



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SAMUEL DE JESUS FERREIRA

EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO LENTA NA REDUÇÃO DA INFESTAÇÃO POR
***Fusarium* sp. NA SOLUÇÃO NUTRITIVA**

FORTALEZA

2025

SAMUEL DE JESUS FERREIRA

EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO LENTA NA REDUÇÃO DA INFESTAÇÃO POR *Fusarium*
sp. NA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Agronomia da Universidade Federal
de Ceará, como um dos requisitos para obtenção
do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Ismail Soares.

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Rodrigues de
Miranda.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F443e Ferreira, Samuel de Jesus.
Eficiência da filtração lenta na redução da infestação por *Fusarium* sp. na solução nutritiva / Samuel de Jesus
Ferreira. – 2025.
52 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Ismail Soares.

Coorientação: Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda.

1. *Fusarium*. 2. Filtração. 3. Solução nutritiva.. I. Título.

CDD 630

SAMUEL DE JESUS FERREIRA

EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO LENTA NA REDUÇÃO DA INFESTAÇÃO POR *Fusarium*
sp. NA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Agronomia da Universidade Federal
de Ceará, como um dos requisitos para obtenção
do grau de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 17/ 02/ 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ismail Soares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda (Coorientador)
Embrapa Agroindústria Tropical

Prof. Dr. Cristiano Souza Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Xavier de Souza
Embrapa Agroindústria Tropical

A Deus.

A todos que me apoiaram nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, cuja presença e graça tornaram possível a realização dos meus objetivos ao longo dos anos de estudo.

À minha família e amigos, pelo apoio incondicional e incentivo.

À Embrapa Agroindústria Tropical e à Universidade Federal do Ceará, pelo suporte institucional e pelas oportunidades de aprendizado.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento, que viabilizou a execução deste trabalho.

Ao Prof. Ismail Soares, por todo o suporte acadêmico permitindo que eu pudesse focar no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda, pela concepção do projeto que deu origem a este trabalho e pela oportunidade de desenvolvê-lo. Sou grato pela confiança, orientação e apoio ao longo de todo o processo.

Ao Dr. Marlon Valentin e ao Dr. Fernando Aragão, pelas reflexões, críticas e sugestões.

A todos os membros do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Agroindústria Tropical, pelo auxílio e parceria ao longo da pesquisa.

E, por fim, aos membros da banca examinadora, pelo tempo e considerações fornecidas para o aprimoramento deste trabalho.

“A agricultura é a arte de saber esperar.”
(BACHELLI, 1927).

RESUMO

Fusarium sp. é um fungo fitopatogênico comum em diversas culturas, causando doenças que podem comprometer o desenvolvimento das plantas e a produtividade. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da filtração lenta em areia, com e sem radiação UV, no controle de *Fusarium* sp. em água de irrigação, para aplicação em solução nutritiva em sistemas hidropônicos fechados. O experimento foi conduzido na Embrapa Agroindústria Tropical em Fortaleza (CE), utilizando um filtro lento de areia, com capacidade para 200 litros de água, vazão média de 100 L.h⁻¹ e granulometria média (0,42 a 1,20 mm de diâmetro), e um filtro UV de 25 W. Foi utilizado arranjo fatorial (3×5), com o fator tipo de filtração em três níveis (sem filtração, filtração lenta em areia e filtração lenta em areia com radiação UV) e o fator tempo de filtração em cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4 horas). O isolamento de *Fusarium* sp. foi realizado a partir de raízes de pimentão (*Capsicum annuum*) com sintomas de necrose radicular. Uma suspensão de esporos do fungo foi inoculada em 100 litros de água de irrigação, atingindo uma concentração final foi de 1 x 10⁴ esporos.mL⁻¹, e inserida em um filtro lento de areia. Amostras da água foram coletadas no afluente e no efluente do filtro, e em seguida foram distribuídas, utilizando-se a técnica de Spread Plate, em placas de Petri com meio BDA (batata dextrose ágar). Após o período de cinco dias de incubação, realizou-se a contagem de colônias. Os resultados mostraram que apenas as amostras do controle positivo apresentaram crescimento significativo de colônias de *Fusarium* sp., enquanto as amostras após filtração lenta em areia e filtração lenta em areia com UV não mostraram crescimento significativo. Conclui-se que a filtração lenta em areia, isolada ou com a radiação UV, é eficiente na desinfestação de *Fusarium* sp., com eficiência superior a 99%.

Palavras-chave: *Capsicum annuum*, fungo fitopatogênico, esporos, colônias.

ABSTRACT

Fusarium sp. is a common phytopathogenic fungus in various crops, causing diseases that can compromise plant development and productivity. This study aimed to evaluate the efficiency of slow sand filtration, with and without UV radiation, in controlling *Fusarium* sp. in irrigation water for application in nutrient solution in closed hydroponic systems. The experiment was conducted at Embrapa Agroindústria Tropical in Fortaleza (Brazil), using a slow sand filter with a capacity of 200 liters of water, an average flow rate of 100 L.h⁻¹, a medium grain size (0.42 to 1.20 mm in diameter), and a 25 W UV filter. A factorial arrangement (3×5) was used, with the filtration type factor at three levels (no filtration, slow sand filtration, and slow sand filtration with UV radiation) and the filtration time factor at five levels (0, 1, 2, 3, and 4 hours). *Fusarium* sp. was isolated from bell pepper (*Capsicum annuum*) roots showing symptoms of root necrosis. A suspension of fungal spores was inoculated into 100 liters of irrigation water, reaching a final concentration of 1 × 10⁴ spores.mL⁻¹, and then introduced into a slow sand filter. Water samples were collected from the filter influent and effluent and subsequently distributed using the Spread Plate technique in Petri dishes containing PDA (potato dextrose agar) medium. After a five-day incubation period, colony counts were performed. The results showed that only the positive control samples presented significant growth of *Fusarium* sp. colonies, while the samples after slow sand filtration and slow sand filtration with UV did not show significant growth. It is concluded that slow sand filtration, either alone or combined with UV radiation, is efficient in the disinfestation of *Fusarium* sp., with an efficiency greater than 99%.

Keywords: *Capsicum annuum*, phytopathogenic fungus, spores, colonies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de desinfestação formado pelo filtro lento de areia (à direita) e filtro UV (à esquerda).....	21
Figura 2 – Tubo de drenagem instalado no fundo do filtro lento de areia	22
Figura 3 – Representação do sistema de desinfestação da solução nutritiva para sistemas hidropônicos instalado em Guaraciaba do Norte (CE).....	23
Figura 4 – Frascos Erlenmeyer em mesa agitadora para preparo da suspensão de esporos....	25
Figura 5 – Microscópio óptico e câmara de Neubauer utilizados na determinação da concentração de esporos na suspensão	26
Figura 6 – Placas de Petri inoculadas na sala de incubação no dia 15 de maio de 2024	28
Figura 7 – Contador de colônias utilizado.....	29
Figura 8 – Placas do controle positivo (CP) do dia 15 de maio sem diluição seriada após 5 dias de incubação	32
Figura 9 – Placas do controle positivo (CP) do dia 15 de maio após diluição seriada e após 5 dias de incubação.....	32
Figura 10 – Placas da filtração lenta em areia (FLA) do dia 15 de maio após 5 dias de incubação	33
Figura 11 – Placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) do dia 15 de maio após 5 dias de incubação	34
Figura 12 – Placas do controle positivo (CP) do dia 22 de maio sem diluição seriada após 5 dias de incubação.....	36
Figura 13 – Placas do controle positivo (CP) do dia 22 de maio após diluição seriada e após 5 dias de incubação.....	36
Figura 14 – Placas da filtração lenta em areia (FLA) do dia 22 de maio após 5 dias de incubação	37
Figura 15 – Placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) do dia 22 de maio após 5 dias de incubação	38
Figura 16 – Valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹) obtidos no dia 15 de maio	41
Figura 17 – Valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹) obtidos do dia 22 de maio	45
Figura 18 – Eficiência da filtração lenta em areia (FLA) e filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) na desinfestação de <i>Fusarium</i> sp. ao longo do tempo dos dias 15 e 22 de maio	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹) após 5 dias de incubação, em diferentes tipos de filtração (CP, FLA e FLA+UV) ao longo do tempo (0, 1, 2, 3 e 4 horas) para o dia 15 de maio	35
Tabela 2 – Valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹), após 5 dias de incubação, em diferentes tipos de filtração (CP, FLA e FLA+UV) ao longo do tempo (0, 1, 2, 3 e 4 horas) para o dia 22 de maio	39
Tabela 3 – Estatística descritiva para <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹) para o dia 15 de maio	40
Tabela 4 – Teste de Kruskal-Wallis para <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹) do dia 15 de maio.....	41
Tabela 5 – Resultados do teste de Dunn para o fator tipos de filtração obtidos da análise dos valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL-1) do dia 15 de maio.....	42
Tabela 6 – Resultados do teste de Dunn para o fator tempo de filtração obtidos da análise dos valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL-1) do dia 15 de maio.....	43
Tabela 7 – Estatística descritiva para <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹) para o dia 22 de maio	44
Tabela 8 – Teste de Kruskal-Wallis para <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹) do dia 22 de maio.....	45
Tabela 9 – Resultados do teste de Dunn para o fator tipo de filtração obtidos da análise dos valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL-1) do dia 22 de maio.....	46
Tabela 10 – Resultados do teste de Dunn para o fator tempo de filtração obtidos da análise dos valores de <i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL-1) do dia 22 de maio.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDA	Batata dextrose ágar
CP	Controle Positivo
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
eq.	Equação
et al.	E outros
FLA	Filtração Lenta em Areia
FLA+UV	Filtração Lenta em Areia com Radiação Ultravioleta
PCR	Polymerase Chain Reaction
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinila
sp.	Espécie
spp.	Espécies
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UV	Radiação Ultravioleta
UV-C	Radiação Ultravioleta tipo C

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
*	Significativo ao nível de 5% de probabilidade
**	Significativo ao nível de 1% de probabilidade
<	Menor que
>	Maior que
×	Multiplicação (vezes)
μm	Micrômetro
CE	Condutividade elétrica
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
g	Gramma
h	Hora
L	Litro
m ²	Metro quadrado
max	Máximo
Med	Mediana
min	Mínimo
mJ	Milijoule
mL	Mililitro
mm	Milímetro
N	Número de observações
NA	Não aplicável
nm	Nanômetro
<i>p</i>	Valor de <i>p</i> do teste de Shapiro-Wilk
Q1	Primeiro quartil
Q3	Terceiro quartil
<i>s</i>	Desvio-padrão
W	Estatística do teste de Shapiro-Wilk
W	Watt
\bar{x}	Média

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Hidroponia	16
2.2	Filtração lenta em areia	17
2.2.1	<i>Princípios da filtração lenta em areia</i>	17
2.3	Filtração lenta em areia combinada com radiação ultravioleta (UV)	18
2.4	Gênero <i>Fusarium</i>	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Construção do filtro lento de areia	21
3.2	Obtenção e purificação do isolado de <i>Fusarium</i> sp.	23
3.3	Preparo do inóculo	25
3.4	Inoculação da suspensão de esporos	26
3.5	Delineamento experimental	27
3.6	Amostragem	27
3.7	Plaqueamento das amostras	28
3.8	Contagem das colônias	29
3.9	Identificação por microscopia	30
3.10	Análises estatísticas	31
3.11	Eficiência da Filtração	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Resultado do plaqueamento das amostras do dia 15 de maio	32
4.2	Resultado do plaqueamento das amostras do dia 22 de maio	35
4.3	Análise estatística dos resultados do dia 15 de maio	39
4.3.1	<i>Estatística descritiva para o dia 15 de maio</i>	39
4.3.2	<i>Teste de Kruskal-Wallis para o dia 15 de maio</i>	41
4.3.3	<i>Teste de comparação múltiplas de Dunn para o dia 15 de maio</i>	41
4.4	Análise estatística dos resultados do dia 22 de maio	43
4.4.1	<i>Estatística descritiva para o dia 22 de maio</i>	43
4.4.2	<i>Teste de Kruskal-Wallis para o dia 22 de maio</i>	45
4.4.3	<i>Teste de comparação múltiplas de Dunn para o dia 22 de maio</i>	45
4.5	Eficiência da filtração	47

4.6	Discussão dos resultados	48
5	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A hidroponia é um conjunto de técnicas agrícolas para o cultivo de plantas sem solo, que vem sendo usada em grande escala, principalmente em regiões onde o solo não apresenta condições propícias para o cultivo, uma vez que na hidroponia utiliza-se uma solução nutritiva para fornecer os nutrientes essenciais às plantas (BEZERRA NETO, 2017). No entanto, a recirculação dessa solução em sistemas hidropônicos de circulação fechada pode favorecer à disseminação de fitopatógenos, dentre eles diversas espécies de fungos do gênero *Fusarium*, que têm grande importância econômica devido sua patogenicidade e agressividade, especialmente em climas tropicais e subtropicais. Atuando como agentes causadores de doenças graves em diversas culturas agrícolas, como leguminosas, hortaliças e frutíferas, esses patógenos comprometem a produtividade das plantas e a qualidade da produção, além de provocar perdas econômicas significativas. (MICHEREFF et al., 2005).

Nesse contexto, o tratamento de soluções recirculantes surge como uma estratégia essencial para mitigar os riscos de dispersão de doenças em sistemas hidropônicos de circulação fechada. Dentre as técnicas de desinfestação disponíveis, a filtração lenta em areia destaca-se por ser uma alternativa econômica e eficiente na remoção de microrganismos da água de irrigação. Essa técnica, que combina processos mecânicos e biológicos, tem a capacidade de remover uma ampla gama de contaminantes, incluindo esporos de fungos, bactérias e matéria orgânica. A radiação ultravioleta (UV) é outra tecnologia amplamente utilizada para desinfestação de água, exatamente por sua capacidade de inativar microrganismos, inclusive aqueles resistentes a tratamentos convencionais. (EHRET et al., 2001).

O trabalho tem como objetivos avaliar a eficiência da filtração lenta em areia, isolada ou combinada com radiação UV, na desinfestação do *Fusarium* sp. em água de irrigação aplicada em solução nutritiva em sistemas hidropônicos fechados. Dentre os quais avaliar as concentrações de esporos de *Fusarium* sp. em água de irrigação após tratamento com filtração lenta em areia, com e sem radiação UV, avaliar o potencial da combinação da filtração lenta em areia com a radiação UV, determinar a influência do tempo de filtração nas concentrações de *Fusarium* sp., e verificar a estabilidade e eficiência da desinfestação ao longo de quatro horas de filtração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Hidroponia

A hidroponia refere-se a um conjunto de técnicas utilizadas no cultivo de plantas sem solo, em que os nutrientes minerais são fornecidos por meio de uma solução nutritiva balanceada, adaptada às necessidades da cultura. O termo tem origem no grego, em que "hidro" significa água e "ponos" que significa trabalho, resultando em "trabalho com água", o que, nesse contexto, implica o uso de uma solução nutritiva para possibilitar o cultivo das plantas (BEZERRA NETO, 2017).

O cultivo hidropônico pode ser feito em vários tipos de sistemas, como sistema de fluxo contínuo, sistema de filme nutriente, sistema de gotejamento, entre outros, cada um com suas próprias vantagens e desvantagens. Esses sistemas são projetados para manter as raízes das plantas em contato constante com a solução nutritiva e garantir que elas recebam água e nutrientes suficientes para crescerem saudáveis e fortes (HENDRICKSON et al., 2022).

Os sistemas hidropônicos de circulação fechada, nos quais a solução nutritiva é drenada e recirculada, reduzem o consumo de água e a lixiviação de nutrientes. No entanto, o seu manejo é mais difícil em comparação com sistemas abertos (drenagem livre). A par da possível disseminação de doenças transmitidas pelas raízes, a salinidade da água de irrigação é a principal dificuldade para a gestão de sistemas fechados (PARDOSSI, 2011). A contaminação da solução nutritiva por fitopatógenos pode ocorrer de diversas formas, incluindo o uso de água de irrigação infestada, substratos contaminados e material vegetal infectado (EHRET et al., 2001).

Nos sistemas hidropônicos de circulação fechada, a desinfestação da solução nutritiva recirculante é de fundamental importância para evitar a propagação de doenças fitopatogênicas. De acordo com Runia (1995) citado por Van Os et al (1997) existem diversos métodos para desinfestação da solução nutritiva recirculante. Entre esses métodos, citam-se: tratamento térmico ($> 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ por pelo menos 30 segundos), tratamento com ozônio (10 g de ozônio por hora por m^3 de água) e radiação UV ($100\text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ para eliminar fungos patogênicos e $250\text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ para completa desinfestação incluindo vírus) como os métodos mais importantes para desinfestação de soluções nutritivas. Algumas dessas técnicas de desinfestação empregam alta tecnologia e são de elevado custo.

2.2 Filtração lenta em areia

Um dos métodos de desinfestação utilizados na hidroponia é a filtração lenta em areia, que é um método não químico, barato e robusto, pois apresenta um baixo custo de construção e manutenção. Possui capacidade de remoção de microrganismos, toxinas produzidas por cianobactérias, agroquímicos e matéria orgânica.

A desinfestação de água de irrigação ou soluções nutritivas por filtração deve considerar o tamanho muito pequeno dos fitopatógenos transmissíveis pela água. O tamanho das estruturas infecciosas dos fungos está principalmente na faixa de 3 a 50 μm , o das bactérias cerca de 1 μm e dos vírus fitopatogênicos geralmente 0,03 a 0,3 μm . Obviamente, filtros padrão com tamanho de poro de 80 a 100 μm , comumente usados para evitar entupimento de linhas de irrigação, gotejadores etc., não são eficientes na eliminação de fitopatógenos. Para desinfestar água de irrigação ou soluções nutritivas, principalmente a filtração por membrana ou a filtração lenta são consideradas técnicas de filtração adequadas (EHRET et al., 2001).

Nos filtros lentos de areia geralmente a filtração ocorre por gravidade. Consistem basicamente em três camadas diferentes dentro de uma caixa de filtro. Essas camadas são dispostas de baixo para cima: o sistema de drenagem, a camada de cascalho e a areia. É apenas a areia que desempenha qualquer parte no processo de tratamento (ELLIS; PURVIS, 1994)

Outros componentes incluem um difusor de água, uma tubulação de saída com um medidor de vazão e válvulas de controle para regular a velocidade do fluxo de água através do leito filtrante. A espessura mínima do leito filtrante deve ser de 50 a 60 cm, mas recomenda-se 80 a 120 cm. Dependendo da qualidade da água bruta, a limpeza do leito filtrante será necessária após algumas semanas ou meses para evitar entupimentos. Isso é feito raspando apenas a camada superior. A camada de areia é suportada por duas ou três camadas de cascalho graduado (2-8, 8-16 e 16-32 mm) e algum tipo de drenagem subterrânea (EHRET et al., 2001).

2.2.1 Princípios da filtração lenta em areia

O princípio da filtração lenta é muito simples. A água bruta percola muito lentamente (taxa de filtração entre 100 e 300 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) através de um leito de areia fina ou outro material filtrante. Logo após o início do processo de filtração, um "Schmutzdecke" (camada de sujeira ou película de filtro) se forma na superfície do leito filtrante. Sua consistência varia muito dependendo do material orgânico e inorgânico que o compõe. O "Schmutzdecke" apresenta uma atividade biológica muito elevada com sua população de algas, protozoários,

bactérias, fungos, actinomicetos, diatomáceas, rotíferos etc. (ELLIS, 1985).

Apesar da longa história de filtração lenta em areia, os mecanismos de purificação da água não são bem compreendidos. No entanto, parece muito claro que é mais do que um efeito de esforço mecânico. Sugere-se que sedimentação, adsorção e outros fatores físicos, químicos e biológicos sejam processos importantes da filtração lenta. Em comparação com a filtração rápida, a atividade biológica é considerada o mecanismo de purificação adicional mais importante (HUISMAN, 1974).

Durante o processo de “amadurecimento” ou “maturação” do filtro, material orgânico será depositado na superfície dos grãos filtrantes possibilitando a formação de microcolônias e biofilmes na superfície das partículas individuais do filtro e da superfície do filtro. Devido à baixa taxa de fluxo, partículas inorgânicas e orgânicas, incluindo patógenos, ficam aderidas à essas superfícies. As impurezas orgânicas aprisionadas são decompostas por oxidação química e microbiológica (EHRET et al., 2001).

Tais processos biológicos necessitam de tempo suficiente (baixa vazão), oxigênio suficiente ($> 3 \text{ mg.L}^{-1}$ no efluente) e temperatura adequada. Devido às interações entre fatores bióticos e abióticos, um filtro lento de areia pode ser considerado como um ecossistema aberto com entrada contínua de nutrientes e saída de metabólitos (RANKIN; PAULITZ, 1994).

As populações bacterianas estão adaptadas ao tipo e quantidade de nutriente fornecido pela água que passa e, portanto, devem ser evitadas flutuações na qualidade da água bruta. A contribuição da atividade biológica para a eliminação de patógenos pode variar dependendo do organismo específico (EHRET et al., 2001).

A identidade destes microrganismos e o seu papel na supressão de doenças através da recirculação de soluções nutritivas não é bem compreendido. No entanto, eles podem contribuir para a supressão de fitopatógenos (POSTMA; WILLEMSSEN-DE KLEIN; VAN ELSAS, 2000).

2.3 Filtração lenta em areia combinada com radiação ultravioleta (UV)

A radiação ultravioleta na faixa UV-C (comprimento de onda compreendido entre 200 e 280 nm) é amplamente utilizada para desinfestação de água devido à sua capacidade de inativar uma vasta gama de microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários. A faixa ótima para inativação de microrganismos é no intervalo de comprimento de onda entre 245 e 285 nm. No entanto, o comprimento de onda de maior efeito é o de 254 nm, que corresponde à emissão máxima das lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. No

mercado existem lâmpadas de baixa pressão com potências que variam de 4 a 60 W, correspondendo a maior oferta as lâmpadas de 30 W (MARTINS, 2021).

Nos processos com lâmpadas imersas, geralmente, as lâmpadas possuem um invólucro na forma de um tubo, em que o diâmetro da secção transversal é ligeiramente superior ao da própria lâmpada. A lâmpada é inserida no seu interior, sendo hermeticamente protegida do contato com o líquido uma vez fechado o tubo, o que lhe permite operar em condições adequadas de temperatura (MARTINS, 2021).

A eficiência da radiação na desinfestação de microrganismos da água, pode ser comprometida por turbidez, sólidos em suspensão e matéria orgânica. Por essa razão, é essencial que a água seja previamente filtrada para garantir que a radiação UV atinja os microrganismos de forma eficaz. Além disso, o tempo de exposição à radiação e a manutenção regular das lâmpadas, que perdem eficiência ao longo do tempo, são fatores determinantes para o sucesso da desinfestação (BITTON, 2010).

2.4 Gênero *Fusarium*

O gênero *Fusarium* pertence ao Reino Fungi, Filo Ascomycota, Subdivisão Pezizomycotina, Classe Sordariomycetes, Subclasse Hypocreomycetidae, Ordem Hypocreales e Família Nectriaceae. (INDEX FUNGORUM, 2024)

Os fungos do gênero *Fusarium* exibem alto grau de diversidade em relação a atributos morfológicos, fisiológicos e ecológicos. Representantes desse gênero ocorrem, na maioria dos nichos ecológicos, nas mais diversas regiões geográficas do mundo (BURGESS et al., 1997). As principais estruturas morfológicas incluem macroconídios, microconídios e clamidósporos, que são fundamentais para a identificação e diferenciação das espécies. Os macroconídios, geralmente são fusiformes e apresentam várias septações, sendo produzidos em estruturas especializadas chamadas esporodóquios. Por outro lado, os microconídios são geralmente menores, ovais ou elípticos, e podem ser produzidos em cadeias ou em falsas cabeças, dependendo da espécie. Clamidósporos, que são estruturas de resistência, podem ser produzidos terminalmente ou intercaladamente ao longo das hifas, contribuindo para a sobrevivência do fungo em condições adversas. A morfologia dessas estruturas, além de características adicionais como o tipo de hifa e a presença de estruturas reprodutivas, é utilizada para a identificação e classificação das espécies do gênero. Porém, a identificação das espécies de *Fusarium* ocorre majoritariamente por meio da análise do DNA do fungo, seguida de amplificação por PCR (Polymerase Chain Reaction) e análise de marcadores moleculares

(LESLIE; SUMMERELL, 2006).

O gênero *Fusarium* é responsável por causar dois tipos principais de doenças em plantas: murchas vasculares e podridões corticais. As partes das plantas atacadas incluem raízes, sementes, frutos e colmos. Especificamente, *F. oxysporum* é conhecido por causar lesões vasculares, enquanto *F. solani* é associado a podridões corticais. As doenças associadas a essas espécies podem se manifestar de diversas formas, incluindo tombamentos, morte de plântulas, podridões de espigas e outras manifestações de podridões em diferentes partes da planta (MICHEREFF et al., 2005).

A murcha de fusário na cultura do pimentão (*C. annuum*) é causada pelo fungo de solo *F. oxysporum* f.sp. *radicis-capsici* Lomas-Cano, Boix-Ruiz, Cara-García, Marín-Guirao, Palm.-Llamas, Camacho-Ferre & Tello-Marq. e ocorre de forma esporádica, em plantas isoladas ou em reboleiras, nas áreas de maior umidade. As plantas afetadas apresentam sintomas de murcha acompanhada de amarelecimento das folhas. Nestas verifica-se descoloração interna do caule na região do coleto e nas raízes com o progresso da doença as plantas murcham de forma definitiva e morrem (PEREIRA et al., 2016).

F. oxysporum está associado à murcha-de-fusário em algodão, em batata-doce, em caupi, em chuchu, em feijão, em fumo, em maracujá, em melancia, em melão e em uva. No alho e cebola, *F. oxysporum* está associado à podridão basal. *F. solani* está associado à podridão radicular em ervilha, em melancia e em melão. Na soja, *F. solani* está associado à podridão radicular vermelha e à podridão radicular seca. No café, *F. solani* está associado à podridão do caule. No mamão, no alho e cebola, *F. solani* está associado à podridão radicular seca. *F. solani* e *F. oxysporum* estão associados à podridão de tubérculos, bem como em inhame e mandioca. *Fusarium* spp. estão associados à podridão seca em batata (MICHEREFF et al., 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A eficiência da filtração lenta foi avaliada com base no método descrito por Ehret et al. (2001), que propõe a comparação das concentrações de patógenos na entrada (sobrenadante) e na saída (efluente) do sistema. Este método dispensa o uso de plantas e permite a realização de experimentos controlados para avaliar variáveis específicas, bem como, diferentes meios filtrantes, taxas de filtração e outras variáveis importantes. A análise foi realizada considerando o tempo de filtração como variável principal. Essa abordagem permitiu avaliar a eficiência do sistema ao longo do tempo, garantindo maior controle das condições experimentais.

3.1 Construção do filtro lento de areia

O filtro lento de areia foi construído nas instalações da Embrapa Agroindústria Tropical em Fortaleza (CE) em 2023. Na construção foram utilizadas duas bombonas plásticas cilíndricas, com dimensões de 57 cm de diâmetro interno, 93 cm de altura e capacidade para um volume de 200 litros de água, as quais foram cuidadosamente lavadas para remover quaisquer resíduos. A parte superior de uma das bombonas foi cortada para criar uma abertura ampla, enquanto o fundo da outra bombona foi removido. Em seguida, a bombona sem fundo foi colada sobre a bombona com fundo utilizando-se selante poliuretano PU 40 (Vedacit), formando uma estrutura tubular vertical única conforme a Figura 1.

Figura 1 – Sistema de desinfestação formado pelo filtro lento de areia (à direita) e filtro UV (à esquerda)



Fonte: Autor, 2024.

Na lateral da base da bombona inferior, foi realizado um furo e conectado um flange onde foi instalado o tubo de drenagem, que consistiu em um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento com várias perfurações com cerca de 5 a 10 mm de diâmetro. O tubo de drenagem foi posicionado dentro do filtro onde uma das extremidades foi fechada com um cap soldável de PVC, enquanto a outra foi conectada ao flange de saída do filtro conforme a Figura 2.

Figura 2 – Tubo de drenagem instalado no fundo do filtro lento de areia



Fonte: Autor, 2024.

Sobre o tubo de drenagem, na base da bombona inferior foi colocada uma camada de pedra brita 1 com 30 cm de espessura, para formar o leito suporte. Ele serviu para dar suporte ao tubo de drenagem e permitir que a água filtrada fluísse uniformemente para fora do filtro, evitando entupimentos e garantindo a distribuição uniforme da água através do leito filtrante. Sobre o leito suporte foi adicionada uma camada de areia com granulometria média (0,42 a 1,2 mm de diâmetro) com 60 cm de espessura e área de 0,2552 m² para formar o leito filtrante.

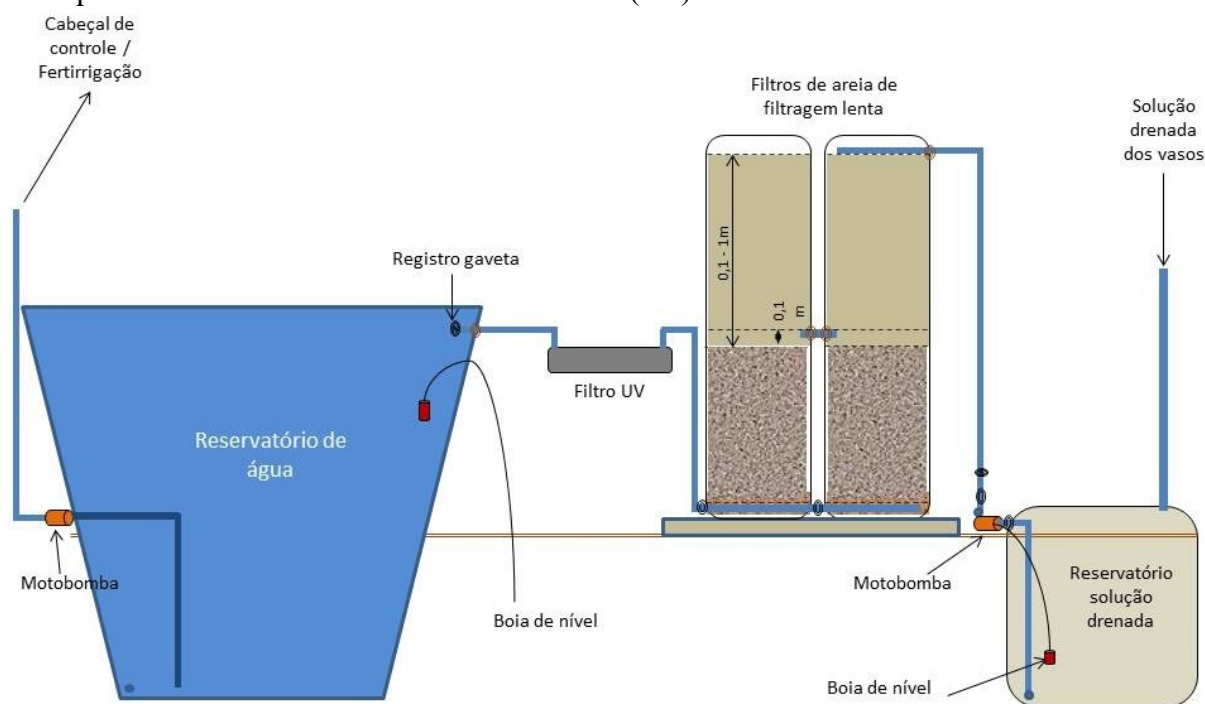
No flange de saída do filtro foi conectado um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro, logo em seguida foi instalado um registro de esfera. A água filtrada saía pelo tubo de drenagem passava pelo registro de esfera e era conduzida verticalmente por um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e um metro de comprimento, para assegurar que a camada de areia sempre permanecesse com uma lâmina de água de 10 cm acima do leito filtrante. Em seguida a água era conduzida por um tubo de PVC de 35 mm de diâmetro para um filtro UV com uma lâmpada UV-C de 25 Watts (AquaUV-Cristal, Clean Jump), com capacidade de vazão máxima de 2500 L h⁻¹.

Na saída do filtro UV foi conectado um hidrômetro e um registro de gaveta, que por

sua vez foi ligado a um reservatório de armazenamento. O registro de gaveta foi utilizado para regular a vazão do filtro dentro da faixa recomendada de operação (taxa de filtração entre 100 e 300 L.h⁻¹.m⁻²) a qual foi ajustada para 25 L.h⁻¹. A taxa de filtração foi definida pela razão entre a vazão aplicada e a área do leito filtrante (0,2552 m²) obtendo-se uma taxa de filtração de aproximadamente 100 L.h⁻¹.m⁻². O filtro foi coberto com uma tampa e uma tela para prevenir a entrada de contaminantes, além de reduzir a evaporação e manter a temperatura constante dentro do filtro. Após a montagem do sistema, foi adicionada água ao filtro e a estrutura foi fechada para um período de maturação de 40 dias.

Na Figura 3 é apresentado o esquema do sistema de desinfestação de solução nutritiva, similar ao sistema avaliado no presente trabalho, projetado para uma vazão de 250 L.h⁻¹, com dois filtros lentos de areia, instalado em uma propriedade em Guaraciaba do Norte (CE).

Figura 3 – Representação do sistema de desinfestação da solução nutritiva para sistemas hidropônicos instalado em Guaraciaba do Norte (CE)



Fonte: Miranda, 2024.

3.2 Obtenção e purificação do isolado de *Fusarium* sp.

Em outubro de 2023, foi recebido pelo Laboratório de Fitopatologia da Embrapa amostras de raízes de plantas de pimentão (*C. annuum*) que apresentavam sintomas de necrose radicular oriundas da Fazenda Itaueira Agropecuária, localizada em São Benedito (CE).

Para a identificação do patógeno causador dos sintomas observados, foi empregada a metodologia de isolamento indireto, obedecendo aos Procedimentos Operacionais Padrão (CAROLLO, 2016). Primeiramente, fragmentos de tecido foram retirados da região limítrofe entre a área lesionada e a área sadia das raízes de pimentão, local onde o patógeno apresentava maior atividade. As áreas necróticas, situadas no centro das lesões, foram descartadas, pois frequentemente contêm uma alta população de saprófitos. Em seguida, os fragmentos coletados foram imersos em um béquer contendo álcool a 70% por 2 minutos para desinfestação superficial. Posteriormente, os fragmentos foram transferidos para um segundo béquer com hipoclorito de sódio a 0,5% por mais 2 minutos.

Após a desinfestação, os fragmentos foram lavados três vezes com água destilada esterilizada. Após a lavagem, os fragmentos foram transferidos para um papel de filtro, onde foram secos e, em seguida, levados para a câmara de fluxo laminar. Com o auxílio de uma pinça, pelo menos três fragmentos foram dispostos em forma de triângulo em uma placa de Petri previamente preparada com meio de cultura BDA (batata dextrose ágar). As placas de Petri foram flambadas, fechadas com filme PVC e incubadas em uma estufa de germinação tipo BOD (Biochemical Oxygen Demand) com fotoperíodo de 12 horas, a 25 °C, por um período de cinco a sete dias.

Após o período de incubação, observou-se a formação de micélio de fungos a partir dos fragmentos. As colônias foram repicadas para uma nova placa de Petri com meio de cultura BDA, e incubadas a 25 °C, por um período de cinco a sete dias, onde obteve-se uma cultura pura do fungo. Após o segundo período de incubação, as colônias do fungo foram identificadas por microscopia de luz, com base em suas características morfológicas, como cor, forma e textura, tais como estruturas reprodutivas (esporos) e culturais como pigmentação e estrutura do micélio. Foi identificado um isolado de *Fusarium* sp. após a análise microscópica, confirmando sua presença nas amostras das plantas de pimentão.

Para validar a hipótese de que o isolado obtido era o agente causal da doença, realizou-se um teste de patogenicidade utilizando-se o método baseado no Postulado de Koch. Nesse processo, o isolado foi reinoculado em plantas de pimentão saudáveis, onde se reproduziram os mesmos sintomas de necrose radicular previamente observados. Após a reisolamento do fungo das plantas infectadas experimentalmente, foi confirmado sua identidade como *Fusarium* sp., validando assim sua condição de patógeno responsável pela doença. Esse procedimento permitiu estabelecer a relação causal entre o fungo e os sintomas observados nas raízes das plantas de pimentão.

O isolado de *Fusarium* sp. foi preservado utilizando o método de preservação em

água. O método consiste em armazenar discos (6 mm de diâmetro) de ágar com colônias em frascos de penicilina contendo água destilada esterilizada, a uma temperatura de 5 a 15°C, garantindo a viabilidade do fungo por longos períodos sem crescimento significativo. Este procedimento é amplamente utilizado para manter culturas fúngicas por períodos prolongados, permitindo estudos futuros sem a necessidade de subcultivo frequente (MENESES; ASSIS, 2004).

3.3 Preparo do inóculo

Para a obtenção do inóculo foi utilizado o isolado do fungo em cultura pura conforme descrito no item 3.2. O inóculo de *Fusarium* sp. foi preparado em duas ocasiões específicas: nos dias 6 e 15 de maio de 2024. A preparação em momentos distintos permitiu a repetição do experimento envolvendo o filtro lento de areia, com um intervalo de uma semana entre as execuções.

Utilizou-se um cortador de discos de ágar para cortar discos de 6 mm de diâmetro de micélio fúngico de cultura pura de *Fusarium* sp. obtida em meio de cultura BDA. Os discos foram transferidos para frascos Erlenmeyer contendo 166 mL de meio BD (batata dextrose). Foram utilizados cinco frascos Erlenmeyer e em cada um foram inseridos cinco discos. Logo após, os frascos foram submetidos a agitação constante em mesa agitadora a 100 RPM (Figura 4), durante um período de aproximadamente 7 dias, para promover a multiplicação dos esporos do fungo, visando atingir uma concentração final na ordem de 10^6 esporos mL^{-1} , seguindo as recomendações de Dhingra e Sinclair (1995) para o cultivo e manutenção de patógenos fúngicos.

Figura 4 – Frascos Erlenmeyer em mesa agitadora para preparo da suspensão de esporos



Fonte: Autor, 2024.

A concentração de esporos na suspensão foi determinada após o período de incubação, utilizando-se um microscópio de luz e uma câmara de Neubauer (Figura 5), de acordo com a técnica descrita por Meneses e Assis (2004). No dia 15 de maio de 2024, obteve-se um volume de 830 mL de suspensão com uma concentração de $1,25 \times 10^6$ esporos.mL⁻¹. No dia 22 de maio de 2024, obteve-se um volume de 830 mL de suspensão com uma concentração de $1,35 \times 10^6$ esporos.mL⁻¹. Após o período de incubação, as suspensões foram inoculadas em água de irrigação e inseridas no filtro lento de areia em suas respectivas datas.

Figura 5 – Microscópio óptico e câmara de Neubauer utilizados na determinação da concentração de esporos na suspensão



Fonte: Autor, 2024.

3.4 Inoculação da suspensão de esporos

As suspensões de esporos obtidas foram diluídas em 100 litros de água de irrigação em suas respectivas datas. Após as diluições, as concentrações finais de esporos na solução resultante foram de 1×10^4 esporos mL⁻¹ e 1×10^4 esporos.mL⁻¹ para os dias 15 e 22 de maio respectivamente. Esses valores foram calculados usando a eq. (1).

$$V_i \times C_i = V_f \times C_f \quad (1)$$

Onde V_i é o volume inicial da suspensão, C_i é a concentração inicial, V_f é o volume

final após a diluição e C_f é a concentração final obtida.

Após a diluição das suspensões de *Fusarium* sp. em 100 litros de água de irrigação, nos dois dias de experimentação, procedeu-se à inoculação no filtro lento de areia.

3.5 Delineamento experimental

Foi utilizado arranjo fatorial com medidas repetidas no tempo para avaliar o efeito dos dois fatores, o tipo de filtração e o tempo de filtração, e suas possíveis interações sobre a variável dependente, a concentração de *Fusarium* sp. na água de irrigação. Esse tipo de delineamento é especialmente útil quando se deseja entender não apenas o efeito isolado de cada fator, mas também como eles interagem e influenciam os resultados em conjunto.

O fator filtração foi dividido em três níveis: sem filtração (controle positivo), filtração lenta em areia e filtração lenta em areia com radiação UV. O fator tempo de filtração foi dividido em 5 níveis: 0, 1, 2, 3 e 4 horas. O controle positivo no tempo 0 hora foi a referência para os demais tipos de filtração e tempos de filtração. A escolha destes intervalos de tempo foi baseada em estudos anteriores que indicaram a influência significativa do tempo de exposição tanto na filtração como na radiação UV sobre a eficiência de remoção de contaminantes (BITTON, 2010).

3.6 Amostragem

A solução inoculada passava pelo leito filtrante de areia por gravidade e era drenada pelo leito suporte e pelo tubo de drenagem, em seguida passava pela câmara de desinfestação UV e era recolhida em um reservatório. No processo, a solução foi submetida aos três níveis do fator tipo de filtração: sem filtração ou controle positivo (CP), filtração lenta em areia (FLA) e filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV).

A coleta das amostras foi realizada conforme os cinco níveis do fator tempo de filtração, ou seja, após 0, 1, 2, 3 e 4 horas após a inoculação da solução no filtro, permitindo a avaliação da eficiência de cada tipo de filtração ao longo do tempo.

Para a coleta da amostra sem filtração, referente ao controle positivo (CP), foi utilizada uma pipeta automática para coletar 10 mL da solução inoculada diretamente do afluente do filtro no tempo de 0 hora, em seguida a amostra foi transferida para um frasco de vidro esterilizado.

As demais amostras foram coletadas de maneira sequencial após a inoculação da

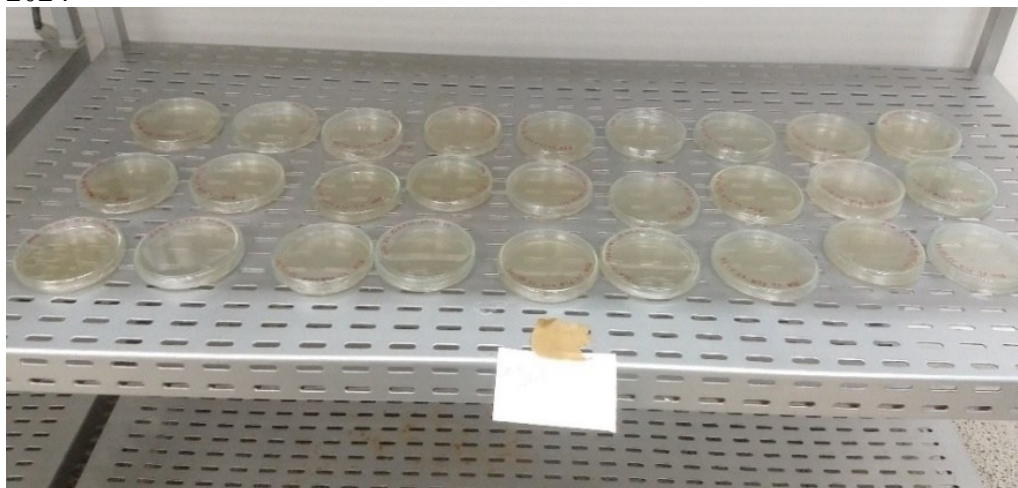
solução no filtro. Primeiramente, foi realizada a coleta da solução após a filtração lenta em areia (FLA). Durante a coleta, o tubo de PVC por onde a solução fluía foi desconectado antes da câmara de radiação UV, permitindo que apenas a solução filtrada pela areia fosse coletada diretamente em frascos de vidro esterilizados de 10 mL. Em seguida, o tubo era reconectado, para realizar a coleta da solução após a passagem pela câmara de desinfestação UV, ou seja, após filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV), também em frascos de vidro esterilizados de 10 mL. Esse procedimento foi repetido nos intervalos de 1, 2, 3 e 4 horas, intervalos referentes aos 4 níveis do tempo de filtração.

Cada conjunto de amostras foi separado e identificado de acordo com a data correspondente ao dia da inoculação.

3.7 Plaqueamento das amostras

O plaqueamento foi realizado em triplicata utilizando-se a técnica Spread Plate ou plaqueamento por semeadura em superfície conforme descrito por Vieira e Fernandes (2012). Utilizou-se uma pipeta automática para transferir uma alíquota de 0,1 mL (100 μ L) das amostras coletadas para placas de Petri contendo meio BDA, em seguida o conteúdo foi espalhado uniformemente com uma alça de Drigalski, proporcionando completa absorção das amostras no ágar. As placas inoculadas foram embaladas com filme PVC para evitar contaminações, e transferidas para sala de incubação onde foram incubadas com 12 horas de fotoperíodo a temperatura de 25 a 28 °C por cinco dias (Figura 6). Após o plaqueamento, as amostras foram conservadas em geladeira a uma temperatura de 5 a 15°C.

Figura 6 – Placas de Petri inoculadas na sala de incubação no dia 15 de maio de 2024



Fonte: Autor, 2024.

3.8 Contagem das colônias

Foi realizada a contagem de microrganismos viáveis em placa, onde, cada colônia crescida numa placa corresponde a uma unidade formadora de colônia (UFC) proveniente do material (VIEIRA; FERNANDES, 2012).

As contagens de colônias foram realizadas 24 horas após a incubação e continuou-se diariamente até o quinto dia, para determinar o número de Unidades Formadoras de Colônias por mililitro (UFC.mL^{-1}) de *Fusarium* sp. Esse procedimento foi realizado diariamente utilizando-se um contador de colônias e um marcador (Figura 7).

Observou-se que as colônias de fungo se tornaram visíveis a partir do quinto dia de incubação, o que já era esperado, enquanto as de bactérias, leveduras e algas, apresentaram crescimento visível já nas primeiras 24 horas após a inoculação. Depois de cinco dias de incubação observou-se crescimento coalescente de colônias de fungos nas placas das amostras do controle positivo (CP), tornando difícil distinguir colônias separadas. Portanto, foi necessário realizar diluições seriadas das amostras do controle positivo (CP), para obtenção de placas com quantidade de colônias passíveis de contagem.

Figura 7 – Contador de colônias utilizado



Fonte: Autor, 2024.

Esse método de diluição seriada foi descrito em detalhes por Vieira e Fernandes (2012) e é amplamente utilizado para quantificar microrganismos quando as concentrações iniciais são muito altas. As amostras do controle positivo (CP) dos dois dias foram diluídas em água destilada esterilizada na proporção 1:10, 1:100 e 1:1000. Logo após, as amostras diluídas foram novamente distribuídas em placas de Petri com meio BDA e incubadas, seguindo o mesmo procedimento descrito na seção 3.7. A contagem de colônias foi novamente realizada 24 horas após a incubação e continuou-se diariamente até o quinto dia. Para uma maior precisão da análise foram contadas as placas com número de colônias entre 30 e 300. As placas que apresentaram número de colônias nessa faixa foram as placas da diluição de proporção 1:10.

O número de colônias em UFC.mL⁻¹ para as placas dos tipos de filtração FLA e FLA+UV, que não passaram por diluição seriada, foi obtido por meio das contagens realizadas nas placas de Petri, através da eq. (2).

$$UFCml^{-1} = \frac{\text{Número de colônias contadas}}{\text{Volume plaqueado (ml)}} \quad (2)$$

O número de colônias em UFC.mL⁻¹ para as placas do controle positivo (CP), que passaram pela diluição seriada, foi obtido por meio das contagens realizadas nas placas de Petri, através da eq. (3).

$$UFCml^{-1} = \left(\frac{\text{Número de colônias contadas}}{\text{Volume plaqueado (ml)}} \right) \times \text{fator de diluição} \quad (3)$$

Onde o fator de diluição foi igual a dez, significando que a amostra foi diluída em uma proporção de 1:10.

Durante o procedimento de contagens de colônias, constatou-se que, em determinados casos, não houve crescimento de colônias nas placas inoculadas, notadamente para as placas das amostras não diluídas. Para fins estatísticos, essas placas foram consideradas como contendo 5 UFC.mL⁻¹, um valor conservador que está abaixo do limite de detecção padrão de 10 UFC.mL⁻¹ (VIEIRA; FERNANDES, 2012).

3.9 Identificação por microscopia

Após a contagem de colônias de fungos observadas nas placas, estas foram

identificadas por microscopia ótica, com base em suas características morfológicas, como cor, forma e textura, tais como estruturas reprodutivas (esporos) e culturais como pigmentação e estrutura do micélio. A identificação foi realizada somente para as colônias de *Fusarium* sp.

3.10 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Jamovi (Versão 2.3), que faz uso do ambiente de programação R (THE JAMOVI PROJECT, 2022; R CORE TEAM, 2021). Além da estatística descritiva, foram realizados testes para verificar a significância estatística das diferenças observadas entre os fatores tipo de filtração e tempo de filtração. Essas análises incluem o Teste de Shapiro-Wilk, o Teste de Kruskal-Wallis e o Teste de Dunn

3.11 Eficiência da Filtração

A eficiência da filtração da filtração lenta em areia (FLA), nos diferentes tempos de filtração analisados, foi realizada a partir da eq. (4).

$$Eficiência (\%) = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\bar{x}_1} \times 100 \quad (4)$$

Onde \bar{x}_1 é a média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do controle positivo e \bar{x}_2 é a média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) depois da filtração lenta em areia (FLA) nos diferentes tempos de filtração analisados.

A eficiência da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV), nos diferentes tempos de filtração analisados, foi realizada a partir da eq. (5).

$$Eficiência (\%) = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\bar{x}_1} \times 100 \quad (5)$$

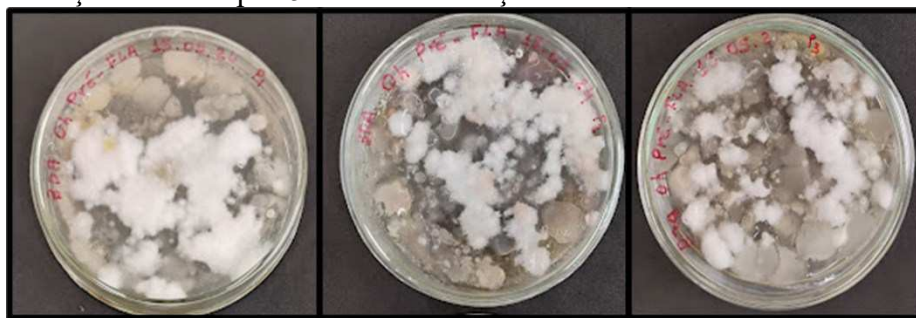
Onde \bar{x}_1 é a média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do controle positivo e \bar{x}_2 é a média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) depois da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) nos diferentes tempos de filtração analisados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultado do plaqueamento das amostras do dia 15 de maio

Observou-se que, nas placas do controle positivo (CP), nas quais a amostra não passou por diluição seriada, após cinco dias de incubação, as colônias apresentaram crescimento coalescente, impossibilitando a contagem de colônias de *Fusarium* sp. (Figura 8).

Figura 8 – Placas do controle positivo (CP) do dia 15 de maio sem diluição seriada após 5 dias de incubação



Fonte: Autor, 2024.

Após diluição seriada da amostra, foi possível mensurar a quantidade de colônias nas placas e calcular o número de UFC.mL⁻¹ (Figura 9).

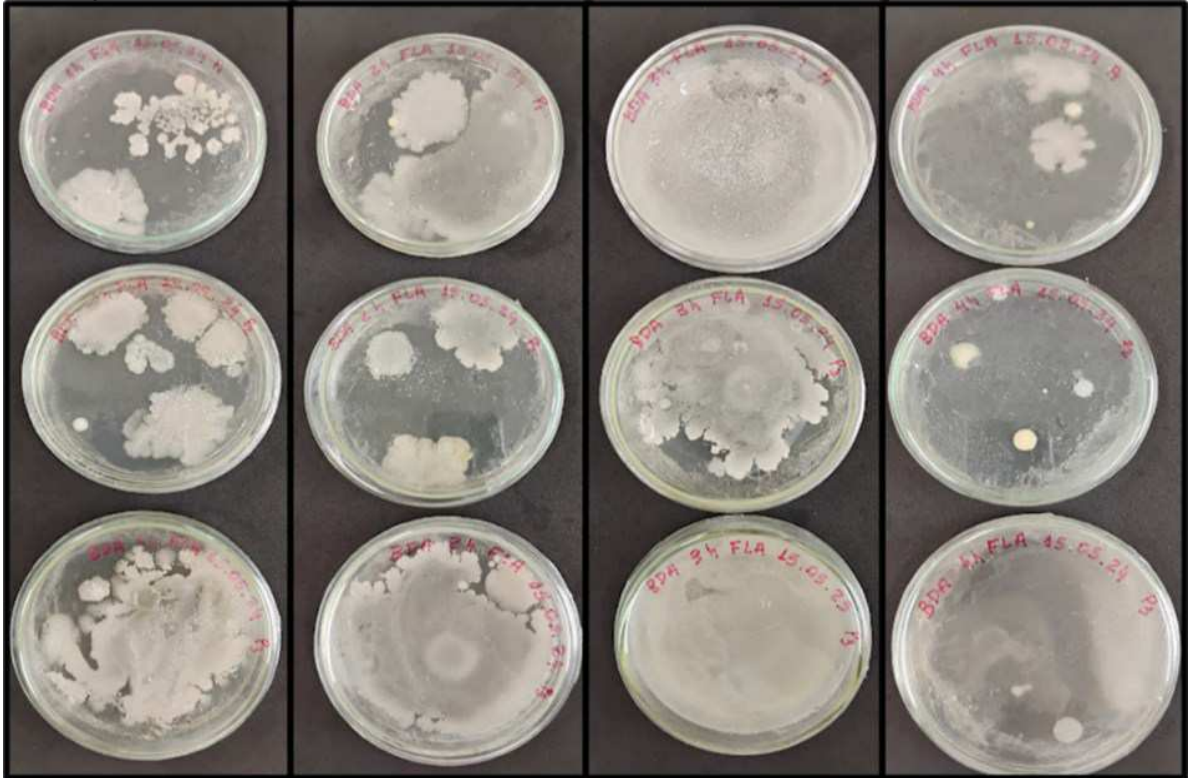
Figura 9 – Placas do controle positivo (CP) do dia 15 de maio após diluição seriada e após 5 dias de incubação



Fonte: Autor, 2024.

Após o período de cinco dias de incubação, não houve crescimento de colônias de *Fusarium* sp. nas placas da filtração lenta em areia (FLA) nos diferentes tempos de amostragem (Figura 10). Portanto, o valor de 5 UFC.mL⁻¹ para *Fusarium* sp. foi admitido para todas as placas.

Figura 10 – Placas da filtração lenta em areia (FLA) do dia 15 de maio após 5 dias de incubação

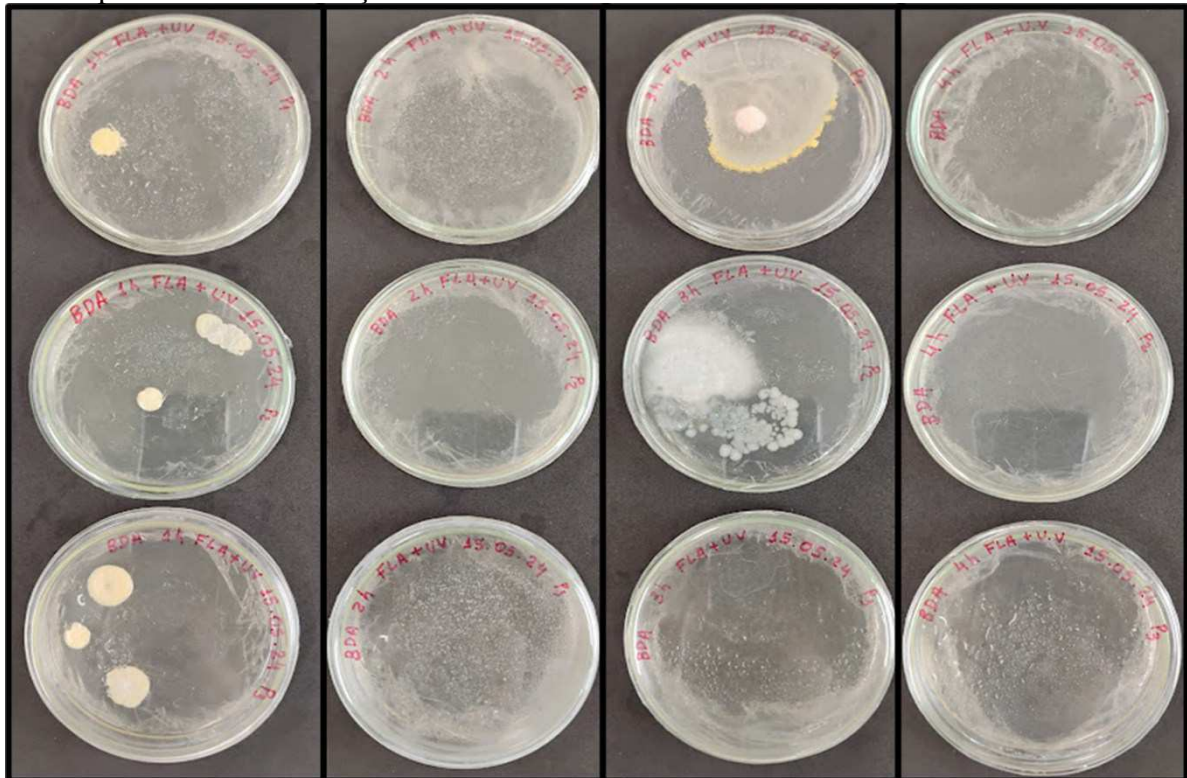


Legenda: Placas da filtração lenta em areia (FLA) após 5 dias de incubação. Na primeira coluna, réplicas referentes ao tempo de 1 hora; na segunda coluna, réplicas referentes ao tempo de 2 horas; na terceira coluna, réplicas referentes ao tempo de 3 horas; e, na quarta coluna, réplicas referentes ao tempo de 4 horas.

Fonte: Autor, 2024.

Após o período de cinco dias de incubação das placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV), observou-se o crescimento de uma colônia de *Fusarium* sp. na placa 1 do tempo de 3 horas. Além disso, houve o crescimento de uma colônia de *Curvularia* sp. na placa 2 do tempo de 3 horas (Figura 11). Não houve crescimento de colônias de *Fusarium* sp. nas demais placas dessa filtração nos diferentes tempos de amostragem, admitindo-se assim o valor de 5 UFC.mL⁻¹ para as demais placas.

Figura 11 – Placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) do dia 15 de maio após 5 dias de incubação



Legenda: Placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) após 5 dias de incubação. Na primeira coluna, réplicas referentes ao tempo de 1 hora; na segunda coluna, réplicas referentes ao tempo de 2 horas; na terceira coluna, réplicas referentes ao tempo de 3 horas; e, na quarta coluna, réplicas referentes ao tempo de 4 horas.

Fonte: Autor, 2024.

O resultado da contagem das colônias em placas após 5 dias de incubação foi convertido para UFC.mL^{-1} (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) após 5 dias de incubação, em diferentes tipos de filtração (CP, FLA e FLA+UV) ao longo do tempo (0, 1, 2, 3 e 4 horas) para o dia 15 de maio

Tipos de Filtração	Tempo (h)	Repetição	<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)
CP	0	1	2000
		2	700
		3	1100
FLA	1	1	5
		2	5
		3	5
FLA	2	1	5
		2	5
		3	5
FLA	3	1	5
		2	5
		3	5
FLA	4	1	5
		2	5
		3	5
FLA+UV	1	1	5
		2	5
		3	5
FLA+UV	2	1	5
		2	5
		3	5
FLA+UV	3	1	10
		2	5
		3	5
FLA+UV	4	1	5
		2	5
		3	5

Fonte: Autor, 2024

4.2 Resultado do plaqueamento das amostras do dia 22 de maio

Novamente as placas do controle positivo (CP), sem diluição seriada, após cinco dias de incubação, apresentaram crescimento coalescente de colônias, impossibilitando a contagem de colônias de *Fusarium* sp. (Figura 12).

Figura 12 – Placas do controle positivo (CP) do dia 22 de maio sem diluição seriada após 5 dias de incubação



Fonte: Autor, 2024.

Somente após diluição da amostra, foi possível mensurar a quantidade de colônias e calcular o número de UFC.mL⁻¹ (Figura 13).

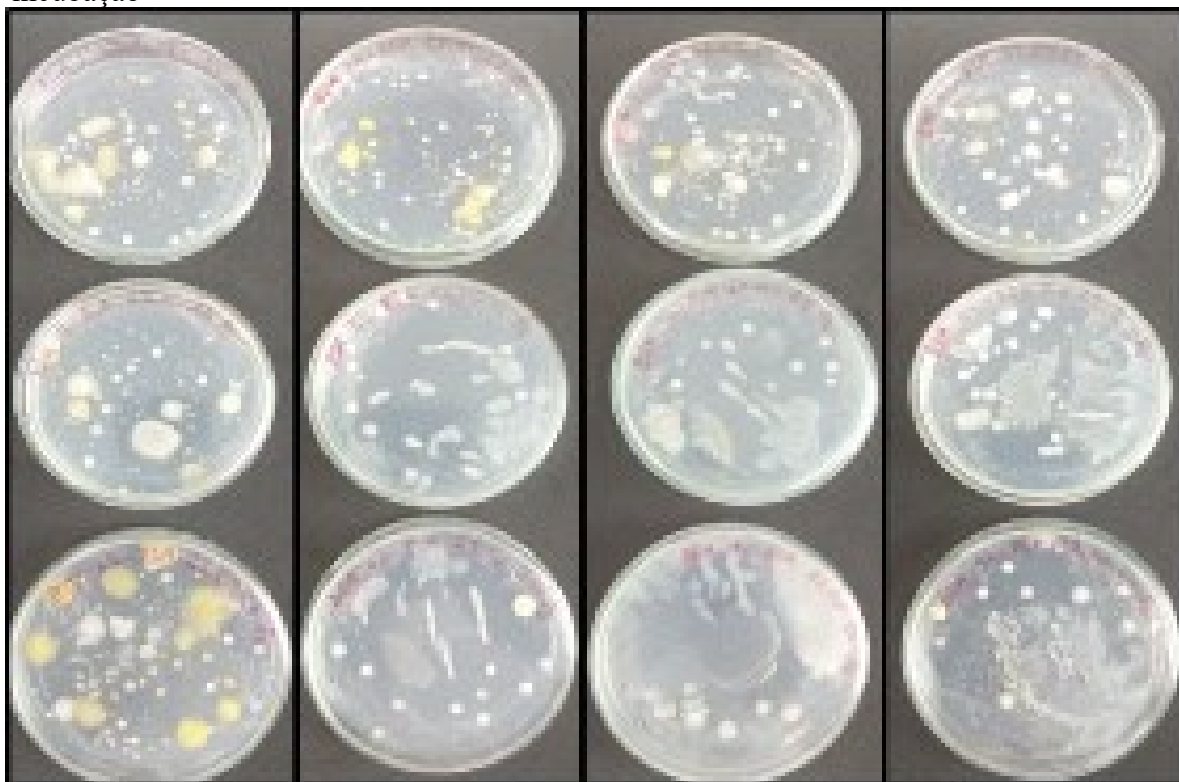
Figura 13 – Placas do controle positivo (CP) do dia 22 de maio após diluição seriada e após 5 dias de incubação



Fonte: Autor, 2024.

Após o período de cinco dias de incubação, não houve crescimento de colônias de *Fusarium* sp. nas placas da filtração lenta em areia (FLA) nos diferentes tempos de amostragem (Figura 14). Portanto, o valor de 5 UFC.mL⁻¹ para *Fusarium* sp. foi admitido para todas as placas.

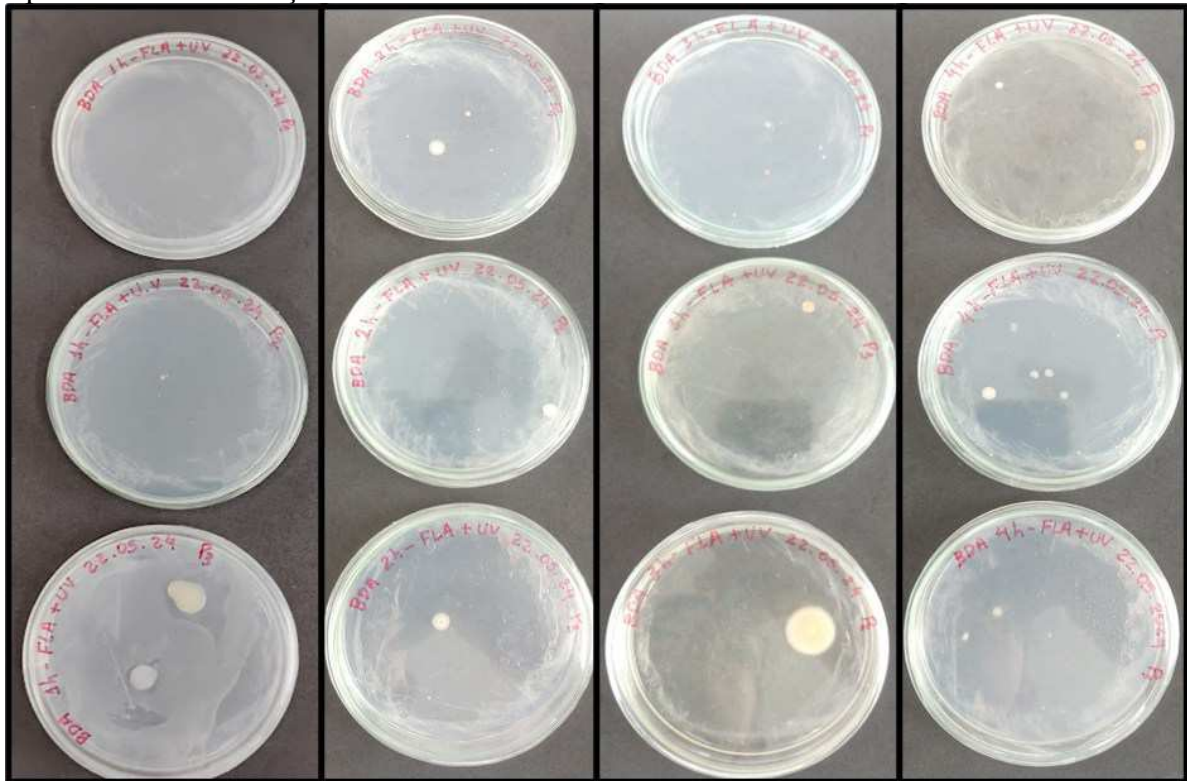
Figura 14 – Placas da filtração lenta em areia (FLA) do dia 22 de maio após 5 dias de incubação



Legenda: Placas da filtração lenta em areia (FLA) após 5 dias de incubação. Na primeira coluna, réplicas referentes ao tempo de 1 hora; na segunda coluna, réplicas referentes ao tempo de 2 horas; na terceira coluna, réplicas referentes ao tempo de 3 horas; e na quarta coluna, réplicas referentes ao tempo de 4 horas.
Fonte: Autor, 2024.

Após o período de cinco dias de incubação das placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV), não houve crescimento de colônias de *Fusarium* sp. nos diferentes tempos de amostragem (Figura 15), admitindo-se o valor de 5 UFC.mL⁻¹ para *Fusarium* sp. para todas as placas.

Figura 15 – Placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) do dia 22 de maio após 5 dias de incubação



Legenda: Placas da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) após 5 dias de incubação. Na primeira coluna, réplicas referentes ao tempo de 1 hora; na segunda coluna, réplicas referentes ao tempo de 2 horas; na terceira coluna, réplicas referentes ao tempo de 3 horas; e na quarta coluna, réplicas referentes ao tempo de 4 horas.

Fonte: Autor, 2024.

O resultado da contagem das colônias em placas do dia 22 de maio foi igualmente convertido para UFC.mL⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹), após 5 dias de incubação, em diferentes tipos de filtração (CP, FLA e FLA+UV) ao longo do tempo (0, 1, 2, 3 e 4 horas) para o dia 22 de maio

Tipos de filtração	Tempo (h)	Repetição	<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)
CP	0	1	2600
		2	2400
		3	2000
FLA	1	1	5
		2	5
		3	5
FLA	2	1	5
		2	5
		3	5
FLA	3	1	5
		2	5
		3	5
FLA	4	1	5
		2	5
		3	5
FLA+UV	1	1	5
		2	5
		3	5
FLA+UV	2	1	5
		2	5
		3	5
FLA+UV	3	1	5
		2	5
		3	5
FLA+UV	4	1	5
		2	5
		3	5

Fonte: Autor, 2024

4.3 Análise estatística dos resultados do dia 15 de maio

4.3.1 Estatística descritiva para o dia 15 de maio

A estatística descritiva dos resultados do dia 15 de maio (Tabela 3), indicou que o controle positivo (CP) apresentou média de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) superior aos demais tipos de filtração, o que era esperado, devido à elevada concentração de esporos na amostra do sobrenadante. O desvio-padrão indicou variabilidade alta entre os valores das réplicas e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk não detectou desvios significativos da normalidade.

A filtração lenta em areia (FLA) e a filtração lenta em areia com radiação UV

(FLA+UV) foram eficientes na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) em comparação ao controle positivo CP, uma vez que a média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) foram abaixo do limite mínimo detectável de 10 UFC.mL⁻¹ em todos os tempos de filtração. O desvio-padrão não indicou variabilidade entre as réplicas, devido a isso o teste de normalidade de Shapiro-Wilk não foi aplicável, exceto para a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) no tempo de 3 horas, onde observou-se aumento na média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) e o desvio-padrão indicou aumento da variabilidade entre os valores das réplicas, conforme significância detectada pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Esse aumento pode ser atribuído a possíveis contaminações laboratoriais.

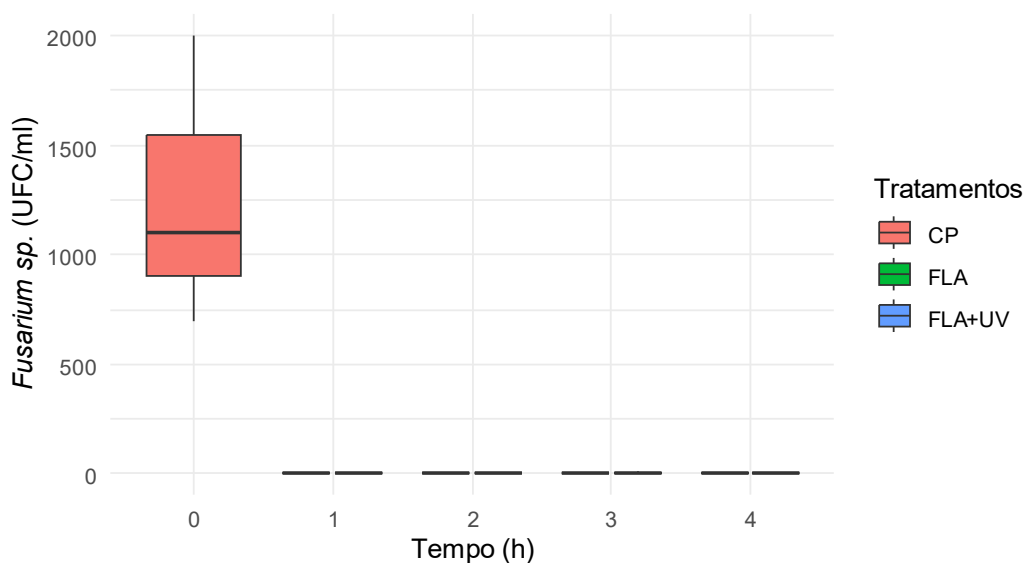
Tabela 3 – Estatística descritiva para *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) para o dia 15 de maio

Tipos de Filtração	Tempo (h)	N	<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)							Shapiro-Wilk	
			\bar{x}	Med	s	Min	Max	Q1	Q3	W	p
CP	0	3	1266,67	1100	665,83	700	2000	900	1550	0,953	0,583 ^{ns}
FLA	1	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA	2	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA	3	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA	4	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA+UV	1	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA+UV	2	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA+UV	3	3	6,67	5	2,89	5	10	5	7,5	0,750	< 0,01*
FLA+UV	4	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA

Legenda: N: número de observações; \bar{x} : média; Med: mediana; s: desvio-padrão; Min: mínimo; Max: máximo; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; W: estatística do teste de Shapiro-Wilk; p: valor de p do teste de Shapiro-Wilk; ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$); **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$); NA: não aplicável.

Fonte: Autor, 2024.

A redução dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) para abaixo de 10 UFC.mL⁻¹ ocorreu logo na primeira hora após a filtração lenta em areia (FLA) e filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) e se manteve ao longo do tempo de filtração (Figura 16).

Figura 16 – Valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) obtidos no dia 15 de maio

Fonte: Autor, 2024.

4.3.2 Teste de Kruskal-Wallis para o dia 15 de maio

O teste de Kruskal-Wallis para os valores médios de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) indicou que houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tipos de filtração aplicados. O valor p ($< 0,01$) indicou que pelo menos um dos tipos de filtração difere significativamente dos outros em termos de eficiência na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹). O teste de Kruskal-Wallis também indicou que houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tempos de filtração aplicados. O valor p ($< 0,01$) indicou que a eficiência da filtração varia ao longo do tempo (Tabela 4).

Tabela 4 – Teste de Kruskal-Wallis para *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do dia 15 de maio

Variável Dependente	Variável de Agrupamento	χ^2	gl	p
<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)	Tipo de filtração	20,43	2	$< 0,01^{**}$
	Tempo de filtração	20,93	4	$< 0,01^{**}$

Legenda: ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis; **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pelo teste de Kruskal-Wallis.

Fonte: Autor, 2024.

4.3.3 Teste de comparação múltiplas de Dunn para o dia 15 de maio

O teste de Dunn é uma análise de comparações múltiplas que permitiu identificar

quais níveis dos fatores foram significativamente diferentes.

Os resultados do teste de Dunn para o fator tipos de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) indicaram que a comparação entre o controle positivo (CP) e a filtração lenta em areia (FLA) mostrou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,01$), a comparação entre o controle positivo (CP) e a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) mostrou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,01$) e a comparação entre a filtração lenta em areia (FLA) e a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) não apresentou diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) (Tabela 5)

Assim como a filtração lenta em areia (FLA), a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) é igualmente eficiente na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹), ou seja, a adição da radiação UV não mostrou melhoria adicional significativa. Estatisticamente, a filtração lenta em areia (FLA) foi tão eficiente quanto a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹).

Tabela 5 – Resultados do teste de Dunn para o fator tipos de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do dia 15 de maio

Variável Dependente	Comparações da Variável de Agrupamento	Z	p
<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)	CP - FLA	4,42	< 0,01**
	CP - FLA+UV	4,10	< 0,01**
	FLA - FLA+UV	-0,50	0,618 ^{ns}

Legenda: ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$) pelo teste de Dunn; **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pelo teste de Dunn; Z: valor do teste estatístico de Dunn; p: probabilidade associada ao valor de Z, ajustada para comparações múltiplas.

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados do teste de Dunn para o fator tempo de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) indicaram que as comparações entre tempo de 0 hora, tempo referente ao controle positivo (CP), e os outros tempos (1, 2, 3 e 4 horas) foram todas altamente significativas ($p < 0,01$), ou seja, houve diferenças significativas entre o tempo de 0 hora e os demais tempos analisados. As comparações entre tempos 1, 2, 3 e 4 horas não mostraram diferenças significativas ($p > 0,05$), ou seja, não houve diferenças significativas entre os tempos analisados (Tabela 6).

Esse resultado indicou que houve desinfestação significativa de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) logo após o início da primeira hora de filtração e que essa redução se manteve ao longo dos tempos subsequentes.

Tabela 6 – Resultados do teste de Dunn para o fator tempo de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do dia 15 de maio

Variável Dependente	Comparações da Variável de Agrupamento	Z	p
<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)	0 – 1	4,03	< 0,01**
	0 – 2	4,03	< 0,01**
	0 – 3	3,46	< 0,01**
	0 – 4	4,03	< 0,01**
	1 – 2	0,00	1 ^{ns}
	1 – 3	-0,71	1 ^{ns}
	1 – 4	0,00	1 ^{ns}
	2 – 3	-0,71	1 ^{ns}
	2 – 4	0,00	1 ^{ns}
	3 – 4	0,71	1 ^{ns}

Legenda: ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$) pelo teste de Dunn; **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pelo teste de Dunn; Z: valor do teste estatístico de Dunn; p: probabilidade associada ao valor de Z, ajustada para comparações múltiplas.

Fonte: Autor, 2024.

4.4 Análise estatística dos resultados do dia 22 de maio

4.4.1 Estatística descritiva para o dia 22 de maio

A estatística descritiva dos resultados do dia 22 de maio (Tabela 7), indicou que o controle positivo (CP) apresentou média de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) superior aos demais. O desvio-padrão indicou variabilidade entre os valores das réplicas, porém o teste de normalidade de Shapiro-Wilk não detectou desvios significativos da normalidade. A filtração lenta em areia (FLA) e a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) foram eficientes na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) em comparação ao controle positivo CP, uma vez que a média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) foram abaixo do limite mínimo detectável de 10 UFC.mL⁻¹ em todos os tempos de filtração. O desvio-padrão não indicou variabilidade entre as réplicas, devido a isso o teste de normalidade de Shapiro-Wilk não foi aplicável.

Diferentemente da estatística descritiva dos resultados do dia 15 de maio, não foi observado aumento na média dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) para a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) em nenhum dos tempos de filtração. O que validou a hipótese desse ocorrido tratar-se de um evento isolado, possivelmente associado a

contaminações durante o processo de plaqueamento ou manipulação das amostras. A repetição do experimento no dia 22 de maio validou os resultados dos métodos de filtração avaliados na desinfestação de *Fusarium sp.*

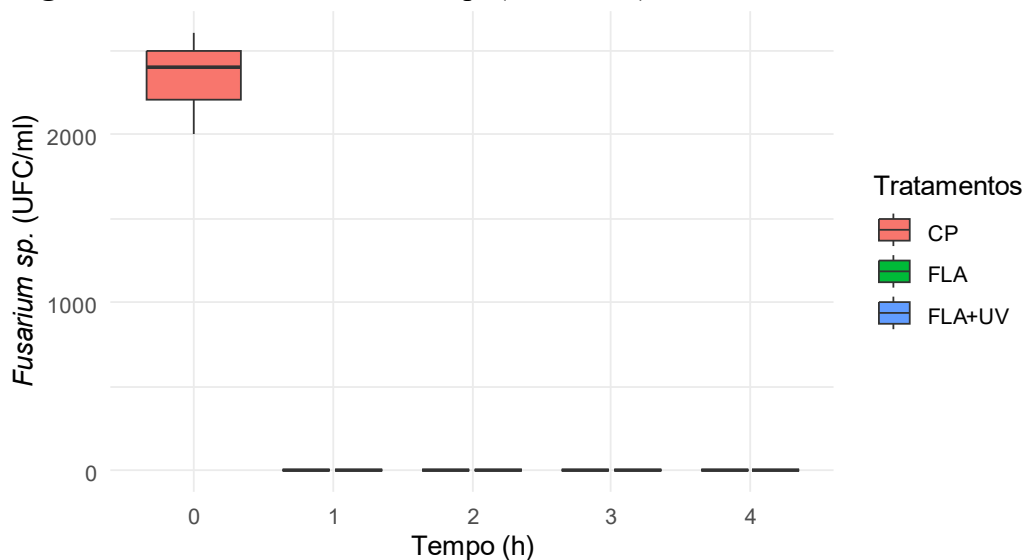
Tabela 7 – Estatística descritiva para *Fusarium sp.* (UFC.mL⁻¹) para o dia 22 de maio

Tipos de Filtração	Tempo (h)	N	<i>Fusarium sp.</i> (UFC.mL ⁻¹)							Shapiro-Wilk	
			\bar{x}	Med	<i>s</i>	Min	Max	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
CP	0	3	2333,33	2400	305,51	2000	2600	2200	2500	0,964	0,637 ^{ns}
FLA	1	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA	2	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA	3	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA	4	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA+UV	1	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA+UV	2	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA+UV	3	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA
FLA+UV	4	3	5	5	0	5	5	5	5	NA	NA

Legenda: N: número de observações; \bar{x} : média; Med: mediana; *s*: desvio-padrão; Min: mínimo; Max: máximo; *Q1*: primeiro quartil; *Q3*: terceiro quartil; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; *p*: valor de *p* do teste de Shapiro-Wilk; ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$); **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$); NA: não aplicável.

Fonte: Autor, 2024.

A redução dos valores de *Fusarium sp.* (UFC.mL⁻¹) para abaixo de 10 UFC.mL⁻¹ ocorreu logo na primeira hora após a filtração lenta em areia (FLA) e filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) e se manteve ao longo do tempo de filtração (Figura 17).

Figura 17 – Valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) obtidos do dia 22 de maio

Fonte: Autor, 2024.

4.4.2 Teste de Kruskal-Wallis para o dia 22 de maio

O teste de Kruskal-Wallis para os valores médios de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) indicou que houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tipos de filtração aplicados. O valor p ($< 0,01$) indicou que pelo menos um dos tipos de filtração difere significativamente dos outros em termos de eficiência na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹). O teste de Kruskal-Wallis também indicou que houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes tempos de filtração aplicados. O valor p ($< 0,01$) indicou que a eficiência da filtração varia ao longo do tempo (Tabela 8).

Tabela 8 – Teste de Kruskal-Wallis para *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do dia 22 de maio

Variável Dependente	Variável de Agrupamento	χ^2	gl	p
<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)	Tipo de filtração	25,89	2	$< 0,01^{**}$
	Tempo de filtração	25,89	4	$< 0,01^{**}$

Legenda: ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis; **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pelo teste de Kruskal-Wallis.

Fonte: Autor, 2024.

4.4.3 Teste de comparação múltiplas de Dunn para o dia 22 de maio

O teste de Dunn é uma análise de comparações múltiplas que permitiu identificar

quais níveis dos fatores foram significativamente diferentes.

Os resultados do teste de Dunn para o fator tipo de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) indicaram que a comparação entre o controle positivo (CP) e a filtração lenta em areia (FLA) mostrou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,01$), a comparação entre o controle positivo (CP) e a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) mostrou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,01$) e a comparação entre a filtração lenta em areia (FLA) e a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) não apresentou diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) (Tabela 9).

Assim como a filtração lenta em areia (FLA), a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) é igualmente eficiente na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹), ou seja, a adição da radiação UV não mostrou melhoria adicional significativa. Estatisticamente, a filtração lenta em areia (FLA) foi tão eficiente quanto a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) na redução de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹).

Tabela 9 – Resultados do teste de Dunn para o fator tipo de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do dia 22 de maio

Variável Dependente	Comparações da Variável de Agrupamento	Z	p
<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)	CP - FLA	4,83	< 0,01**
	CP - FLA+UV	4,83	< 0,01**
	FLA - FLA+UV	0	1 ^{ns}

Legenda: ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$) pelo teste de Dunn; **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pelo teste de Dunn; Z: valor do teste estatístico de Dunn; p: probabilidade associada ao valor de Z, ajustada para comparações múltiplas.

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados do teste de Dunn para o fator tempo de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) indicaram que as comparações entre tempo de 0 hora, tempo referente ao controle positivo (CP), e os outros tempos (1, 2, 3 e 4 horas) foram todas altamente significativas ($p < 0,01$), ou seja, houve diferenças significativas entre o tempo de 0 hora e os demais tempos analisados. As comparações entre tempos 1, 2, 3 e 4 horas não mostraram diferenças significativas ($p > 0,05$), ou seja, não houve diferenças significativas entre os tempos analisados (Tabela 10).

Esse resultado indicou que houve desinfestação significativa de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) logo após o início da primeira hora de filtração e que essa redução se manteve ao longo dos tempos subsequentes.

Tabela 10 – Resultados do teste de Dunn para o fator tempo de filtração obtidos da análise dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) do dia 22 de maio

Variável Dependente	Comparações da Variável de Agrupamento	Z	p
<i>Fusarium</i> sp. (UFC.mL ⁻¹)	0 – 1	4,41	< 0,01**
	0 – 2	4,41	< 0,01**
	0 – 3	4,41	< 0,01**
	0 – 4	4,41	< 0,01**
	1 – 2	0	1 ^{ns}
	1 – 3	0	1 ^{ns}
	1 – 4	0	1 ^{ns}
	2 – 3	0	1 ^{ns}
	2 – 4	0	1 ^{ns}
	3 – 4	0	1 ^{ns}

Legenda: ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ao nível de 5% ($0,01 < p \leq 0,05$) pelo teste de Dunn; **: altamente significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pelo teste de Dunn; Z: valor do teste estatístico de Dunn; p: probabilidade associada ao valor de Z, ajustada para comparações múltiplas.

Fonte: Autor, 2024.

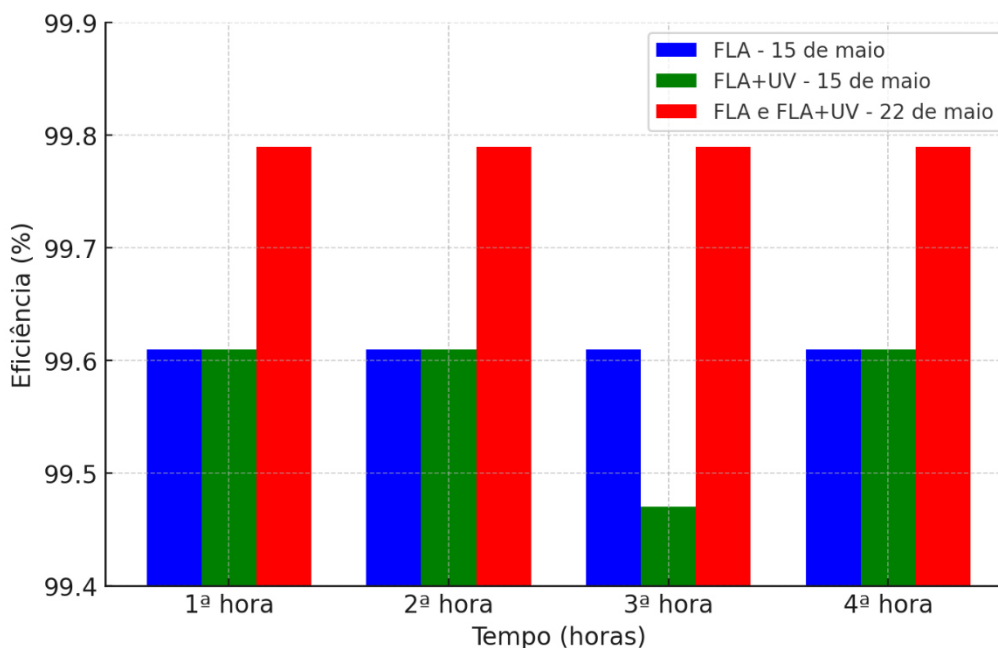
4.5 Eficiência da filtração

Na análise dos resultados sobre a eficiência da filtração lenta em areia (FLA) e da filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV), observou-se significância estatística na desinfestação de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) tanto no dia 15 quanto no dia 22 de maio.

No dia 15 de maio, a filtração lenta em areia (FLA) obteve 99,61% de eficiência na desinfestação de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) em todos os tempos analisados (1, 2, 3, e 4 horas). A filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV), manteve 99,61% de eficiência na desinfestação de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) nos tempos de 1, 2 e 4 horas. A baixíssima variação dos valores de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) durante a terceira hora resultou em uma eficiência de 99,47%, ou seja, uma redução de 0,14% na eficiência (Figura 18).

No dia 22 de maio, tanto a filtração lenta em areia (FLA) quanta a filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) apresentaram 99,79% de eficiência na desinfestação de *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) ao longo das quatro horas avaliadas (Figura 18).

Figura 18 – Eficiência da filtração lenta em areia (FLA) e filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) na desinfestação de *Fusarium* sp. ao longo do tempo dos dias 15 e 22 de maio



Fonte: Autor, 2024.

4.6 Discussão dos resultados

Os resultados demonstraram alta eficiência dos métodos de filtração avaliados para controle do *Fusarium* sp. Os dados obtidos indicam que a filtração lenta em areia foi eficiente na desinfestação de *Fusarium* sp. Contudo, a combinação com a radiação UV, é uma estratégia que pode ser eficiente para a desinfestação de uma gama maior de microrganismos em sistemas hidropônicos.

A eficiência da filtração lenta em areia na desinfestação de *Fusarium* sp. foi relatada em diversos estudos, que mencionam a capacidade desse método de remoção de microrganismos. Wohanka (1989), em um estudo com filtros lentos de areia não otimizados, relatou uma eficiência de filtração de apenas 70 a 80%, um valor aproximadamente 20% inferior às eficiências obtidas neste trabalho para a filtração lenta em areia (FLA) e filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV), destacando o impacto de melhorias no filtro. Estudos posteriores reportaram taxas de eficiência de até 99,9% utilizando areia e lã de rocha granulada como meios filtrantes (WOHANKA, 1995; WOHANKA; HELLE, 1996). Esses resultados se assemelham com os valores de eficiência da filtração observados no experimento realizado no dia 22 de maio, onde obteve-se eficiência de 99,79% em todos os tempos avaliados.

A taxa de filtração do filtro lento de areia foi ajustada para aproximadamente 100

$L.h^{-1}.m^{-2}$, o que pode ter contribuído para a alta eficiência observada, uma vez que taxas de filtração elevadas podem reduzir a eficiência dos filtros lentos de areia, variando entre 94 e 99% para taxas de filtração superior a $300 L. h^{-1}.m^{-2}$ (VAN OS et al., 2000; RUNIA et al., 1996).

Apesar dos altos valores de eficiência alcançados, é importante destacar que, na filtração lenta em areia com radiação UV (FLA+UV) houve crescimento de uma colônia de *Fusarium* sp. na terceira hora de filtração no experimento do dia 15 de maio, porém a repetição do experimento no dia 22 de maio validou a hipótese desse ocorrido tratar-se de um evento isolado. Esse evento pode ser explicado por contaminações laboratoriais ou flutuações na eficiência do sistema, conforme observado por Ehret et al. (1999), que relataram que a eficiência da filtração pode variar entre 93 e 97% dependendo das condições da condução do experimento.

De maneira geral, os resultados obtidos confirmam que a filtração lenta em areia, tanto isolada quanto combinada com radiação UV, é altamente eficaz na remoção de *Fusarium* sp., alcançando eficiência superior a 99% em todas as condições avaliadas. Esses resultados reforçam a relevância da filtração lenta em sistemas de irrigação, bem como em sistemas hidropônicos de circulação fechada, sendo uma estratégia viável para o manejo de patógenos fúngicos. No entanto, é importante ressaltar que a manutenção e limpeza regular do sistema de filtração é essencial para garantir resultados consistentes ao longo do tempo, uma vez que, em experimento realizado por Runia et al. (1996) foram detectadas altas concentrações de patógenos no efluente após períodos prolongados, como 57 ou 116 dias.

5 CONCLUSÃO

A filtração lenta em areia, isolada ou combinada com a radiação UV, é uma tecnologia eficiente na desinfestação do *Fusarium* sp. na solução nutritiva em sistemas hidropônicos, alcançando eficiência de mais de 99%.

A combinação da filtração lenta em areia com a radiação UV não aumentou a eficiência de filtração na desinfestação do *Fusarium* sp. (UFC.mL⁻¹) mas pode ser utilizada para a redução de uma gama mais ampla de microrganismos na solução nutritiva.

REFERÊNCIAS

- BACHELLI, R. **Il diavolo al Pontelungo: romanzo storico**. 2. ed. Milano: Ceschina, 1927. 2 v.
- BEZERRA NETO, E. (Org.). **Hidroponia**. 2. ed. Recife: EDUFRPE, 2016. p. 15.
- BITTON, Gabriel. **Wastewater Microbiology**. 4th ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2010. p. 197-202. ISBN 0-471-65071-4.
- BRAND, T. **Beurteilung der Bakterienflora von Langsamfiltern als biologische Filtrationskomponente in geschlossenen Bewässerungssystemen des Gartenbaus**. *Geisenheimer Ber.*, n. 41, p. 112, 2000.
- BURGESS, L. W.; SUMMERELL, B. A.; BACKHOUSE, D. Biodiversity and population studies in *Fusarium*. In: LOGRIECO, A.; SEIFERT, K. A.; LESLIE, J. F. A. (Ed.). *Biodiversity of toxigenic Fusarium species*. Sydowia. Horn, v. 30, p. 1-11, 1997.
- CAROLLO, E. M.; SANTOS FILHO, H. P. **Manual básico de técnicas fitopatológicas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016. p. 79-85.
- DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Basic Plant Pathology Methods**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1995.
- EHRET, D. L. et al. **Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture**. *Agronomie, EDP Sciences*, v. 21, n. 4, p. 323-332, 2001. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886118>. Acesso em: 15 abr. 2024.
- ELLIS, K. V.; PURVIS, C. **Slow sand filter design**. Loughborough: Loughborough University of Technology, 1994. 15 p.
- ELLIS, K. V. Slow sand filtration. In: **Critical Reviews in Environmental Control**. Boca Raton: Chemical Rubber Company, v. 15, p. 315-354, 1985.
- HUISMAN, L.; WOOD, W. E. **Slow sand filtration**. Genebra: World Health Organization, 1974.
- INDEX FUNGORUM**. Disponível em: <http://www.indexfungorum.org>. Acesso em: 15 abr. 2024.
- LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. Morphological Characters. In: LESLIE, John F.; SUMMERELL, Brett A. **The *Fusarium* laboratory manual**. Ames: Blackwell Publishing, 2006. cap. 12, p. 64-113.
- MARTINS, R. J. E. **A radiação ultravioleta na desinfestação de águas residuais domésticas**. Iguatu, CE: Quipá Editora, 2021. p. 5-39. 50 p. ISBN 978-65-89973-54-6.
- MENEZES, M.; ASSIS, S. M. P. **Guia prático para fungos fitopatogênicos**. 2. ed. Recife: Imprensa Universitária, 2004. p. 68-80.

MICHEREFF, S. J. et al. Importância dos patógenos e das doenças radiculares em solos tropicais. In: MICHEREFF, S. J. et al. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 07-16. ISBN 85-87459-09-0.

PARDOSI, A. et al. Prefácio. In: PARDOSI, A. et al. **Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture**. Pisa: Università di Pisa, 2011. p. 4.

PEREIRA, R. B. et al. **Manejo de doenças fúngicas no sistema de produção integrada do pimentão (PIP)**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2016. 7 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145909/1/CT-147.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2024.

POSTMA, J.; WILLEMSSEN-DE KLEIN, M. J. E. I. M.; VAN ELSAS, D. J. **Effect of the indigenous microflora in the development of root and crown rot caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rockwool**. *Phytopathology*, v. 90, p. 125-133, 2000.

R Core Team. R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Disponível em: <https://cran.r-project.org>. Acesso em: 2024.

RANKIN, L.; PAULITZ, T. C. **Evaluation of rhizosphere bacteria for biological control of *Pythium* root rot of greenhouse cucumbers in hydroponic culture**. *Plant Disease*, v. 78, p. 447-451, 1994.

RUNIA, W. Th. **Lavafiltraat geschikt tegen *Phytophthora* en *Pythium***. *Vakblad voor de Bloemisterij*, v. 51, p. 52–53, 1996.

RUNIA, W. Th.; MICHIELSEN, J. M. G. P.; VAN KUIK, A. J.; VAN OS, E. A. Elimination of root-infecting pathogens in recirculation water by slow sand filtration. In: **9th International Congress on Soilless Culture**, St. Helier, Jersey, 1996. Proceedings [...]. St. Helier: [s.n.], 1996. p. 395–407.

The jamovi project. jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: 2024.

VAN OS, E. A. et al. Slow sand filtration: a potential method for the elimination of pathogens and nematodes in recirculating nutrient solutions from glasshouse-grown crops. In: PAPAPOPOULOS, A. P. (Ed.). **Proceedings of the International Symposium on Growing Media and Hydroponics**. Wageningen: ISHS, 1999. p. 519-526. (*Acta Horticulturae*, 481).

VAN OS, E. A.; BRUINS, M.; WOHANKA, W.; SEIDEL, R. **Slow filtration: a technique to minimise the risks of spreading root-infecting pathogens in closed hydroponic systems**. *Acta Horticulturae*, v. 559, p. 495–502, 2001.

WOHANKA, W. **Disinfection of recirculating nutrient solution by slow sand filtration**. *Acta Horticulturae*, v. 382, p. 246–255, 1995.

WOHANKA, W. Geschlossene Kulturverfahren im Zierpflanzenbau aus der Sicht des

Pflanzenschutzes. In: **Düngen im Zierpflanzenbau**, TASPO-praxis, n. 16, p. 80–85, 1989.

WOHANKA, W.; HELLE, M. Suitability of various filter media for slow filtration. In: **9th International Congress on Soilless Culture**, St. Helier, Jersey, 1996. Proceedings [...]. St. Helier: [s.n.], 1996. p. 551–557.