato, porém, não se obteve valores satisfatórios de porcentagem de silício comparado ao de 4% de KOH.

Figura 17 - Gráfico da relação de concentração de % KOH com % de silício

Fonte: Autor (2021)

Utilizando a melhor combinação do extrato alcalino, à análise microbiológica foi realizada, utilizando o composto em ataque ao fungo *Exserohilum turcicum*. Os resultados foram analisados pelo Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) e pela Porcentagem de Inibição de Crescimento Micelial (PIC). O teste microbiológico foi realizado nos mesmos parâmetros do extrato alcoólico. Na Figura, consta o IVCM do extrato alcalino, que demonstra redução de velocidade do crescimento micelial em torno de 50%.

Figura 18 - Gráfico do índice de velocidade de crescimento micelial (ivcm) com koh

Fonte: Autor (2021)

A análise de PIC do extrato alcalino foi apresentada na tabela 7, onde obtivemos média de 63,63% de inibição nos primeiros 4 dias. Posteriormente, o extrato começou a diminuir sua efetividade.

Tabela 8 - Resultados de Percentual de Inibição do Crescimento micelial (PIC) com KOH

	2º dia	4º dia	6º dia	8º dia
PIC	65,57%	61,68%	52,19%	14,02%

Fonte: Autor (2021)

Comparando o extrato alcoólico com o extrato alcalino, o alcalino demonstrou melhores resultados, tanto em absorção de silício quanto na resposta microbiológica contra o *Exserohilum turcicum*. O melhor resultado do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial no extrato alcoólico foi apresentado pelo extrato 9, que teve 19,89% de redução de velocidade do crescimento fúngico. No extrato alcalino, a redução de velocidade do crescimento fúngico chegou a 50%, assim, apresentando melhora de 30% em relação ao extrato alcoólico.

Em relação ao percentual de inibição do crescimento micelial, novamente obtivemos melhores resultados com o extrato alcalino, com resultados de inibição de 65,57% no segundo dia, 61,68% no quarto dia, 52,19% no sexto dia e 14,04% no oitavo dia, em uma média de redução de 48,39%. O extrato alcoólico apresentou seu melhor resultado na combinação 9 novamente, apresentando, no segundo dia, PIC de 44,74%, no quarto dia de 25%, no sexto dia de 19% e o oitavo dia de 1,94%, obtendo uma média de 22,67%. Portanto, o extrato alcalino demonstrou novamente ser mais eficiente, apresentando uma melhoria de 25,72 % superior ao alcoólico.

Na comparação do pH, o alcalino apresentou 12,56, já o extrato alcoólico 9 apresentou 7,92, o que confirma o que menciona Ferreira (2016), que indica que o fungo em pH básico tem seu desenvolvimento prejudicado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de silício demonstrou a melhor massa a ser utilizada no projeto, uma vez que 1g de *Equisetum hyemale* proporciona 0,18% de silício no extrato, contendo 100% de solvente C₂H₅OH (Álcool Etílico). Assim sendo, 0,0018 g em massa no extrato demonstra melhor aproveitamento comparado as outras massas também testadas pela sua mobilidade em extração sólido-líquido. Todos os procedimentos foram realizados em mesmas circunstâncias.

Para o Teor de Sólidos no Filtrado, os melhores resultados apresentados foram verificados nos extratos contendo 100% C₂H₅OH (Álcool Etílico), e as variações 4, 6 e 8, obtiveram o melhor aproveitamento na extração de sólidos de *Equisetum hyemale* (Cavalinha) na extração sólido-líquido, dessa forma, possuem as características mais próximas do sólido utilizado como matéria prima (Cavalinha).

O Diâmetro de Sauter das partículas moídas de Cavalinha foi de 0,3393 mm, esse valor proporcionou o melhor aproveitamento do sólido na extração, pelas partículas apresentarem tamanhos menores sua área de contato com o solvente aumentou, proporcionando um melhor aproveitamento.

Em ensaios de inoculação do *Exserohilum turcicum*, o melhor resultado foi com a utilização do extrato 9, que apresentou menor índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM) e demonstrou entre os outros, melhor porcentagem de inibição de crescimento micelial (PIC). Seu pH foi considerado básico por ter sido quantificado 7,92, comprovando o estudo de Ferreira (2016), onde o pH básico não proporciona um bom crescimento para fungos.

A comparação entre o extrato alcoólico com o extrato alcalino demonstrou que os melhores resultados foram apresentados pelo extrato com KOH, tanto em absorção de silício quanto em resposta microbiológica contra o *Exserohilum turcicum*, apresentando melhoria de 25,72 % em média de todos os dias de análise de PIC e de 30 % em relação ao IVCM. Em relação ao silício absorvido no extrato, o extrato alcoólico absorve 0,31 % em 10 g de cavalinha, o extrato alcalino chegou a 0,66 %, dessa forma, comprova-se que a absorção de silício em KOH dobra em relação ao meio alcoólico.

Portanto, os extratos com *Equisetum hyemale* (Cavalinha) demonstraram efeitos promissores como fungicida no combate ao *Exserohilum turcicum* diferentemente do estudo apresentado por Syadnik (2006) em que o extrato de cavalinha não surtiu efeito contra mancha acinzentada (*Botrytis squamosa*), e pode comprovar o que afirma Fernandes (2009), por conta da encapsulação da folha com silício foi evitado a infecção de ferrugem no café.

Para futuros estudos, a aplicação em duas ou mais etapas e a variação de concentração

de extratos em contato com o fungo se mostram necessárias. Outro grande potencial dos extratos seria na resposta imunológica de plantas, assim, novos estudos podem ser abordados com esses temas.

Por fim, pode ser feita verificação da absorção da sílica dos extratos pelas culturas submetidas à ação de solúveis da cavalinha; e ainda a verificação se a Cavalinha colhida em uma determinada época do ano produz mais ou menos nutrientes. Através de testes agronômicos com os extratos, tem-se potencial para desenvolvimento de novos projetos.

CONCLUSÕES

Neste estudo, foi avaliado o desempenho da extração sólido-líquido com o solvente alcoólico e da extração por hidrólise alcalina, constatando que o extrato alcalino foi superior ao extrato alcoólico, por absorver mais silício da *Equisetum hyemale*. Os extratos apresentaram inibição no crescimento do fungo *Exserohilum turcicum*, sendo o extrato alcalino superior em 25,72% no PIC e 30% no IVCN em relação ao alcoólico.

No geral, foi avaliado o efeito dos extratos solúveis de cavalinha no crescimento do fitopatógeno *Exserohilum turcicum*. Concluiu-se que os extratos apresentaram respostas positivas no controle de crescimento do fungo, indicando potencial para o desenvolvimento de produtos fungicidas ambientalmente amigáveis à base de cavalinha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, K. R. de T. *et al.* Severidade e controle da helmintosporiose comum (*Exserohilum turcicum*) em oito híbridos comerciais em Jataí-GO. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, 2010. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.

BARBOSA, Edlaine Martins. **Teste de Hipótese e Aplicações**. 2014. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

BARDIN, Décio; MATEUS, Nazaré Barata; CONAGIN, Armando. Viabilidade de uso do delineamento composto central. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 6, p. 1537-1546, 2001.

BARROS, Talita Delgrossi. Biofertilizantes. **Agência Embrapa de Informação e Tecnologia**, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html>. Acesso em: 06 abr. 2020.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 1992.

CARMO, D. R. Do. Extração Química Em Meio Aquoso Dos Constituintes Da Erva Equisetum Arvense: Uma Análise Preliminar. In: Congresso Brasileiro de Química, 49, 2009. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Química, 2009.

CARNEIRO, Fernanda Melo; SILVA, Maria José Pereira da; BORGES, Leonardo Luiz; ALBERNAZ, Lorena Carneiro; COSTA, Joana Darc Pereira. Tendências dos estudos com plantas medicinais no Brasil. **Revista Sapiência**, Iporá, v. 3, n. 2, p. 44-75, 2014.

COELHO, Antonio Carlos de Andrade. **Extração sólido-líquido a quente de lipídios de alimentos industrializados**. 2015. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2015.

COSTA, F. M. A. S.; SILVA, A. P.; FRANCO JÚNIOR, M. R.; MALAGONI, R. A. Uso de Planejamento da Variáveis Temperatura e Concentração de Solventes no Estudo da Solubilidade da Ureia. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 11, 2015. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2015.

DEAN, Angela; VOSS, Daniel; DRAGULJIC, Daniel. **Design and Analysis of Experiments**. 2. ed. Lancaster: Springer, 2017.

FERNANDES, A. L. T; MERRIGHI, A. L. N; SILVA, G. A; FRAGA JÚNIOR, E. F. F. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. **FAZU em revista**, Uberaba, n. 6, p. 11-52, 2009.

FRANCO, Bernadette Dora Gombossy de Melo; LANDGRAF, Mariza. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 1996.

FOUST, A. S. **Princípios das operações unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1980.

FOWLER, João. Defensivos Agrícolas: saiba o que são, os tipos e a importância dos agroquímicos para a produção rural. **Tecnologia do Campo**, Belo Horizonte, 17 maio 2020. Disponível em: <https://tecnologianocampo.com.br/defensivos-agricolas/>. Acesso em: 06 abr. 2020.

GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1984.

GUIMARÃES, SS; MAZARO, SM; FREDDO, ÁR; WAGNER JÚNIOR, A. Potencial de preparados de cavalinha (*Equisetum* sp.) na síntese de metabólitos de defesa em cotilédones de soja (*Glycine max* L.) e o efeito sobre o crescimento de *Rhizoctonia solani* Kuhn, in vitro. **Rev. Bras. Plantas. Med.**, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2015.

GONÇALVES, Ricardo Marcelo *et al.* Mancha-foliar-de-*Phaeosphaeria* (mancha-branca-do-milho): fungo ou bactéria? **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagos, v. 21, n. 79, p. 1-37, 2013.

HIJAZIN, Carlos Atalla; SIMÕES, Aline Tonial; SILVEIRA, Diogo Rhoden. **Hidrólise ácida, alcalina e enzimática**. **Revista Atitude**. 7. ed. Rio de Janeiro: jun. 2010. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/10/Hidr%C3%B3lise-%C3%A1cida-alcalina-e-enzim%C3%A1tica.pdf>.

LEAL, Marco Antônio. Produção de fertilizante orgânico de origem 100% vegetal por meio da compostagem: agroecologia e produção orgânica. **Embrapa**, [s.l.], 17 jun. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1865056/artigo-producao-de-fertilizante-organico-de-origem-100-vegetal-por-meio-da-compostagem>. Acesso em: 10 jul. 2020.

LEONI, R. C.; SAMPAIO, Nilo A. S. Utilização dos testes de hipóteses para a média na tomada de decisão. In: Semana de Atividades Científicas da AEDB, 12, 2014. **Anais...** Resende: AEDB, 2014.

OLHER, M. L. D. A. R. *et al.* Controle in vitro do crescimento micelial e da germinação de conídios de *Botrytis cinerea* por metabólitos e extratos de *Pisolithus microcarpus*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 15008-15025, 2021.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1248-1255, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000800026&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 23 out. 2020.

MAUL, Aldo Adolar; WASICKY, Roberto; BACCHI, Elfriede Marianne. Extração por fluido supercrítico. **Revista Brasileira de Farmacologia**, v. 5, n. 2, p. 1-16, 1996.

MEDEIROS, Gabriela Sabino; SANTOS, Gleyce Teixeira Correia. Estudo Do Solvente Orgânico Etilbenzeno. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 21 jan. 2022.

MORITA, Tokio. **Soluções, Reagentes E Solventes**. São Paulo: Blucher, 2007.

MEIRELLES, Antonio José de Almeida; DITCHFIELD, Cynthia; PESSOA FILHO, Pedro de Alcântara; TELIS, Vânia Regina Nicoletti. **Operações Unitárias**: na indústria de alimentos. Rio de Janeiro: Ltc, 2019.

PEREIRA JÚNIOR, Péricles; REZENDE, Pedro Milanez; MALFITANO, Stephan Carvalho; LIMA, Rafaela Karin; CORRÊA, Luíza Vasconcelos Tavares; CARVALHO, Everson Reis. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agrônômicas da soja [Glycine max (L.) Merrill]. **Ciências Agrárias**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, ago. 2010.

PEREIRA, Tábada Maria Sales; ABREU, Alexandro da Silva; CARVALHO, Janicy Arantes; MORAES, Ana Valéria; SOARES, Cristina Pacheco; JUNIOR, Milton Beltrame. Obtenção caracterização de extrato bruto de cavalinha para fins medicinais. **Revista Tecnologia e Tendências**, Novo Hamburgo, ano 10, v. 2, p. 75-92, dez. 2019.

PEREIRA, Sandra C; RODRIGUES, Fabrício A; MISSIO, Civian Carré; OLIVEIRA, Maria Goreti; ZAMBOLIM, Laércio. Aplicação foliar de silício na resistência de soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 3, p. 164-170, mai. 2009.

PONTE, F. A. F; RODRIGUES, J. S; MALVEIRA, J. Q; MACIEL, I. A; ALBUQUERQUE, M. C. G. **The journal of Engeneering and Exact Sciences**. v. 3, n. 3, p. 418-435, 2017.

QUEIROZ, Dalva Luiz de; CAMARGO, Joelma Melissa Malherbe; DEDECEK, Renato Antonio; OLIVEIRA, Edilson Batista de; ZANOL, Keti Maria Rocha. Absorção e translocação de silício em mudas de Eucalyptus camaldulensis. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 632-640, abr. 2018.

QUEIROZ, G. M.; SOUZA-MOREIRA, T. M.; SALGADO, H. R. N.; MOREIRA, R. R. D.; UTRERA, S. H.; MARTINS, C. H. G.; PIETRO, R. C. R. L. Antimicrobial activity and toxicity in vitro and in vivo of Equisetum hyemale extracts. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 35, n. 4, p. 559-563, 2014.

QUEIROZ, Sonia; COLLINS, Carol; JARDIM, Isabel. Métodos de extração e/ou concentração de compostos encontrados em fluidos biológicos para posterior determinação cromatográfica. **Instituto de Química**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 68-76, 2001.

ROCHA, Welisson Martins; SILVA, Aluizio Paulo Rodrigues; FERNANDES, David Maikel; FINZER, José Roberto Delalibera. Production of Pequi Powder by Drying Pulp. **Agricultural Sciences**, Uberaba, v. 9, n. 8, p. 1-11, 2018.

ROSSI, Roberto L. de; REIS, Erlei Melo; BRUSTOLIN, Ricardo. Detecção e quantificação da infecção natural de *Exserohilum turcium* em sementes de milho e milho pipoca. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 39, 2012. **Anais...** Águas de Lindóia: CNMS, 2012.

SCHURT, Daniel Augusto; REIS, Ricardo Dutra; ARAUJO, Leonardo; MISSIO, Vib=via Carré; RODRIGUES, Fabricio Ávila. Análise microscópica da resistência do arroz à queima das bainhas mediada pelo silício. **Bragantia**, Fitossanidade, Campinas, v. 74, n. 1, p. 93-101, 2015.

STADNIK, Marciel J; FILHO, João Américo Wordell. Controle da mancha acinzentada da cebola e seu impacto sobre a qualidade de mudas. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 4, p. 437-441, out. 2006.

SILVA DE BRITO, Rychaellen *et al.* Avaliação do efeito da inibição da antracnose do maracujazeiro com a utilização do óleo de pupunha (*bactris gasipaes*). **South American: Journal of Basic Education, technical and Technological, Universidade Federal do Acre**, v. 4, ed. 2, p. 43-50, nov. 2017.

VENTUROSOSO, Luciano dos Reis; BACCHI, Lilian Maria Arruda; GAVASSONI, Walber Luiz; CONUS, Lenita Aparecida; PONTIM, Cesar Alvaro; BERGAMIN, Anderson Cristian. Atividade antifúngica de extratos vegetais sobre o desenvolvimento de fitopatógenos. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 37, n. 1, p. 18-23, 2011.

ZEVIANI, Walmes Marques. **Manual de Planejamento e Análise de Experimentos com R**. Curitiba: Ufpr, 2019.

APÊNDICE A - Análise granulométrica da cavalinha pós-moagem

	Diâmetro (mm/ μ m)	Diâmetro médio (mm/ μ m)	Peso peneira sem partículas (g)	Peso peneira com partículas (g)	Massa retida (g)	X_i	X_i/d_i
Peneira 1	2,36	2,18	524	524,055	0,055	0,003525	0,001617
Peneira 2	2,0	1,5	531	531,062	0,062	0,003974	0,002649
Peneira 3	1,0	0,925	419	421,205	1,336	0,08563	0,092573
Peneira 4	0,85	0,725	384	385,692	1,488	0,095372	0,131548
Peneira 5	0,6	0,5125	380	385,134	4,787	0,30682	0,598672
Peneira 6	0,425	0,361	417	421,77	4,125	0,265671	0,735931
Peneira 7	0,212	0,1805	371	375,725	3,55	0,227535	1,260581
Peneira 8	0,149	0,0745	187,344	187,488	0,144	0,00923	0,123887
Peneira 9	0,0	0,0	383	383	0,035	0,002243	0
					$\Sigma=15,602$	$\Sigma=1,00$	$\Sigma=2,947459$

Fonte: Autor (2021)

APÊNDICE B - Resultados de Procedimentos Propostos pelo (PCC) Primeira Parte

Procedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Massa de cavalinha inicial (g)	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,00	1,00
Massa de etanol inicial (g)	26,95	79,34	26,72	79,50	26,28	26,5	78,93	26,74	52,66	52,78	55,86	52,26	17,23	88,63	52,18	52,85	52,38
Massa de H ₂ O inicial (g)	67,23	0	66,51	0	65,82	66,44	0	66,75	33,09	32,89	33,55	33,43	78,07	0	33,38	33,29	33,31
Frasco sem extrato (g)	21,41	21,54	21,46	21,33	21,45	21,307	22,06	21,14	21,39	21,23	21,36	21,43	21,46	22,52	21,48	21,45	21,46
Massa do prato inicial (g)	111,36	106,65	106,43	107,54	111,12	106,48	111,08	106,34	106,31	111,08	106,41	111,09	106,41	106,28	106,31	106,31	111,08
RESULTADOS																	
Frasco com extrato (g)	112,36	95,58	108,93	95,85	104,37	108,28	95,80	108,49	100,82	99,91	105,05	100,51	111,12	102,72	100,06	100,56	100,19
Massa do prato final (g)	113,12	107,57	108,26	108,32	112,47	107,89	112,00	108,00	107,51	112,26	107,76	112,44	108,51	107,38	107,67	107,51	112,30
Extrato final (g)	90,95	74,03	87,47	74,52	82,92	86,98	73,74	87,35	79,42	78,68	83,69	79,07	89,66	80,21	78,58	79,11	78,73
Cavalinha pós extração (g)	1,76	0,92	1,83	0,77	1,35	1,41	0,92	1,65	1,20	1,18	1,35	1,36	2,10	1,09	1,36	1,20	1,22
Cavalinha pós secagem (g)	0,58	0,37	0,62	0,58	0,46	0,60	0,76	0,58	0,71	0,64	0,73	0,71	0,73	0,76	0,74	0,67	0,67
Rendimento de extração (%)	95,55	92,15	92,82	92,57	89,06	92,59	92,25	92,43	91,54	90,77	92,55	91,21	93,10	89,48	90,77	90,78	90,82
Teor de sólidos no filtrado (%)	0,38	0,35	0,35	0,45	0,21	0,37	0,21	0,38	0,26	0,35	0,24	0,27	0,21	0,21	0,22	0,32	0,32

Fonte: Autor (2021)