

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**MANIPUEIRA TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E SEU USO EM
CULTIVO DE COENTRO HIDROPÔNICO**

Marcos Roberto Santos Correia

CRUZ DAS ALMAS – BA

2024

**MANIPUEIRA TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E SEU USO EM
CULTIVO DE COENTRO HIDROPÔNICO**

MARCOS ROBERTO SANTOS CORREIA

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2024

Dissertação apresentada ao colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, (Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

Orientador: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

Coorientador: Prof. Dr. Petterson Costa Conceição Silva

CRUZ DAS ALMAS – BA

2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**MANIPUEIRA TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E SEU USO EM
CULTIVO DE COENTRO HIDROPÔNICO**

Comissão examinadora de defesa de dissertação

Marcos Roberto Santos Correia

Aprovada em: 31 de julho de 2024

Documento assinado digitalmente
 **PETTERSON COSTA CONCEIÇÃO SILVA**
Data: 15/08/2024 11:03:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Petterson Costa Conceição Silva

Instituto Federal do Amazonas

(Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO PIRES RIBEIRO**
Data: 14/08/2024 15:33:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Pires Ribeiro

Instituto Federal do Triângulo Mineiro

Examinador externo

Documento assinado digitalmente
 **SELMA CRISTINA DA SILVA**
Data: 16/08/2024 08:57:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Selma Cristina da Silva

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Examinador interno

FICHA CATALOGRÁFICA

C824m	<p>Correia, Marcos Roberto Santos. Manipueira tratada com peróxido de hidrogênio e seu uso em cultivo de coentro hidropônico / Marcos Roberto Santos Correia. _ Cruz das Almas, BA, 2024. 87f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Engenharia Agrícola.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi. Coorientador: Prof. Dr. Petterson Costa Conceição Silva.</p> <p>1.Coentro – Cultivo. 2.Coentro – Hidroponia. 3.Manipueira – Resíduo – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.</p>
	CDD: 631

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força, sabedoria, fé e coragem em superar todos os obstáculos que surgiram no meio do caminho, pois sem a sua graça eu não seria capaz.

Ao meu orientador professor Hans Raj Gheyi e coorientador Petterson Costa Conceição Silva, por todo apoio, paciência e orientações.

À Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA, meu agradecimento por ter me proporcionado a estrutura necessária para que pudesse crescer academicamente e pessoalmente.

A todos os docentes do PPGEA, em especial aos professores Lucas Vellame, Mairton Gomes, Selma Cristina da Silva, Tales Miler e Toshik Yarley.

A família que o NEAS e a vida me deram, Allysson Jonhny, Daniel Ribeiro (cabeça), Danilo Brito (Danilão), Edilson Bastos (Boi), D. Rita, Sandoval, Lumi, Geovana, Luma, Val, Thainan Sipriano (essa muito especial).

A Maria e Laura que por muitas vezes não foi só o braço direito, mas o esquerdo também.

E, por fim, agradeço todas as pessoas que, de alguma forma, foram essenciais para que eu alcançasse este objetivo.

Obrigado!!!

MANIPUEIRA TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E SEU USO EM CULTIVO DE COENTRO HIDROPÔNICO

RESUMO

A manipueira é um resíduo líquido do processamento da mandioca, rico em compostos orgânicos e minerais, mas sua composição limita seu aproveitamento. O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) no tratamento da manipueira para torná-la uma fonte de nutrientes viável em cultivo hidropônico. No Ensaio 1 realizado no laboratório foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×2 , com cinco concentrações de H_2O_2 - (0; 0,125; 0,250; 0,50 e 1 M) e dois tempos de tratamento - (1 e 72 h), com quatro repetições. Com o aumento do tempo e das doses de H_2O_2 , houve uma redução nos níveis de P e NO_3^- . A quantidade de NH_4^+ e a CE aumentaram com o tempo de tratamento. A presença de H_2O_2 residual foi maior com doses elevadas, mas diminuiu ao longo do tempo. Analisando critérios como turbidez, matéria orgânica, H_2O_2 residual e concentração de nutrientes para a aplicação em sistema hidroponia, as concentrações de H_2O_2 de 0,125 e 0,250 M mostraram-se mais adequadas. O Ensaio 2 foi realizado cultivo de coentro utilizando manipueira tratado com 0,125 M de H_2O_2 e não tratado adaptando um sistema de aeropônia vertical. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com três repetições, com um total de 11 tratamentos, totalizando 33 unidades experimentais. Os tratamentos com manipueira foram inferiores ao tratamento controle (solução de Furlani) na maioria das variáveis analisadas. O uso de H_2O_2 a 0,125 M não é recomendado para tratar a manipueira visando seu uso na hidroponia devido à sua inviabilidade para o desenvolvimento da planta de coentro. A manipueira tratada reduziu os pigmentos fotossintéticos das plantas, principalmente com 100% de substituição da necessidade de K^+ na solução nutritiva. A substituição de K^+ por manipueira, parcial ou total, diminuiu a altura e a biomassa das plantas. A manipueira não tratada, substituindo 50% da necessidade de K^+ , destacou-se por aumentar a massa fresca, indicando seu potencial uso parcial como fonte de potássio.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Craz, tratamento de efluente, reuso, oxidante, hidroponia.

CASSAVA WASTEWATER TREATED WITH HYDROGEN PEROXIDE AND ITS USE IN HYDROPONIC CORIANDER CULTIVATION

ABSTRACT

Cassava wastewater is a liquid residue from cassava processing, rich in organic and mineral compounds, but its composition limits its use. The aim of this study was to evaluate the use of hydrogen peroxide (H_2O_2) in the treatment of cassava wastewater to make it a viable source of nutrients in hydroponic cultivation. In Test 1, carried out in the laboratory, a completely randomized experimental design was used in a 5x2 factorial scheme, with five concentrations of H_2O_2 - (0; 0.125; 0.250; 0.50 and 1 M) and two treatment times - (1 and 72 h), with four replicates. With increasing time and H_2O_2 doses, there was a reduction in P and NO_3^- levels. The amount of NH_4^+ and EC increased with treatment time. The presence of residual H_2O_2 was higher with high doses, but decreased over time. Analyzing criteria such as turbidity, organic matter, residual H_2O_2 and nutrient concentration for application in a hydroponic system, H_2O_2 concentrations of 0.125 and 0.250 M were shown to be more suitable. Trial 2 involved the cultivation of coriander using cassava treated with 0.125 M H_2O_2 and untreated, adapting a vertical aeroponic system. The experiment was conducted in randomized blocks with three replicates, with a total of 11 treatments, totaling 33 experimental units. The cassava treatments were inferior to the control treatment (Furlani's solution) in most of the variables analyzed. The use of 0.125 M H_2O_2 is not recommended to treat cassava for use in hydroponics due to its inviability for the development of the coriander plant. The treated cassava reduced the photosynthetic pigments of the plants, mainly with 100% replacement of the K^+ requirement in the nutrient solution. The use of H_2O_2 at 0.125 M is not recommended to treat cassava wastewater for its use in hydroponics due to its unfeasibility. Treated cassava wastewater reduced plant pigments, especially with substitution of 100% K^+ of requirement. The partial or total replacement of K^+ with cassava starch reduced plant height and biomass. Untreated cassava starch, replacing 50% of the K^+ requirement, stood out for increasing fresh mass, indicating its potential partial use as a source of potassium.

Keywords: *Manihot esculenta* Cranz, effluent treatment, reuse, oxidant, hydroponics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição nutricional da manipueira (mg L^{-1}) relatada por diversos autores.	7
Tabela 2. Volume gerado de manipueira para cada tonelada de mandioca processada.	7
Tabela 3. Potencial redox de espécies oxidantes.	8
Tabela 4. Caracterização física e química da manipueira coletada em casa de farinha utilizada no experimento.	33
Tabela 5. Resumo da análise de variância (teste F).	33
Tabela 6. Detalhes dos tratamentos estudados utilizando manipueira como fonte de K^+ em sistema hidropônico.	57
Tabela 7. Parâmetros físicos e químicos da manipueira tratada com H_2O_2 (MT) e não tratada (MNT), com a dose 0,125 M de H_2O_2 em um tempo de 1 h utilizada neste experimento.	59
Tabela 8. Comparação da concentração de nutrientes (mg L^{-1}) na solução nutritiva conforme Furlani et al. (1999), manipueira tratada com H_2O_2 (MT) e não tratada (MNT).	60
Tabela 9. pH e condutividade elétrica (CE) dos tratamentos após diluição e adição de fertilizantes.	61
Tabela 10. Quadrados médios e níveis de significância dos resultados estatísticos.	64
Tabela 11. Valores médios de clorofila a (Cl a, mg g^{-1} MS) e clorofila b (Cl b, mg g^{-1} MS), carotenoides (Car, mg g^{-1} MS), proteínas solúveis (PS, mg g^{-1} MS), prolina livre (PL, $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS), carboidratos livres (CH, $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS), aminoácido (AA, $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) do coentro 'Verdão' cultivado em sistema hidropônico com manipueira tratada e não tratada com H_2O_2 aos 22 DAT.	64
Tabela 12. Valores médios de AP (cm), MFPA (g maço) MSPA (g maço), N (mg g^{-1}), P (mg g^{-1}) e K^+ (mg g^{-1}) do coentro 'Verdão' cultivado em sistema hidropônico com manipueira tratada e não tratada com H_2O_2 aos 22 DAT.	65

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** pH (A) e H₂O₂ residual (B) em função da interação entre as doses de H₂O₂ e diferentes tempos de tratamento e efeito isolado de fatores doses de H₂O₂ (C) e tempos de tratamento (D) sobre a condutividade elétrica (CE) da manipueira.35
- Figura 2.** Turbidez – NTU (A), teores de fósforo – P (B), matéria orgânica – MO (C) e N - NH₄⁺ da manipueira em função da interação entre as doses de H₂O₂ e diferentes tempos de tratamentos.....36
- Figura 3.** Teor de N-nitrato (NO₃⁻) da manipueira em função da interação entre as doses de H₂O₂.....38
- Figura 4.** Estrutura utilizada para condução do experimento.56
- Figura 5.** Detalhamento do sistema aeropônico vertical: reservatório de solução nutritiva + eletrobomba (A), sistema de injeção e descida da solução nutritiva (B), orifícios com as plantas de coentro (C), sistema aeropônico dispostos dentro da casa de vegetação (D).....58

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	1
LISTA DE TABELAS.....	1
LISTA DE FIGURAS	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 HIPÓTESES.....	3
3 OBJETIVOS.....	4
3.1 OBJETIVO GERAL.....	4
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
4.1 A cultura da mandioca e a manipueira.....	5
4.2 Tratamento de efluentes	7
4.2.1 Abstração do átomo de hidrogênio.....	9
4.2.2 Adição eletrofílica	9
4.2.3 Transferência eletrônica.....	10
4.2.4 Reações radical-radical.....	10
4.3 Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂).....	12
4.4 Cultivo e uso de efluentes no sistema hidropônico.....	14
4.5 Aeropônia vertical	17
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
CAPÍTULO I.....	25
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MANIPUEIRA TRATADA COM H₂O₂ VISANDO SEU USO EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS	25
INTRODUÇÃO.....	28
MATERIAL E MÉTODOS	30
RESULTADOS	33
DISCUSSÃO.....	39
CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
CAPÍTULO II.....	51
DESEMPENHO NUTRICIONAL, BIOQUÍMICO E PRODUÇÃO DE COENTRO EM SISTEMA AEROPÔNICO VERTICAL COM MANIPUEIRA	51
INTRODUÇÃO.....	54
MATERIAL E MÉTODOS.....	56
Delineamento experimental.....	57

Descrição do experimento.....	57
Semeadura.....	59
Coleta, análise da manipueira e formulação dos tratamentos.....	59
Análises das plantas de coentro	62
RESULTADOS	64
DISCUSSÃO.....	67
CONCLUSÃO	72
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Cranz) é uma cultura cultivada em todas as regiões do Brasil, de grande importância econômica e social, principalmente para a região Nordeste (FERREIRA et al., 2013).

A produção nacional da mandioca, na safra de 2022 foi de 17,7 milhões de toneladas com valor da produção 15,3 milhões de reais, e rendimento médio de 15 toneladas de raízes por hectare. Nesse cenário destaca-se o estado do Pará como maior produtor do Brasil, com produção de 4,2 milhões de toneladas. Já o estado da Bahia teve uma produção média de 700.380 toneladas, sendo a cidade de Laje-BA a maior produtora do estado (IBGE, 2022).

Durante o processo de produção da mandioca há geração de grandes volumes de resíduos, como a manipueira gerada nas fecularias que tem um elevado grau poluidor. Este resíduo líquido apresenta Demanda Química de Oxigênio (DQO) variando entre 14.000 e 63.560 mg L⁻¹ e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) entre 243 e 44.100 mg L⁻¹ (SANTOS, 2001; LIED et al., 2001; SANTOS, 2021).

Wosiacki e Cereda (2002) estimaram que o potencial poluidor de uma fecularia de porte médio pode equivaler a um índice de poluição urbana diária de 150 a 250 habitantes por dia.

O tratamento desse efluente é comumente realizado através de sistemas de lagoas de estabilização, aeróbica, de decantação e de polimento, para depois do tratamento o efluente ser conduzido aos riachos e rios ao redor (PARIZOTTO, 2002; WOSIACKI; CEREDA, 2002). Os tratamentos convencionais podem não ser suficientes para reduzir significativamente o potencial poluidor da manipueira, devido à sua alta carga poluidora e volume durante o processamento. Por isso, o uso de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), vem ganhando destaque no tratamento de águas residuárias, seja ele utilizado sozinho ou combinado para aproveitar o efeito sinérgico. O H₂O₂, sendo um agente altamente oxidante, oferece benefícios ao tratar a manipueira para descarte em corpos hídricos ou uso agrícola, aproveitando seus nutrientes para cultivos hidropônicos e potencialmente reduzindo os custos com fertilizantes minerais (CESCONETTO NETO, 2002; DUARTE et al., 2012; COSTA, 2020). A utilização de água residuária tratada na agricultura pode ser importante não apenas como fonte extra de água, mas por apresentar diversos nutrientes (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e micronutrientes), pode também servir como fonte de nutrientes auxiliar o

desenvolvimento da cultura durante todo o ciclo (ALBUQUERQUE JÚNIOR et al., 2016).

A manipueira apresenta macros e micronutrientes em sua composição (DUARTE et al., 2012; COSTA, 2020), o que pode torná-la uma fonte de nutrientes para o cultivo hidropônico e acarretar uma redução nos custos com fertilizantes minerais. No entanto, na literatura não são encontrados trabalhos referentes ao uso da manipueira na hidroponia.

A necessidade de tratamento, seja ele biológico ou químico, é fundamental para que os nutrientes presentes no efluente sejam mineralizados e estejam em formas assimiláveis pelas plantas, apresentando concentrações satisfatórias para seu uso. Esse tratamento garante a segurança e eficácia da manipueira como solução nutritiva na hidroponia. Além de eliminar compostos tóxicos, como o cianeto, e reduzir a carga orgânica, os processos de tratamento adequados asseguram que os nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, estejam disponíveis em proporções adequadas para o crescimento saudável das plantas. Com esses cuidados, a manipueira pode ser transformada em um recurso valioso e sustentável para a produção hidropônica, contribuindo para uma agricultura mais eficiente e ambientalmente amigável.

2 HIPÓTESES

- O H_2O_2 é um agente oxidante forte e é capaz de mineralizar e, reduzir significativamente a carga orgânica presente na manipueira.
- A manipueira possui composição nutricional relevante para utilização em cultivos hidropônicos, contribuindo para o desenvolvimento e produção de hortaliças folhosas, reduzindo a utilização de fertilizantes minerais.
- O tratamento com H_2O_2 pode melhorar a composição nutricional da manipueira para seu uso na hidroponia.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o tratamento da manipueira com H_2O_2 e utilizar como fonte de nutrientes viável para cultivo hidropônico.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar diferentes concentrações de H_2O_2 para degradação da matéria orgânica presente na manipueira e mineralização de nutrientes.
- Avaliar as características físico-químicas da manipueira ao longo do tempo para estabelecer o tempo ótimo do tratamento, ou seja, aquele que produz efluente com qualidade a ser utilizada como solução nutritiva do cultivo hidropônico do coentro.
- Avaliar e ajustar o uso da manipueira no cultivo hidropônico como fonte de nutrientes.
- Avaliar o crescimento e desenvolvimento do coentro cultivado com a manipueira tratada com H_2O_2 e não tratada em sistema aeropônico vertical de cultivo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A cultura da mandioca e a manipueira

A mandioca pertence à ordem Malpighiales, família Euphorbiaceae, gênero *Manihot* e espécie *Manihot esculenta* Crantz., mesma família da mamona *Ricinus communis* L. planta caracterizada como arbusto lenhoso, cor da folha na sua maioria verde, altura variando entre 1,32 e 3,61 m (MATTOS et al., 2006; SIVIERO; SCHOTT, 2011).

A mandioca é originária da América do Sul, oriunda de região tropical, têm-se condições favoráveis ao cultivo em todos os climas tropicais e subtropicais, suporta altitudes de até cerca de 2.300 m, sendo as altitudes de 600 m a 800 m as mais favoráveis. A faixa de temperatura ideal para o cultivo da mandioca situa-se entre os limites de 20 e 27 °C, mas a temperatura ótima está em torno de 25 °C. A precipitação é um dos fatores mais importantes durante o ciclo de cultivo, o regime de chuvas adequado está entre 1000 e 1500 mm por ano, tendo uma boa distribuição durante os 6 a 8 meses do ciclo vegetativo. Já em regiões áridas, com baixos índices de precipitação é de suma importância de variedades adaptadas ou melhoradas para a região (MATTOS et al., 2006).

A mandioca apresenta alto teor de amido e matéria seca cerca de 30 a 40%, valores consideráveis em comparação com a batata que tem cerca de 30% e inhame com 27,5%. Possui baixos níveis de proteína entre 3 a 4%, de 1 a 2% de fibras, 360 mg kg⁻¹ de vitamina C e 347 g kg⁻¹ de raiz (NORMANHA; PEREIRA, 1950; COCK, 2019).

Além das raízes, a parte aérea da mandioca é muito aproveitada na alimentação animal, pois apresenta altos teores de proteína bruta 17,6% Souza et al., (2012); 10,92% Fernandes et al., (2016); 15,11% Ramos et al., (2017).

Existem dois grupos de mandioca: as mansas ou doces, conhecidas como macaxeiras ou aipins, com baixo teor de ácido cianídrico nas raízes, e as bravas ou venenosas, com alto teor de ácido cianídrico, capazes de causar envenenamento até pós-cozimento. A mandioca mansa é destinada principalmente ao consumo doméstico, nas formas cozida ou frita e para o preparo de pratos típicos. As variedades bravas são utilizadas na sua maior parte para produção de farinha e fécula, para alimentação humana ou, podem ser usados como insumos em diversos segmentos

industriais, como o de alimentos embutidos, embalagens, colas, mineração, têxtil e farmacêutica (NORMANHA; PEREIRA, 1950; OTSUBO et al., 2004).

As indústrias durante o processamento das raízes de mandioca geram produtos sólidos como a casca, entrecasca, descarte e crueira. Também é gerado resíduo líquido chamado de manipueira ao qual durante a prensagem da mandioca ralada, líquido de cor amarela e que geralmente é descartado em corpos d'água e em solos ao ar livre causando diversos problemas ao meio ambiente (LIED et al., 2011). A maioria das formas de processamento de mandioca produz grandes quantidades de resíduos, cujo tipo e a composição dependem do método de transformação e tecnologia empregadas no processamento. O processamento da mandioca contribui de forma significativa para poluição ambiental além de apresentar um odor e aspectos visuais desagradáveis (FAO, 2001).

Para Ferreira et al. (2001) e Lied et al. (2011), os problemas gerados por esse efluente são causados por disposição inadequada, elevado valor de sua demanda bioquímica de oxigênio (DBO), devido sua alta carga orgânica, presença de ácido cianídrico (HCN), tornando-se altamente tóxico e associado ao grande volume produzido.

Segundo Santos (2009), dependendo da forma de processamento das raízes, a água residual pode se apresentar com variadas concentrações, principalmente com relação à matéria orgânica e ao potencial tóxico. A toxidez é decorrente de um glicosídeo, denominado linamarina ($C_{10}H_{17}NO_6$), presente em todas as partes da planta e que por hidrólise produz a glicose, a acetona e o ácido cianídrico.

Oliveira et al. (2001), pesquisando o tratamento de efluentes de uma indústria de mandioca no estado do Paraná, encontraram valores superiores a 14.000 mg L^{-1} de DQO. Lied (2011) conclui que o efluente de manipueira apresentou alta carga orgânica, com valores de DBO e DQO de 1.450 e 2.240 mg L^{-1} , respectivamente. Nitschke e Pastore (2006), encontraram valores de DQO de $55.820 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$.

Apesar da manipueira apresentar alguns problemas com o seu descarte inadequado, este resíduo apresenta grande variedades de nutrientes como N, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , S^{2-} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} e Fe^{2+} e em diferentes quantidades (RIBAS et al., 2010), o que a torna vantajosa para seu uso como fonte de nutrientes. Em alguns trabalhos com manipueira têm sido realizadas análises químicas para quantificação de nutrientes presentes (Tabela 1).

Tabela 1. Composição nutricional da manipueira (mg L⁻¹) relatada por diversos autores.

Nutrientes	Referências				
	Melo (2010)	Duarte et al. (2012)	Garcial et al. (2014)	Barreto (2014)	Costa et al. (2021)
N	1950	980	667	1592,3	104,7
P	198	740	202	667,5	1280,7
K ⁺	1060	1970	1780	5900	8733,5
Ca ²⁺	661	240	-	376	404,5
Mg ²⁺	408	360	-	1535,3	812,9

N – Nitrogênio; P – Fósforo; K⁺ - Potássio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Conforme Fioretto (2001) a composição nutricional da manipueira é bastante variável e depende do seu manejo, clima, época de colheita, cultivar e tipo de processamento nas casas de farinhas.

Durante o processamento da mandioca é gerado um grande volume de manipueira. Diversos autores têm quantificado o volume gerado (Tabela 2).

Tabela 2. Volume gerado de manipueira para cada tonelada de mandioca processada.

Referências	Local	Volume (L t ⁻¹)
Araújo et al. (2014)	Paraíba	279,1
Mendonça et al. (2019)	Garrafão do Norte - PA	400
Costa (2020)	São Felipe - BA	333

Fonte: Elaboração própria (2024).

Para Lamo e Menezes (1979); Paixão (2009), o volume de manipueira produzido varia de 300 a 3000 L t⁻¹ de raízes processadas, a depender se a sua finalidade é para a produção de farinha ou fécula.

4.2 Tratamento de efluentes

Mesmo com os avanços tecnológicos para tratamentos de efluentes aquosos, o setor produtivo das indústrias de mandioca ainda não permite grandes investimentos em sistemas complexos para o tratamento do efluente gerado durante o processamento da mandioca, no entanto, existe uma preocupação com seu descarte no meio ambiente e a sua reutilização (PINTO, 2013).

Os tratamentos de efluentes aquosos baseados em processos biológicos de degradação são os mais utilizados para oxidação de poluentes orgânicos. Porém, a demanda por outros tipos de tratamento vem aumentando devido algumas limitações encontradas no processo de degradação biológica desse resíduo. Alguns fatores são limitantes no tratamento de efluentes como elevado custo, e que normalmente nesses efluentes estão presentes como misturas, dificultando seu tratamento e caracterização e, diversas vezes contém substâncias recalcitrantes de difícil degradação, e tóxicas, o que inviabiliza o tratamento biológico. Devido a esses fatores, tem-se levado a pesquisas relacionadas a processos não biológicos para o tratamento de efluentes (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; SILVA et al., 2015).

Há muito tempo os processos oxidativos avançados (POAs) vêm se destacando devido à sua alta eficiência na degradação de diversos compostos orgânicos e de custo operacional baixo. Os POA se mostram como alternativa no tratamento de águas residuárias, além do tratamento de água superficiais, subterrâneas e solos contaminadas (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

Os POAs são processos que geram radicais de hidroxilas ($\cdot\text{OH}$), que são espécies altamente oxidantes, que em quantidade suficiente provoca a mineralização da matéria orgânica à dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Esses radicais possuem grande potencial redox (V), cerca de 2,8 V, sendo menor apenas que o flúor, que apresenta 3,03 V (DOMÈNECH et al., 2001; TEIXEIRA; JARDIM, 2004). Domènech et al. (2001) apresentaram o potencial redox de alguns oxidantes (Tabela 3).

Tabela 3. Potencial redox de espécies oxidantes.

Espécie	Potencial redox (V)
Flúor	3,03
Radical hidroxila	2,8
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio	2,07
Peróxido de hidrogênio	1,78
Radical perhidroxila	1,7
Permanganato	1,68

Dióxido de cloro	1,57
Ácido hipocloroso	1,49
Cloro	1,36
Bromo	1,09
Iodo	0,54

Fonte: Domènech et al. (2001).

A geração dos radicais hidroxila podem ocorrer através de reações envolvendo oxidantes fortes, tais como ozônio (O₃) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), semicondutores, tal dióxido de titânio (TiO₂), óxido de zinco (ZnO) e irradiação ultravioleta/visível (UV/VIS) (MANSILLA et al., 1997, NOGUEIRA et al., 2007). Devido ao seu alto potencial de redução, o radical hidroxila é capaz de oxidar diversos compostos orgânicos a CO₂ e H₂O e íons inorgânicos provenientes de heteroátomos (DOMÈNECH et al., 2001; NOGUEIRA et al., 2007).

Os contaminantes orgânicos podem apresentar diversas estruturas, o que pode ocorrer diferentes reações envolvendo o radical hidroxila, tais como abstração do átomo de hidrogênio, adição eletrofílica, transferência de elétrons e radical-radical (LEGRINI et al., 1993).

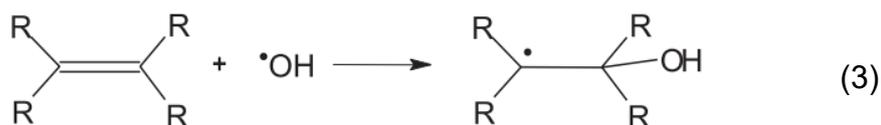
4.2.1 Abstração do átomo de hidrogênio

Inicialmente os radicais hidroxilas ([•]OH) que se formam são capazes de oxidar compostos orgânicos através da abstração de hidrogênio, gerando radicais orgânicos ou livres (R[•]) (Equação 1). Posteriormente, ocorre adição de oxigênio molecular formando radicais peróxido (RO[•]₂) (Equação 2) intermediários, que iniciam as reações térmicas em cadeia levando à degradação até CO₂, água e sais inorgânicos. Ocorrendo essa reação geralmente em hidrocarbonetos alifáticos.

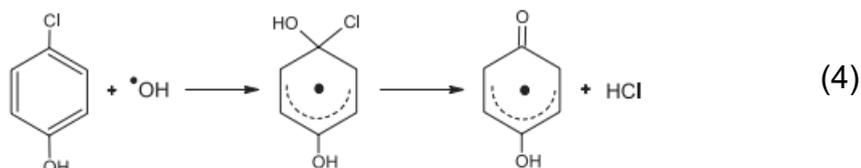


4.2.2 Adição eletrofílica

A adição eletrofílica de radical hidroxila a compostos orgânicos que apresentam ligações *pi*, resulta na formação de radicais orgânicos (Equação 3). Ocorre normalmente com hidrocarbonetos insaturados ou aromáticos.



A remoção de cloro rápida de clorofenóis também é interpretada pela adição eletrofílica gerando íons cloreto (Equação. 4).



4.2.3 Transferência eletrônica

Ocorre quando os processos de abstração de hidrogênio e adição eletrofílica são desfavorecidos, como no caso de hidrocarbonetos clorados (Equação 5).



4.2.4 Reações radical-radical

Esse tipo de reação é indesejável do ponto de vista de oxidação dos compostos orgânicos (Equação 6 e 7), pois há um consumo do radical $\cdot\text{OH}$, prejudicando a eficiência do processo de fotodegradação.



Vários fatores influenciam na predominância de uma reação ou outra, como a biodegradabilidade do substrato orgânico e sua presença e concentração (NOGUEIRA et al., 2007; MARTINS, 2011).

Os processos oxidativos avançados podem ser classificados como homogêneos e heterogêneos. O processo homogêneo, que usa radiação ultravioleta (UV) é normalmente utilizado para degradar compostos que absorvem a radiação ultravioleta dentro da faixa correspondente ao seu espectro, não existe a presença de catalisadores na forma sólida, sendo a degradação do poluente orgânico realizado por fotólise direta com UV e geração de radical hidroxila ($\text{OH}\cdot$). Já nos processos heterogêneos são utilizados catalisadores para realizar a degradação dos compostos (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; AL MAYYAH; AL ASADI, 2018).

Nos processos homogêneos com irradiação têm-se a ozonização fotolítica (O_3/UV); peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta (H_2O_2/UV); feixe de elétrons; ultrassom (US); peróxido de hidrogênio e ultrassom (H_2O_2/US); ultravioleta e ultrassom (UV/US); e sem irradiação têm-se ozônio e peróxido de hidrogênio (O_3/H_2O_2); ozônio e hidroxila (O_3/OH^-), e reação de Fenton (H_2O_2/Fe^{++}). Já nos sistemas heterogêneos com irradiação têm-se dióxido de titânio, oxigênio e ultravioleta ($TiO_2/O_2/UV$); dióxido de titânio, peróxido de hidrogênio e ultravioleta ($TiO_2/H_2O_2/UV$); e sem radiação eletron-fenton (HUANG et al., 1993).

Os POA podem ser realizados de forma individual ou em formas combinadas e até associados com processos fotoquímicos. Devido a isso, os processos oxidativos avançados estão sendo amplamente estudado para a redução/remoção da matéria orgânica de efluentes.

Estudos conduzidos por Soeira et al. (2020) avaliaram a remoção de matéria orgânica natural em águas preparadas com ácido húmico sintético, encontrando uma eficiência máxima de 36,48% para amostras com pH 3,0, utilizando 15 mL de H_2O_2 e um tempo de reação de 15 minutos. Também notaram que para as faixas de pH 2,6 e 3,0 ocorreu uma tendência de aumento da eficiência com o tempo, ou seja, a remoção aumentaria caso o tempo fosse superior a 15 minutos. Os mesmos autores avaliaram o efeito sinérgico entre a cavitação hidrodinâmica (fenômeno que apresenta potencial de remoção de matéria orgânica, inativação de microrganismos, remoção de corantes e pigmentos de águas residuárias industriais) e H_2O_2 , mostraram que o peróxido de hidrogênio produziu uma baixa remoção de matéria orgânica natural em ácido húmico sintético, cerca de 2,18% em 15 minutos de tratamento. No entanto, o efeito sinérgico entre cavitação hidrodinâmica + peróxido de hidrogênio obteve um aumento 16 vezes maior que apenas o peróxido de hidrogênio.

Beltrán et al. (1997a), avaliando a oxidação de águas residuais de uma destilaria com DQO inicial alta ($> 3.000 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) observaram que não sofreu qualquer oxidação significativa com a combinação de radiação UV e peróxido de hidrogênio, e em efluentes de fábricas de extrato de tomate o efeito foi próximo ao encontrado ao efluente da destilaria, mas às taxas de oxidação foram melhoradas devido à alta concentração de hidroxilas. Resultados mostrando que houve uma redução de 23% da DQO após duas horas na concentração de 0,01 M de H_2O_2 .

Pesquisas realizadas por Beltrán et al. (1997b), usando a combinação de ozônio e peróxido de hidrogênio em efluentes de destilaria e de fábricas de extrato de tomate, mostraram que não houve melhoria na oxidação analisados através de DQO e carbono orgânico total (COT) referente ao efluente de destilaria. No caso do efluente de fábricas de extrato de tomate, o sistema de oxidação O_3/H_2O_2 foi muito eficaz no tratamento, com aumento na concentração de peróxido de hidrogênio, acima de 0,01M, levando a aumentos das taxas de degradação de DQO e COT.

Lee et al. (2011), pesquisando a interferência do peróxido de hidrogênio na demanda química de oxigênio durante oxidação avançada baseada em ozônio em águas residuais de gado digerido anaerobicamente, observaram que a combinação de $O_3/UV/H_2O_2$ resultou na maior taxa de remoção de DQO (87%) em 2 h, já a combinação de O_3/UV obteve a segunda maior taxa de degradação, seguido por O_3/H_2O_2 e O_3 .

Ksibi (2006), usando H_2O_2 para tratamento de efluentes domésticos, obtiveram resultados eficientes no processo Fenton (H_2O_2/Fe^{++}). Os valores de DQO permaneceram estáveis durante os 30 minutos iniciais ($322 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), diminuindo com o tempo para o valor de $66 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ após três horas de tratamento, um decréscimo de 79,5% do valor inicial da DQO, comprovando a ação de degradação do processo de Fenton para a matéria orgânica do efluente. O mesmo autor, utilizando apenas H_2O_2 , obteve a purificação do efluente doméstico, comprovando a eficiência da remoção de matéria orgânica. Esse estudo mostrou que a remoção de DQO chegou ao patamar de $44 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ após 3 h de tratamento, uma redução de 86,3% do valor inicial de DQO. Neste mesmo trabalho, o autor investigou a quantidade ideal de H_2O_2 para remoção de DQO no período de 2 h, chegando à conclusão que a dose de $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ de H_2O_2 puro a 30% foi a ideal para destruir os riscos do produto, mas que doses superiores a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ não melhoraram o desempenho do processo.

O uso de um ou mais oxidantes combinados permite aproveitar os efeitos possíveis sinérgicos entre eles, o que produz uma degradação adicional de carga orgânica (DOMÈNECH et al., 2001).

4.3 Peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi inicialmente comercializado em meados de 1800, devido à sua aplicabilidade, sua produção tem aumentado (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

Devido ao seu alto potencial de oxidação (1,8 V), o H_2O_2 é muito utilizado pela indústria têxtil, no branqueamento de papel, produção de água potável, remediação de solos contaminados, tratamento de efluentes perigosos, entre outras. O H_2O_2 pode ser usado sozinho, por exemplo na remoção de odor, oxidação de metais, compostos orgânicos e inorgânicos ou pode ser usado combinado com outros oxidantes, catalisadores e até com radiação UV para melhorar sua eficiência (DOMÈNECH et al., 2001; TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

O H_2O_2 é um metabólito natural de muitos organismos, que o decompõe e produz oxigênio e água e, também, é formado pela ação da luz solar sobre água. O H_2O_2 é totalmente miscível em água, toda questão da segurança de uso está ligada a concentração, e por ser um oxidante forte requer precauções especiais de manuseio (CESCONETTO NETO, 2002). Além desses benefícios citados, o H_2O_2 tem sido bastante utilizado na aclimação de plantas a estresse salino.

Estudos realizado por Silva (2017) com uso do peróxido de hidrogênio na aclimação do manjeriço ao estresse salino, o autor concluiu que a aplicação prévia de $1 \mu\text{M}$ $\text{H}_2\text{O}_2/48$ h na solução nutritiva e a sua reaplicação aos 15 dias de estresse salino é o tratamento mais eficiente para aclimação e aumento da tolerância do manjeriço à salinidade.

Barbosa et al. (2023) realizaram uma pesquisa sobre o uso de peróxido de hidrogênio na aclimação de sorgo em cultivo convencional, concluíram que o tratamento de sementes de sorgo com concentrações de H_2O_2 de até $12 \mu\text{M}$ atenua os efeitos adversos causados pelo estresse salino nas plantas submetidas aos níveis de condutividade elétrica da água (0,30; 1,50; 3,50; e $5,50 \text{ dS m}^{-1}$) e que concentrações superiores a $12 \mu\text{M}$ não são recomendadas para o tratamento de sementes de sorgo, pois aumenta os efeitos deletérios causados pelo estresse salino.

A exposição ao NaCl em concentração de 50 mM resultou em uma redução no desenvolvimento do coentro no cultivo hidropônico. Por outro lado, o tratamento prévio das sementes com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) durante 36 horas promoveu uma maior tolerância à salinidade, especialmente evidente quando utilizada uma concentração de H_2O_2 de 0,1 mM (Silva et al., 2023).

Silva et al. (2023) realizaram análise exploratória para recomendação de tratamento primário de sementes com peróxido de hidrogênio em alface e rúcula cultivadas em sistema hidroponia utilizando água salobra, concluíram que o H_2O_2 mostrou efeito positivo no aumento da tolerância, para alface, as doses de 0,1 mM de

H₂O₂ (12 h) e 1 mM de H₂O₂ (36 h) levaram aos melhores resultados de crescimento, enquanto para rúcula as melhores doses foram 0,1 mM (12 h) e H₂O₂ 10 mM (36 h). Assim, a aplicação padrão de 0,1 mM de H₂O₂ por 12 horas é aconselhável para as duas variedades de plantas submetidas ao estresse salino provocado por 50 mM de NaCl.

4.4 Cultivo e uso de efluentes no sistema hidropônico

A técnica de cultivo hidropônico é empregada há muito tempo por diversas civilizações. Na Babilônia (605 – 562 a.C.) as plantas eram irrigadas com água do Rio Eufrates. Os povos astecas em Tenochtilan por volta do ano 40 d.C., cultivavam diversos vegetais em um sistema denominado de “Chinampas”, que são ilhas artificiais flutuando sobre a água nas quais as raízes ficam em contato direto com a água (CARMONA; VALLADARES, 2014; CIFUENTES-TORRES et al., 2021).

Os sistemas de hidroponia podem ser classificados em sistemas abertos e sistemas fechados. Nos sistemas abertos, as raízes estão em contato direto ou ocasional com a solução nutritiva e é usada apenas uma vez. Já nos sistemas fechados, a solução nutritiva é aplicada nas raízes e recirculada periodicamente (JONES JR., 2005; LEE; LEE, 2015; CIFUENTES-TORRES et al., 2021).

Os efluentes apresentam alto teor de nutrientes, que podem ser uma fonte de água e até nutrientes para sistemas hidropônicos. Tendo cuidados especiais, esses efluentes combinados com a produção hidropônica, é possível obter produtos agrícolas seguros, viáveis e com alta qualidade, além de dar um destino adicional aos efluentes antes de sua deposição ao meio ambiente. Isso é de suma importância em regiões áridas e semiáridas, onde os recursos de água doce estão se esgotando rapidamente e os efluentes são despejados nos corpos d'água sem nenhum benefício social ou ambiental (CIFUENTES-TORRES et al., 2021).

O cultivo hidropônico é uma alternativa ao sistema convencional de cultivo de hortaliças. A hidroponia apresenta diversas vantagens para o consumidor, o produtor, e principalmente para o meio ambiente, devido ao menor gasto de água e insumos agrícolas (PAULUS et al., 2012).

Alguns estudos realizados por diversos autores mostra o aproveitamento de águas residuárias na hidroponia. Al-Karaki (2011), com produção de forragem verde em hidroponia utilizando sistema de prateleiras (2x0,55 m) conseguiu um rendimento de massa fresca de 320 t ha⁻¹ utilizando água de esgoto tratado, sendo 40% maior do

que a produção apenas com água de abastecimento. O mesmo autor verificou que a irrigação com esgoto tratado tem maior eficiência no uso da água, em relação ao tratamento com água de abastecimento, sendo que para produzir 1 tonelada de forragem verde foi usado apenas 1,23 m³, enquanto com água de abastecimento usou 1,38 m³. Sobre a qualidade da forragem hidropônica, Al-Karaki (2011) relatou que a forragem produzida com esgoto tratado apresentou teor de proteína de 27,4%, enquanto com água de abastecimento 25,2%.

Segundo Cunha (2012), o cultivo de tomate Sweet Grape utilizando efluente de esgoto tratado em vasos com diferentes substratos e enriquecido com fertilizantes convencionais pode ser realizado sem prejuízo da qualidade e a quantidade de frutos colhidos. Além disso, o uso de água residuária em hidroponia reduziu a quantidade de nutrientes comerciais para preparo da solução nutritiva, redução de 8,98% para nitrato, 6,93% para o potássio, 18,38% para o fósforo e 40% em gastos totais com fertilizantes.

Píccolo et al. (2013), produzindo forragem hidropônica com água residuária de bovinos em diferentes substratos, não encontraram diferenças significativas em relação aos outros tratamentos sem água residuária, concluindo que a água residuária de bovinos pode ser utilizada em substituição à solução nutritiva padrão na produção de forragem verde hidropônica de milho.

Alves et al. (2019), usando efluente doméstico tratado no cultivo de manjeriço em sistemas hidropônicos (NFT e DFT) e fazendo a reposição com o efluente, constataram que não houve necessidade de reposição com solução nutritiva devido ao efluente apresentar nutrientes na sua composição. Com isso, concluíram que é viável o uso de efluente doméstico tratado para o preparo de solução nutritiva para o cultivo hidropônico de manjeriço.

Gonçalves et al. (2020), cultivando girassol ornamental em sistema hidropônico DFT concluíram que a solução nutritiva de Furlani (1999) pode ser preparada em efluente doméstico tratado e que o tratamento com 75% da solução nutritiva preparada no efluente não altera o padrão de comercialização e gera economia de fertilizantes.

Os estudos mencionados demonstram o uso de efluentes em diversas culturas agrícolas. O uso desses efluentes pode gerar economia de fertilizantes minerais e água, além de proporcionar um novo destino para esses resíduos que seriam descartados e poderiam causar danos ao meio ambiente com descarte inadequado

em corpos de água ou no solo. Isso mostra a importância da reciclagem de efluentes na agricultura.

Além dos usos de efluentes tratados, outra prática de utilização de soluções orgânicas ou organomineiras é a bioponia. O uso de biofertilizantes na composição parcial ou total na formulação de soluções nutritivas em sistemas hidropônicos no cultivo de hortaliças têm sido objeto de diversos estudos realizados.

No cultivo hidropônico em sistema floating de cultivares de alface em soluções nutritivas organominerais, otimizadas com a ferramenta SOLVER, Monteiro Filho et al. (2014), não observaram deficiência nem toxicidade visual na alface, independente da solução nutritiva utilizada. Portanto, a substituição parcial da solução mineral por soluções organominerais é viável, desde que a solução final esteja adequadamente equilibrada em termos nutricionais.

Cuba et al. (2015), ao utilizar efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface em sistema NFT observaram que, nas condições experimentais, a aplicação do efluente como alternativa de água mostrou-se satisfatória. Houve economia de alguns fertilizantes em comparação à solução nutritiva recomendada, sem prejuízos à produtividade da cultura. No entanto, é importante que esse efluente seja complementado com fertilizantes minerais para atender à demanda nutricional da cultura.

Tikasz et al. (2019), utilizaram extratos aerados de esterco de galinha, vaca e peru no cultivo de alface e couve em hidroponia. Eles notaram que o crescimento da alface e da couve foi alcançado em todas as soluções hidropônicas de extrato animal, com exceção do estrume de frango a 50 g L⁻¹. Observaram que a maior biomassa foi obtida com o esterco de peru a 50 g L⁻¹.

Utilizando uma solução hidropônica, proveniente de resíduos orgânicos agrícolas, no cultivo de couve chinesa em sistema DFT, Siahaan et al. (2024), concluíram que a solução que utilizava folhas de moringa, casca de cebola e broto de feijão (0,5 kg de cada, secos e adicionados 50 mL de melão e 4 L de água, fermentação anaeróbica por 10 dias) apresentou o maior rendimento. Descobriram também que as concentrações da solução nutritiva, variando de 1.200 a 1.500 ppm, aumentaram significativamente o rendimento e o peso fresco da parte aérea.

É notável a grande quantidade de trabalho que utiliza água residuária de esgoto tratada e resíduos orgânicos no cultivo hidropônico. Estes elementos fazem parte da solução nutritiva, seja de forma complementar ao fertilizante mineral, seja para suprir

totalmente o uso de fertilizantes. Devido a isso, a manipueira, com sua ampla gama de nutrientes presentes em sua composição, também pode ser usada como fonte de fertilizantes na hidroponia.

A prática do uso de biofertilizantes em sistemas hidropônicos pode oferecer redução dos custos de produção, diminuindo ou substituindo o uso de fertilizantes minerais. A utilização de produtos orgânicos disponíveis no meio rural na forma de biofertilizante, caracteriza assim, um sistema hidropônico orgânico ou organomineral (MONTEIRO FILHO et al., 2014).

4.5 Aeropônia vertical

No sistema de aeropônia vertical as plantas são cultivadas com raízes suspensas no ar, enquanto é pulverizado continuamente com uma solução nutritiva, no entanto não requer muito tempo de nebulizações (GAIKWAD; MAITRA, 2020).

A hidroponia vertical aproveita as vantagens da hidroponia horizontal e adiciona outras, especialmente aquelas relacionadas ao melhor aproveitamento da área de estufas e o equilíbrio umidade e ar para otimizar o desenvolvimento das raízes, tubérculos e folhagens (FURLANI; FERNANDEZ JÚNIOR, 2004; OTAZÚ, 2010). Esse sistema oferece potencial para melhorar a produção e reduzir os custos em comparação com os métodos convencionais ou com outro método de cultivo em hidroponia (OTAZÚ, 2010).

A técnica de hidroponia vertical já é objeto de estudos em diferentes culturas, como tomate (Biddinger et al., 1998), morango (Furlani; Fernandez Júnior, 2004), alface lisa e crespa (Sheffer et al., 2019). A aeroponia pode ser aplicada como um sistema de cultivo vertical, assim como a aquaponia e outros métodos hidropônicos. A técnica de aeroponia vertical se sobressai como uma aliada fundamental para a expansão de cultivos em regiões tradicionalmente vistas como desafiadoras ou inacessíveis para a agricultura convencional. Sua principal vantagem é a otimização do uso do espaço, resultando em uma produtividade significativamente maior por unidade de área (SCHNEIDER et al., 2021).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE JÚNIOR, J. E.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, M. R. e Q. A.; XAVIER, J. F.; MONTEIRO FILHO, A. F. Qualidade de águas residuárias e salobra utilizadas no cultivo hidropônico de três cultivares de alface crespa. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n.2, p.19-24, 2016.

AL-KARAKI, G. Utilization of treated sewage wastewater for green forage production in a hydroponic system. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.23, n.1, p.80-94, 2011.

ALVES, L. S.; DA SILVA, M. G.; GHEYI, H. R.; DA SILVA PAZ, V. P.; SOARES, T. M.; RAFAEL, M. R. S. Uso de águas salobras no cultivo da chicória em condições hidropônicas. **Irriga**, v. 24, n. 4, p. 758-769, 2019.

ALVES, L. S.; GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; SANTOS, A. N.; SILVA, M. G.; BANDEIRA, S. S. Cultivo de manjeriço utilizando efluente doméstico tratado em sistemas hidropônicos sob diferentes espaçamentos entre plantas. **Irriga**, v.24, n.3, p.460–472, 2019.

ARAÚJO, N. C.; GUIMARÃES, P. L. F.; OLIVEIRA, S. J. C.; LIMA, V. L. A.; BANDEIRA, F. de A. Quantificação da geração de resíduos em casas de farinha no estado da Paraíba. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3793-3799, 2014.

BARBOSA, J. L.; LIMÃO, M. A.; MEDEIROS, A. D. S.; PIMENTA, T. A.; GONZAGA, G. Use of hydrogen peroxide for acclimation of sorghum plants to salt stress. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 875-884, 2023.

BARRETO, M. T. L.; MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; DUARTE, A. S.; TAVARES, U. E. Desenvolvimento e acúmulo de macronutrientes em plantas de milho biofertilizadas com manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 487-494, 2014.

BELTRÁN, F. J.; ENCINAR, J.; GONZÁLEZ, J. F. Industrial wastewater advanced oxidation. Part 2. Ozone combined with hydrogen peroxide or UV radiation. **Water Research**, v.31, n.10, p.2415-2428, 1997b.

BELTRÁN, F. J.; GONZÁLEZ, M.; GONZÁLEZ, J. F. Industrial wastewater advanced oxidation. Part 1. UV radiation in the presence and absence of hydrogen peroxide. **Water Research**, v.31, n.10, p.2405-2414, 1997a.

BIDDINGER, E.J. Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorus deficiency. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 2, p. 33033, 1998.

CARMONA, E. G., VALLADARES, C. T. I. The agricultural sustainability of the chinampas in the Valley of Mexico: case Xochimilco. **Revista Mexicana de Agronegocios**, v. 18, n. 34, p. 699-709, 2014.

COCK, J. H. **Cassava: new potential for a neglected crop**. CRC Press, p. 206. 2019.

COSTA, A. G. **Caracterização da manipueira e sua utilização para a produção do coentro 'verdão' e da pimenta 'biquinho'**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA, p. 141. 2020.

COSTA, A. G.; SOUZA, L. S.; COVA, A. M. W.; CORREIA, M. R. S. Produção de coentro em resposta a diferentes doses de água residuária da mandioca. **Revista Agroecossistemas**, v.13, n.1, p.145-162, 2021.

CESCONETTO NETO. G., **Decomposição de fenol de efluentes da indústria de papel e celulose por fotocatalise heterogenia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CIFUENTES-TORRES, L.; MENDOZA-ESPINOSA, L. G.; CORREA-REYES, G.; DAESSLÉ, L. W. Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. **Water and Environment Journal**, v.35, n.1, p.166-180, 2021.

CUNHA, A. H. N. **Cultivo de tomate sweet grape em hidroponia com diferentes substratos utilizando água residuária**. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - *Campus Central* - Sede: Anápolis – CET, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2012.

DOMÈNECH, X.; JARDIM, W. F.; LITTER, M. I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. **In: Eliminación de Contaminantes por Fotocatalisis Heterogénea**, cap. 1, Rede CYTED, La Plata, 2001.

DUARTE, A. D. S.; SILVA, Ê. F. D. F.; ROLIM, M. M.; FERREIRA, R. F. D.; MALHEIROS, S. M.; ALBUQUERQUE, F. D. S. Uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 262-267, 2012.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Strategic environmental assessment: an assessment of the impact of cassava production and processing on the environment and biodiversity**. Roma: FAO, 2001.

FERNANDES, F. D.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VIEIRA, E.A.; FIALHO, J. D. F.; MALAQUIAS, J.V. Produtividade e valor nutricional da parte aérea e das raízes tuberosas de oito genótipos de mandioca da indústria. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, p. 1-12, 2016.

FERNANDES, P. C. L. **Validação e controlo de qualidade do fósforo total em águas residuais: Análise da qualidade da água**. 146 f. Tese (Doutorado em Química Industrial). Universidade da Beira Interior. Covilhã - Portugal. 2015.

FERREIRA, J. R. F.; SILVEIRA, H. F.; MACÊDO, J. J. G.; LIMA, M. B.; CARDOSO, C. E. L. **Cultivo, processamento e uso da mandioca**. Brasília: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2013. 34p.

FERREIRA, W. A.; BOTELHO, S. M.; CARDOSO, E. M. R.; POLTRONIERI, M. C. **Manipueira: um adubo orgânico em potencial**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 25p.

FIORETTO, R. A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: CEREDA, M. P (coord): **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. v. 4. São Paulo: Fundação CARGILL, 2001. p. 67-79.

FURLANI, P. R.; FERNANDEZ JÚNIOR, F. Cultivo hidropônico de morango em ambiente protegido. **Simpósio Nacional do Morango & Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas do MERCOSUL**, v. 2, p. 102-115, 2004.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico. Boletim técnico.1999. 52p.

GAIKWARD, D. J.; MAITRA, S. Hydroponics cultivation of crops. In: MAITRA, S.; GAIKWARD, D. J.; SHANKAR, T. (eds.) Protected cultivation and smart agriculture. New Delhi Publishers, 2020. p. 279–287.

GARCIA, C. A. B.; ANDRADE, A. C. S.; MENEZES, A. L. de.; ANDRADE, T. J.; GRACIA, H. L. Caracterização química do efluente do processamento de mandioca em Sergipe. In: **Safety, Health and Environment World Congress, 14**. p.62-65. 2014.

GONÇALVES, K. S.; SOUZA, R. N.; GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; AZEVEDO NETO, A. D.; SOAR, T. M. Treated domestic effluent as a source of water and nutrients in the hydroponic cultivation of ornamental sunflower. **DYNA (MEDELLÍN)**, v. 87, p. 112-119, 2020.

HUANG, C. P.; DONG, C.; TANG, Z. Advanced chemical oxidation: its present role and potential future in hazardous waste treatment. **Waste Management**, v.13, n.5-7, p.361-377, 1993.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal 2021**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 10 de dez. 2022.

JONES JUNIOR., J. B. Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies. **Journal of Plant Nutrition**, v. 5, n. 8, p. 1003-1030, 1982.

KSIBI, M. Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 119, n. 2-3, p. 161-165, 2006.

LAMO, P. R.; MENEZES, T. J. B. Bioconversão das águas residuais do processamento da mandioca para a produção de biomassa. **ITAL**, v. 10, p. 1 – 14. 1979.

LEE, E.; LEE, H.; KIM, Y. K.; SOHN, K.; LEE, K. Hydrogen peroxide interference in chemical oxygen demand during ozone based advanced oxidation of anaerobically digested livestock wastewater. **International Journal of Environmental Science e Technology**, v.8, n.2, p.381-388, 2011.

LEGRINI, O; OLIVEROS, E.; BRAUN, A. M. Photochemical processes for water treatment. **Chemical Reviews**, v. 93, n. 2, p. 671-698, 1993.

LIED, E. B.; KLEN, M.; VEIT, M. T. Avaliação da eficiência do tratamento de água residuária de fecularia por coagulação/floculação utilizando extrato de moringa

oleifera. **Encontro Brasileiro de Gestão Ambiental, 2. Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. João Pessoa, 2011. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/II-003.pdf>. Acesso: 19 de dez 2022.

MANSILLA, H. D.; YEBER, M. C.; FREER, J.; RODRIGUEZ, J.; BAEZA, J. Homogeneous and heterogeneous advanced oxidation of a bleaching effluent from the pulp and paper industry. **Water Science and Technology**, v.35, n.4, p.273-278, 1997.

MARTINS, P. M. **Aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 109 f. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e meio ambiente). Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual da Paraíba. Teresina – PI. 2011.

MATTOS, P. L. P.; FARIAS, A. R. N.; FERREIRA FILHO, J. R. **Mandioca: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p.6-29.

MELO, V. S. **Eficiência da manipueira como quelatizante de zinco e seu efeito na nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Programa de pós-graduação em agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE, 2010.

MENDONÇA, A. S. A. D. **Avaliação da produção de resíduos da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no município de Garrafão do Norte-Pa**. 56 f. Monografia (Curso de Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço – PA, 2019.

MONTEIRO FILHO, A. F.; PEREIRA, G. L.; AZEVEDO, M. R.; FERNANDES, J. D.; AZEVEDO, C. A. Cultivo hidropônico de cultivares de alface em soluções nutritivas organominerais otimizadas com a ferramenta SOLVER. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 417-424, 2014.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Production and properties of a surfactant obtained from *Bacillus subtilis* grown on cassava wastewater. **Bioresource Technology**, v.97, n.2, p.336-341, 2006.

NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R. A. D.; VILLA, R. D.; OLIVEIRA, M. C. D. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Química Nova**, v. 30, p. 400-408, 2007.

NORMANHA, E. S.; PEREIRA, A. S. Aspectos agronômicos da cultura da mandioca (*Manihot utilissima* Pohl). **Bragantia**, v.10, p.179-202, 1950.

OLIVEIRA, M. A.; REIS, E. M.; NOZAKI, J. Biological treatment of wastewater from the cassava meal Industry. **Environmental Research**, v.85, n.2, p.177-83, 2001.

OTAZÚ, V. **Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía**. LOCAL: International Potato Center, 2010.

OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. **Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 116p.

PAIXÃO e SILVA, A. Aproveitamento sustentável da manipueira. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 5, p. 1013-1019, 2009.

PARIZOTTO, A. A. Minimização de custos econômicos e ambientais pelo uso de lagoas de sedimentação no tratamento de despejos de fecularias. **Revista de Ciências Empresariais da Unipar**, v. 3, n. 2, p. 211 -218, 2002.

PAULUS, D.; PAULUS, E.; NAVA, G. A.; MOURA, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Revista Ceres**, v.59, n.1, p.110-117, 2012.

PÍCCOLO, M. A.; COELHO, F. C.; GRAVINA, G. D. A.; MARCIANO, C. R.; RANGEL, O. J. P. Produção de forragem verde hidropônica de milho, utilizando substratos orgânicos e água residuária de bovinos. **Revista Ceres**, v.60, p.544-551, 2013.

PINTO, P. H. M. **Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

RAMOS, B. L. P.; NASCIMENTO, L. M. G.; MORAES, T. R.; LUZ, Y. D. S., LIMA; M. H. M.; FIGUEIREDO, M. P. D. Composição bromatológica dos fenos de grama estrela, parte área de mandioca e brachiaria MG4 prensado no sudoeste baiano. **Semana de Agronomia da UESB (SEAGRUS)**, v. 1, n. 1, 2017.

RIBAS, M. M. F.; CEREDA, M. P.; VILLAS BOAS, R. L. Use of cassava wastewater treated anaerobically with alkaline agents as fertilizer for maize (*Zea mays* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.53, n.1, p.55-62, 2010.

SANTOS, A. **Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microregião sudoeste da Bahia-Brasil**. Problemas sociales y regionales em América Latina: estudio de casos. Barcelona: Universidad de Barcelona. p. 11-25. 2009.

SANTOS, K. S. **Fotodegradação de espécies cianídricas em água de manipueira com produção simultânea de combustíveis empregando fotocatalisadores do tipo TiO₂. NiO**. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal da Bahia, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - UFBA, 2021.

SCHNEIDER, P.; ROCHELL, V.; PLAT, K.; JAWORSKI, A. Circular approaches in small-scale food production. **Circular Economy and Sustainability**, p. 1-25, 2021.

SHEFFER, C.S.; PEREIRA JÚNIOR, J. S.; MOTTA, C. M.; LIMA, F. M.; DUART, A. M. Desenvolvimento de alface lisa e crespa em sistema hidropônico vertical. **Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI)**, Anais, v. 1, n. 12, p. 1-5, 2019.

SIAHAAN, F. R.; TAMPUBOLON, K.; PARDEDE, E. Agrophysiology, biochemical, and yielding characteristics of Chinese cabbage due to formulations and concentrations of nutrient in hydroponic. **Comunicata Scientiae**, v. 15, e4192-4192, 2024.

SILVA, H. H. B. **Uso do peróxido de hidrogênio na aclimação do manjeriço ao estresse salino**. 79f. Diss. Dissertação [Mestrado em Engenharia Agrícola] - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

SILVA, P. C. C.; DE AZEVEDO NETO, A. D.; GHEYI, H. R.; RIBAS, R. F.; DOS REIS SILVA, C. R.; COVA, A. M. W. Salt-tolerance induced by leaf spraying with H₂O₂ in sunflower is related to the ion homeostasis balance and reduction of oxidative damage. **Heliyon**, v. 6, n. 9, 2020.

SILVA, P. C. C.; GHEYI, H. R.; EVANGELISTA, H. S.; DEUS, K. D. S. D.; AZEVEDO NETO, A. D. D. Hydrogen peroxide (H₂O₂) improves ion homeostasis in coriander plants under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 729-735, 2023.

SILVA, P. C. C.; GHEYI, H. R.; SILVA, M. G.; JESUS, M. J. S.; AZEVEDO NETO, A. D. Use of exploratory analysis for recommendation of seed priming with hydrogen peroxide on lettuce and arugula cultivated with brackish water. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 234, n. 11, p. 668, 2023.

SIVIERO, A; SCHOTT, B. Caracterização botânica e agrônômica da coleção de mandioca da Embrapa Acre. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v.7, p.31-41, 2011.

SOEIRA, T. V. R.; ARAUJO, M. N.; POLETO, C.; REZENDE, E. G. F. D.; CAPP, O. A. P.; FERREIRA, D. C.; GONÇALVES, J. C. D. S. I. Remoção de matéria orgânica natural em águas usando cavitação hidrodinâmica e peróxido de hidrogênio (CH₂H₂O₂). In: **Congresso Internacional de Engenharia Ambiental e 10ª Reunião de Estudos Ambientais, Anais**: volume 5: Fontes de energias renováveis e novas possibilidades de aplicação: sistemas sustentáveis e aplicação prática: sistemas de tratamento de efluentes líquidos e inovação. 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/217119/001118934.pdf?sequence=1>. Acesso: 19 de dez 2022.

SOUZA, A. S. D.; ROCHA JÚNIOR, V. R., MOTA, Á. D. S., ROCHA, W. J. B., OLIVEIRA, C. R., AGUIAR, A. C. R. D., MENDES, G. A. Potencial forrageiro e valor nutricional do feno de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 604-618, 2012.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos. **Caderno Temático**, v.3, p.13-33. 2004.

TIKASZ, P.; MACPHERSON, S.; ADAMCHUK, V.; LEFSRUD, M. Aerated chicken, cow, and turkey manure extracts differentially affect lettuce and kale yield in hydroponics. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, p. 241-252, 2019.

WEATHERBURN, M. W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, v.39, n.8, p.971-974, 1967.

WOSIACKI, G.; CEREDA, M. P. Valorização de resíduos do processamento de mandioca. **Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, v. 8, n. 01, 2002.

CAPÍTULO I

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MANIPUEIRA TRATADA COM H₂O₂
VISANDO SEU USO EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS**

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MANIPUEIRA TRATADA COM H₂O₂ VISANDO SEU USO EM HIDROPONIA

RESUMO: A manipueira é um resíduo líquido gerado durante a prensagem da mandioca, onde se obtém em grandes quantidades e na maioria das vezes seu descarte é feito de forma incorreta sem o devido tratamento. Neste contexto, o objetivo neste trabalho foi avaliar as características físico-química da manipueira antes e após o tratamento com peróxido de hidrogênio (H₂O₂), de forma a verificar se o tratamento produziu efluentes com qualidade adequada para uso no cultivo hidropônico de coentro. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Qualidade de Água do Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em Cruz das Almas, BA, utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 × 2, com cinco concentrações de H₂O₂ - (0; 0,125; 0,250; 0,50 e 1,00 M) e dois tempos de tratamento - (1 e 72 h), com quatro repetições. Os tratamentos com H₂O₂ promoveram redução do pH, da condutividade elétrica (CE), turbidez e da matéria orgânica. Os teores de P e NO₃⁻ diminuíram com o tempo de tratamento e as doses de H₂O₂. A quantidade de NH₄⁺ e a CE aumentaram com o tempo de tratamento. O H₂O₂ residual aumentou com as doses de H₂O₂ e diminuiu com o tempo. Entre as dosagens testadas as que proporcionaram melhores resultados dentro dos padrões desejados foram as, 0,125 e 0,250 M.

Palavras-chave: Peróxido de hidrogênio, Resíduo, Hidroponia, Tratamento de manipueira.

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF 'CASSAVAWATER' TREATED WITH H₂O₂ AIMING ITS USE IN HYDROPONIC

ABSTRACT: 'Cassavawater' is a liquid waste generated during the pressing of cassava, which is obtained in large quantities, and most of the time, its disposal is done improperly without proper treatment. In this context, the objective of present study was to evaluate the physicochemical characteristics of 'cassavawater' through an advanced oxidation process using hydrogen peroxide (H₂O₂). The study was conducted at the Water Quality Laboratory of the Graduate Program in Agricultural Engineering, in Cruz das Almas, BA, using a completely randomized experimental design in a 5 × 2 factorial scheme, with five concentrations of H₂O₂ - (0, 0.125, 0.250, 0.50, and 1.00 M) and two treatment durations - (1 and 72 hours), with four repetitions. The H₂O₂ treatments led to a reduction in pH, electrical conductivity (EC), turbidity, and organic matter. The treatments with H₂O₂ promoted reduction in pH, electrical conductivity – EC (0, 0.125; 0.250; 0.50, and 1M de H₂O₂), turbidity, and organic matter. The H₂O₂ treatments led to a reduction in pH, EC, turbidity, and organic matter. The levels of P and NO₃⁻ decreased with both the treatment duration and the doses of H₂O₂. The content of NH₄⁺ and EC increased with the treatment duration. Residual H₂O₂ increased with higher doses of H₂O₂ and decreased over time. Among the tested dosages, the 0.125 and 0.250 M concentrations provided the results within the desired standards.

Keywords: Hydrogen peroxide, Residue, Hydroponics, Cassava treatment.

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pertencente à família das Euphorbiaceae e seu cultivo ocorre em todo o território nacional, tendo em vista uma grande importância socioeconômica no Brasil (MATTOS et al., 2006).

A produção de mandioca no Brasil em 2022 alcançou 17,7 milhões de toneladas, com um valor de produção de 15,3 milhões de reais e um rendimento médio de 15 toneladas por hectare. O estado do Pará foi o principal produtor, com 4,2 milhões de toneladas. A Bahia, cuja produção atingiu 700 mil toneladas, se destacou com o município de Laje como o maior produtor do estado (IBGE 2022). A atividade de cultivo de mandioca na Bahia é predominantemente realizada por agricultores familiares, sendo sua principal fonte de renda.

No processo de fabricação de farinha e/ou fécula é gerado um resíduo líquido de coloração amarela denominado manipueira (LIED, 2011). Segundo a FAO (2004), a manipueira possui elevada carga orgânica, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) variando entre 5.000 e 50.000 mg L⁻¹ e concentrações altas de cianeto, superiores a 400 mg L⁻¹. Além disso, apresenta uma gama de nutrientes como N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Cu e Fe (RIBAS et al., 2010) considerados essenciais para as plantas.

Diversos autores têm reportado diferentes quantidades de nutrientes presentes na manipueira variando de 41,73 a 11.770 mg L⁻¹ (N), 667 a 1.532,3 mg L⁻¹ (P), 1.780 a 33.080 mg L⁻¹ (K⁺), 85,75 a 4.270 mg L⁻¹ (Ca²⁺) e 353,6 a 7.140 mg L⁻¹ (Mg²⁺) (BARRETO et al., 2014; GARCIA et al., 2014; DANINO, 2020; COSTA, 2020). Desta forma, destacamos a manipueira com alto potencial para ser utilizada como fertilizante para produção vegetal. Em comparação com formulações nutritivas hidropônicas como as de Hoagland e Arnon (1950), Sarruge (1975), Bernardes (1997) e Furlani et al. (1999), alguns elementos na manipueira são até 10 vezes mais concentrados. Isso sugere que a manipueira pode servir como fonte de nutrientes, desde que as concentrações necessárias nas formulações sejam respeitadas.

Os processos oxidativos avançados – (POAs) produzem radicais ([•]OH⁻), espécie altamente oxidante, que em quantidade suficiente provoca a mineralização da matéria orgânica à dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Seu potencial redox é de cerca de 2,8 V, superado apenas pelo flúor (3,03 V) (DOMÈNECH et al., 2001; TEIXEIRA; JARDIM, 2004). O H₂O₂, com potencial redox de 1,8 V, é amplamente usado na indústria têxtil, branqueamento de papel, produção de água potável, remediação ambiental e outras aplicações. (DOMÈNECH et al., 2001;

TEIXEIRA; JARDIM, 2004). A mineralização converte matéria orgânica em nutrientes inorgânicos como CO₂, água e íons, liberando nutrientes ao longo do tempo para plantas e outros organismos (FEITOSA et al., 2015).

Um dos problemas da utilização de águas residuárias na hidroponia deve-se ao efluente apresentar características e concentrações variadas de nutrientes. Com isso, a concentração da solução nutritiva, pH e condutividade elétrica necessitam ser adaptados com intuito de se obter maiores eficiências produtivas das culturas (ALMEIDA, 2020).

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar as características físico-químicas da manipueira após tratamento com H₂O₂ visando seu uso como fertilizante na hidroponia.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios e as análises físico-químicas foram realizados nos Laboratórios do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-BA. O substrato utilizado no experimento foi a manipueira de feccularia, coletada diretamente da prensa de mandioca de uma casa de farinha unifamiliar, localizada na cidade de Cruz das Almas – BA (12° 40' 19" de latitude Sul, 39° 06' 23" de longitude Oeste e altitude de 220 m).

Inicialmente, a manipueira coletada passou por um processo de filtragem utilizando tecido de musseline com porosidade de 0,002 mm, para eliminação de partículas sólidas provenientes do processo de moagem. Posteriormente, a manipueira coletada permaneceu em repouso por um período de 7 dias em temperatura ambiente, para eliminação do excesso de ácido cianídrico (HCN) conforme recomendação de Costa et al. (2021). Passando esse tempo, foi realizado a coleta de uma amostra para caracterização da manipueira antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 4), e, em seguida, foram aplicados os tratamentos com diferentes concentrações de H₂O₂.

O delineamento experimental utilizado no ensaio foi inteiramente casualizados em esquema fatorial 5 × 2, com 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais, consistindo de 5 concentração de H₂O₂ e dois tempos de tratamento (1 e 72 horas).

Durante o tratamento foi utilizado recipiente plásticos de 200 mL no qual foram adicionados 100 mL das soluções de H₂O₂ e 100 mL de manipueira, considerando diferentes dosagens de H₂O₂. Para o monitoramento do desempenho do tratamento, foram coletadas amostras de 20 mL do material em diferentes intervalos de tempo (1 e 72 h). As concentrações de H₂O₂ residual foi medida pelo método da iodometria, (PAIVA, 2009).

Para estabelecer as diferentes concentrações foi realizado a determinação da concentração inicial do H₂O₂ (50%, 200 volumes), utilizando o coeficiente de extinção (absortividade) molar de 36 M⁻¹ cm⁻¹ em espectrofotômetro a 240 nm (HAVIR; MCHALE, 1987). Após esta etapa, foram preparadas soluções com diferentes concentrações de H₂O₂ (0; 0,25; 0,50; 1,0 e 2,0 M). A partir do princípio básico das diluições, as concentrações efetivas de H₂O₂ consideradas para o tratamento da manipueira *in loco* foram equivalentes à metade da concentração das soluções preparadas anteriormente, isto é 0; 0,125; 0,25; 0,5 e 1,0 M. Para o monitoramento

das reações, foram coletadas amostras de 20 mL do material em diferentes intervalos de tempo (1 e 72 h).

Após este processo, a manipueira foi caracterizada pela determinação dos seguintes atributos físico-químicos: condutividade elétrica (CE), turbidez, potencial hidrogeniônico (pH).

Antes do processo de caracterização de nutrientes e de matéria orgânica da manipueira tratada, foi realizada o tratamento para a eliminação do excesso de H_2O_2 , uma vez que, o H_2O_2 atua como um agente interferente nas análises físico-químicas, pela sua ação altamente oxidante. Para essa remoção, as amostras foram tratadas seguindo a recomendação descrita por Wu e Englehardt (2012), modificada, com a aplicação de 20 g L^{-1} de Na_2CO_3 por um período de 24 h.

O teor de matéria orgânica (MO) foi determinado por colorimetria, seguindo a metodologia descrita por Raij et al. (2001). A fim de determinar a capacidade de liberação de nutrientes pós-tratamento com H_2O_2 foram quantificados os teores de nutrientes (N-nitrato, N-amônio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio).

A determinação da concentração de nitrato ($N-NO_3^-$) foi realizada pelo método descrito por Cataldo (1975). O teor de amônio ($N-NH_4^+$) foi determinado seguindo a metodologia de Weatherburn (1967), adaptada por Felker (1977), ambos utilizando o aparelho espectrofotômetro UV-VIS, modelo SF200DM (Bel Equipamentos LTDA, Piracicaba, Brasil). A determinação de $N-NO_3^-$ foi realizada a 410 nm e de $N-NH_4^+$ a 625 nm.

As concentrações de K^+ foram determinadas em fotômetro de chama, modelo Q498M2 (QUIMIS Aparelhos Científicos, Diadema, SP, Brasil), como descrito por Silva et al. (2020). A determinação de P foi realizada seguindo o método do amarelo de molibdo-vanadato de amônio, baseado na formação do vanadomolibdofosfórico, seguindo a metodologia descrita por Fernandes (2015), com pequenas adaptações utilizando espectrofotômetro UV-VIS, modelo SF200DM a 420 nm (Bel Equipamentos LTDA, Piracicaba, Brasil).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente realizado análise de variância pelo teste 'F' em nível de $p \leq 0,05$ e, quando significativo, realizou-se comparação de médias pelo teste de Tukey $p \leq 0,05$, utilizando-se do software estatístico SISVAR – ESAL (FERREIRA, 2019). Foi utilizado o software SigmaPlot® para confecção dos gráficos.

A escolha do tratamento para realizar o experimento 2 (Capítulo 2) levou em consideração o tratamento que reduziu a maior quantidade de matéria orgânica, turbidez, menor concentração de H_2O_2 residual e nutriente em maior concentração.

RESULTADOS

Tabela 4. Caracterização física e química da manipueira coletada em casa de farinha utilizada no experimento.

Variáveis	Unidade	Valores médios
pH	-	4,1
CE	dS m ⁻¹	8,5
Turbidez	NTU	1.888,30
MO	mg L ⁻¹	12.649,60
N-NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	26,6
N-NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	356,8
P	mg L ⁻¹	556,8
K ⁺	mg L ⁻¹	1.865,90
Ca ²⁺	mg L ⁻¹	220
Mg ²⁺	mg L ⁻¹	730

pH- Potencial hidrogênico, CE – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; N-NO₃⁻ - nitrogênio nitrato; N-NH₄⁺ - nitrogênio amoniacal, P- fósforo; K⁺ - potássio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ Magnésio.

Fonte: Elaboração própria (2024).

As doses de H₂O₂ e a duração do tempo de tratamento apresentaram interação significativa ($p \leq 0,05$) para todas as variáveis analisadas (Tabela 5), exceto para a CE, onde verificou efeito isolado tanto para dose como para o tempo de tratamento.

Tabela 5. Resumo da análise de variância (teste F).

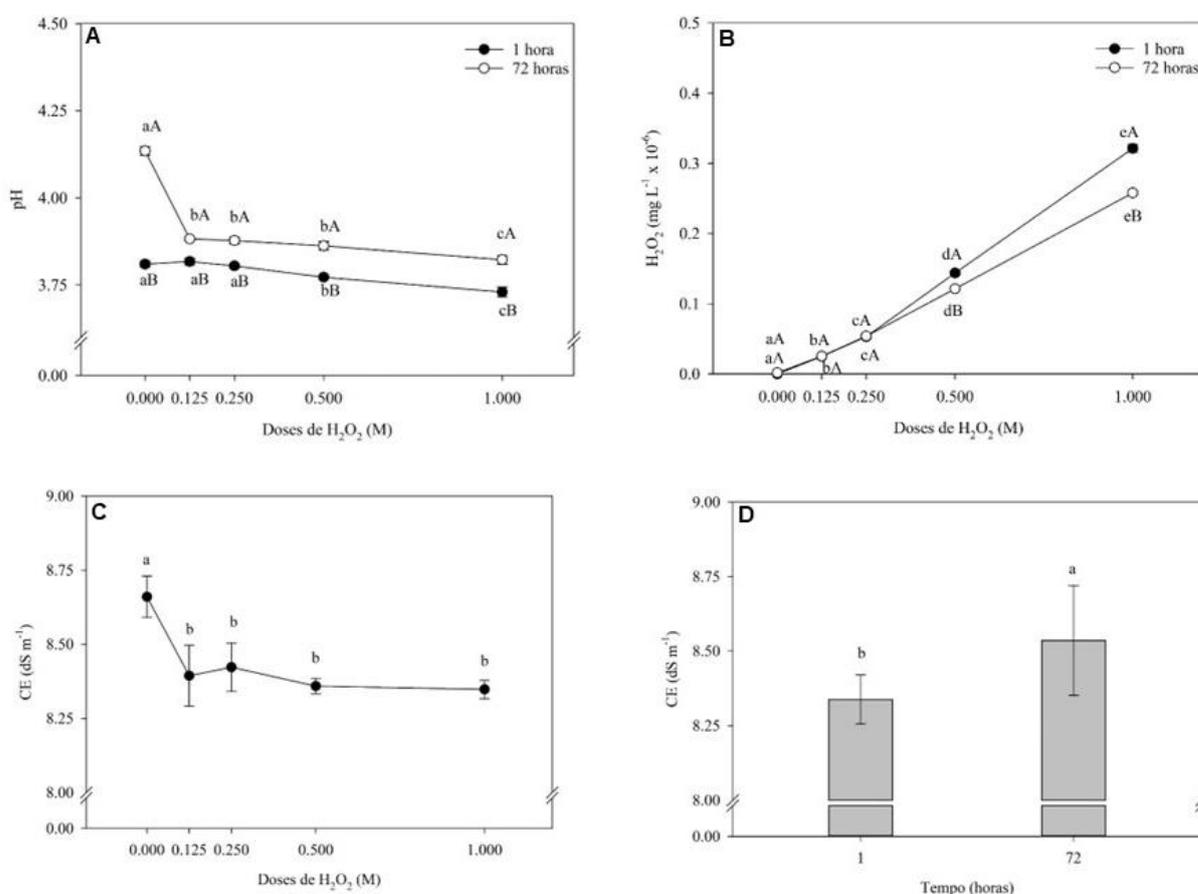
FV	pH	CE	TU	MO	K ⁺	H ₂ O ₂
Dose (D)	**	**	**	**	ns	**
Tempo (T)	**	**	**	**	ns	**
D*T	**	ns	**	**	ns	**
CV (%)	0,26	1,68	5,73	5,01	3,31	4,55
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	-
Dose (D)	**	**	**	ns	ns	-
Tempo (T)	**	**	**	ns	ns	-
D*T	**	**	**	ns	ns	-
CV (%)	10,54	18,18	9,33	23,47	16,15	

FV – Fonte de variação; ** – Significativo pelo teste F ($p \leq 0,01$); CV – Coeficiente de variação; ns – Não significativo pelo teste F. pH (Potencial hidrogênico); CE (condutividade elétrica), turbidez (TU), matéria orgânica (MO), potássio (K⁺), peróxido de hidrogênio residual (H₂O₂), nitrogênio-amoniacal (N-NH₄⁺), nitrogênio-nitrato (N-NO₃⁻), fósforo (P), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺).

Fonte: Elaboração própria (2024)

O pH inicial para ambos os tratamentos foi de 4,1. Para a variável pH com o tempo de 1 h de tratamento, a adição do H_2O_2 reduziu o pH a partir da dose de 0,5 M. Já com o tempo de 72 h de tratamento a redução foi mais abrasiva com a dose de 0,125 M, reduzindo pH em 7,7% em referência ao tratamento controle (sem H_2O_2), e mantendo-se estável até a dose de 0,5 M (Figura. 1A).

Entre os tempos de tratamento 1 e 72 h a maior diferença foi no tratamento controle, ou seja, sem adição de H_2O_2 , onde o pH aumentou de 3,81 no tempo de 1h para 4,135 com 72 h de tratamento, uma diferença, aproximadamente, de 8,0%. Além disso, todas as outras doses de H_2O_2 o tempo de 72 h se manteve com o pH maior que o tempo de 1 h.



As médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si quanto as doses de H_2O_2 ou tempo de tratamento pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As letras maiúsculas iguais para a mesma dose de H_2O_2 não diferem entre si quanto aos tempos de tratamento pelo teste F a 0,05 de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 1. pH (A) e H₂O₂ residual (B) em função da interação entre as doses de H₂O₂ e diferentes tempos de tratamento e efeito isolado de fatores doses de H₂O₂ (C) e tempos de tratamento (D) sobre a condutividade elétrica (CE) da manipueira.

A concentração residual do H₂O₂ foi crescente conforme o aumento das doses de H₂O₂, independente do tempo de tratamento (1 e 72 h), sendo a maior média observada no tratamento de 1 M H₂O₂ sob o tempo de 1 h (Figura. 1B).

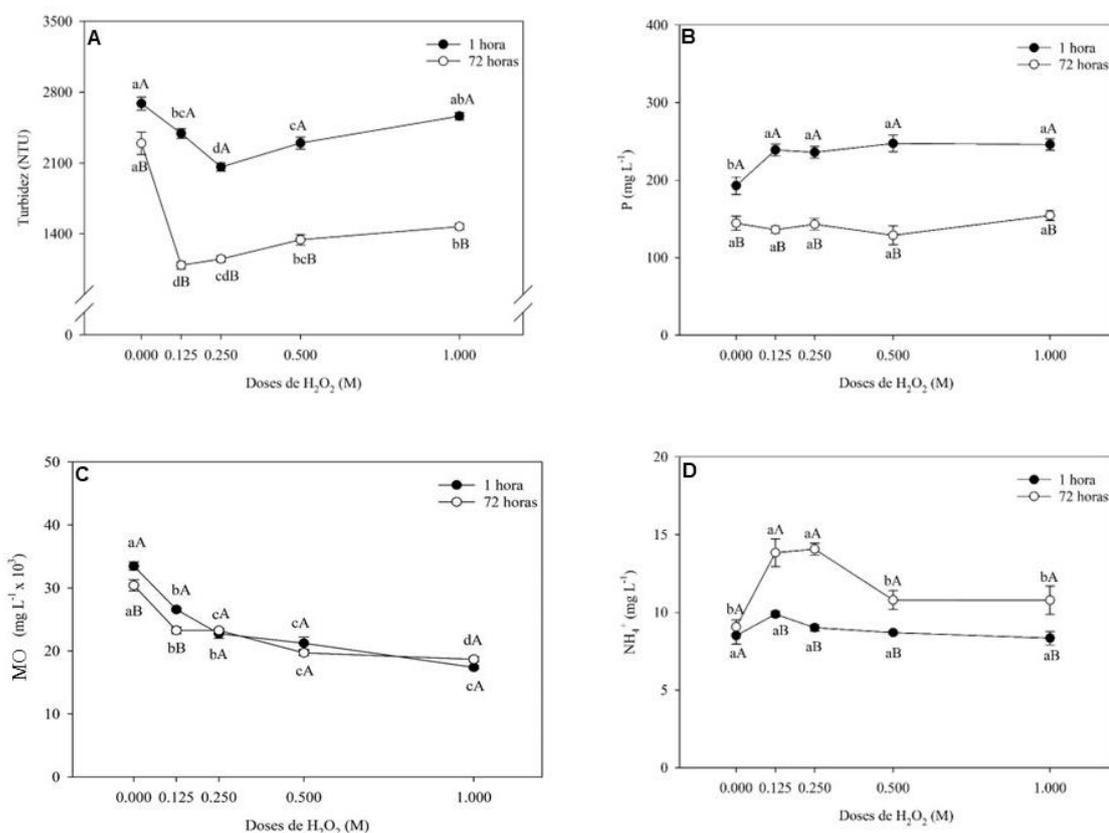
Sob as doses de 0,50 e 1,00 M as concentrações residuais de H₂O₂ reduziram com o tempo de 72 h na ordem de 15,6 e 24,6%, respectivamente, em relação ao tempo de 1 h de tratamento (Figura. 1B).

Os valores de CE reduziram com a adição H₂O₂ até a dose de 0,125 M. Em média, houve uma redução de aproximadamente 3,2%, em relação ao tratamento controle (Figura. 1C).

O tempo de 1 h apresentou condutividade elétrica (CE) média de 8,34 dS m⁻¹, e o tempo de 72 h teve valor médio de 8,53 dS m⁻¹ (Figura. 1D), portanto 2,3% mais elevado.

No período de 1 hora de tratamento, ao aumentar as concentrações de H₂O₂ até 0,250 M, observou-se uma redução de 11% na turbidez com a dose de 0,125 M e de 23,3% com a dose de 0,250 M. Esse comportamento semelhante também foi verificado após 72 horas de tratamento, mas com as concentrações de 0,125 M e 0,250 M apresentando as maiores reduções na turbidez em comparação com a concentração de 1 hora, diminuindo em 52,5% e 49,8%, respectivamente (Figura 2A).

Com relação aos tempos de tratamento, a menor diferença na turbidez foi observada no tratamento controle, uma redução de 14,6% (não significativa) enquanto outras doses apresentaram diferenças significativas sendo a maior diferença observada foi de 54,4% na dose de 0,125 M de H₂O₂ (Figura. 2A).



As médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si quanto as doses de H₂O₂ pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As médias seguidas por letras maiúsculas iguais para a mesma dose de H₂O₂ não diferem entre si quanto aos tempos de tratamento pelo teste F a 0,05 de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 2. Turbidez – NTU (A), teores de fósforo – P (B), matéria orgânica – MO (C) e N - NH₄⁺ da manipueira em função da interação entre as doses de H₂O₂ e diferentes tempos de tratamentos.

Inicialmente com o tempo de 1 h o teor médio de fósforo foi de 192,85 mg L⁻¹ com a dose 0 de H₂O₂, mas com o aumento da dose ocorreu um aumento médio de 20,3% ($p < 0,05$) em relação ao valor inicial e logo se manteve constante até a maior dose de H₂O₂ (1 M). E com 72 h de tratamento os teores de fósforo não se apresentaram diferença significativas ($p > 0,05$) independente das doses de H₂O₂, com valor médio de 141,28 mg L⁻¹ (Figura. 2B).

Com relação aos tempos de tratamento, o tempo inicial de 1 h manteve os teores de fósforo superior ao tempo de 72 h em todas as doses de H₂O₂, sendo a

menor diferença foi no tratamento controle (0 M de H₂O₂) com 25,1% e a maior de 48,0% na dose de 0,5 M (Figura. 2B).

Ambos os tempos de tratamento reduziram o teor de matéria orgânica presente na manipueira (Figura. 2C). Com o tempo de 1 h de tratamento houve redução de 20,6 e 32%, sob as doses de 0,125 e 0,250 M em relação ao tratamento controle (sem H₂O₂), respectivamente, e uma redução de 48% do tratamento controle para a maior dose de H₂O₂ (1 M). Sob o tratamento de 72 h ocorreu diminuição da quantidade de matéria orgânica presente na manipueira de 23,5% para as doses H₂O₂ de 0,125 e 0,250 e de 37% para 0,5 e 1 M, ambos em relação ao controle (Figura. 2C).

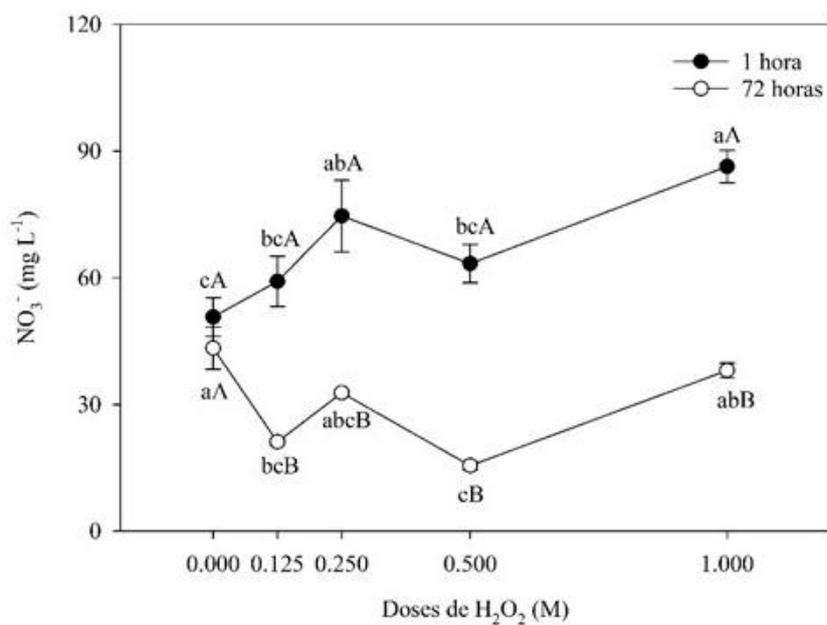
Entre os tempos de tratamento (1 e 72 h) houve redução significativa da matéria orgânica de 9,14% na dose de 0 e de 12,5% sob a dose 0,125 M, outras doses não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura. 2C).

A concentração de N-amôniacal se manteve estável (em média 8,88 mg L⁻¹) sob o tempo de 1 h de tratamento, mesmo com o aumento das doses de H₂O₂ (Figura. 2D). Com 72 h de tratamento ocorreu um aumento no teor de amônio, de 9,06 mg L⁻¹ sob o tratamento sem H₂O₂ para um valor médio de 13,95 mg L⁻¹ nas doses de 0,125 e 0,250 M e logo após um decréscimo médio de 39% nas doses de 0,50 e 1,00 M (Figura. 2D).

Quando comparado os tempos, o tratamento de 72 h obteve os maiores valores de amônio em relação a 1 h de tratamento em todas as doses exceto tratamento controle (Figura. 2D).

Em 1 h de tratamento a quantidade de nitrato aumentou 58,8% de 50,68 mg L⁻¹ para o máximo valor médio de 80,48 mg L⁻¹ com o incremento das doses de H₂O₂. Com tratamento de 72 h, a maior quantidade de nitrato observada foi sob as doses de 0 - controle, com valor médio de 38 mg L⁻¹ não apresentando diferenças em relação ao tratamento de 0,25 e 1,00 M (Figura. 3A).

O tempo de 1 h teve os maiores valores de nitrato quando comparado ao tempo de 72 h exceto no tratamento controle. A maior diferença entre os dois tempos foi de 75,0% na dose de 0,500 M de H₂O₂ (Figura. 3A).



As médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si quanto as doses de H₂O₂ pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As médias seguidas por letras maiúsculas iguais para a mesma dose de H₂O₂ não diferem entre si quanto aos tempos de tratamento pelo teste F a 0,05 de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 3. Teor de N-nitrato (NO₃⁻) da manipueira em função da interação entre as doses de H₂O₂.

DISCUSSÃO

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, verificou-se altos teores de nutrientes na manipueira, o que impede seu uso como solução nutritiva, considerando as recomendações de Hoagland e Arnon (1950); Sarruge (1975); Bernardes (1997); Furlani et al. (1999), sendo assim, fazendo necessário a diluição para ser aproveitado no cultivo hidropônico.

O valor inicial de pH (4,1) foi inferior ao recomendado, pois, segundo Mello e Campagnol (2016), a faixa ideal de pH para a solução nutritiva se encontra entre 5,5 e 6,5. Os mesmos autores afirmam que valores acima ou abaixo do ideal podem afetar drasticamente o desenvolvimento das plantas, causando lesões nas células da raiz e/ou redução na disponibilidade de nutrientes à planta, sendo necessário aplicação de ácidos para diminuir o pH ou bases para aumentar. Neste caso com um pH ácido (4,1), se faz necessário adição de uma base como hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH).

A CE da solução nutritiva apresenta relação direta com a concentração de sais totais da solução nutritiva, sendo que os valores devem ser mantidos dentro das faixas ideais ao longo do ciclo de cultivo de cada cultura (MELLO; CAMPAGNOL, 2016). As faixas ideais de CE variam entre 1,5 a 2,5 dS m⁻¹ (HOAGLAND e ARNON, 1950; SARRUGE, 1975; BERNARDES, 1997; FURLANI et al. 1999). A CE da manipueira verificada foi de 8,5 dS m⁻¹ e após 1 h de tratamento foi de 8,34 e com 72 h de 8,53 dS m⁻¹. Esses valores de CE inviabilizam uso de manipueira sem diluição em cultivo hidropônico.

Quanto as concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, os mesmos apresentaram valores superiores ao recomendado para o preparo de soluções nutritivas, enquanto a recomendação de variam entre 31 e 71, 183 a 269, 142 a 201 e 38 a 49 mg L⁻¹, respectivamente (Hoagland; Arnon, 1950; Sarruge, 1975; Bernardes, 1997; Furlani et al., 1999).

No entanto, durante o preparo da solução nutritiva com a manipueira deve-se considerar todos os nutrientes, a condutividade elétrica e o pH da solução nutritiva. Estes nutrientes presentes estão em quantidades superiores ao recomendado, o que mostra alto potencial para o seu uso após a diluição.

O nitrato é outro nutriente muito importante no cultivo hidropônico, pois junto com o amônio, constituem as fontes de nitrogênio da solução nutritiva. Observa-se que a manipueira disponibiliza este nutriente em quantidades significativas que podem

chegar a 53,75%, por exemplo da quantidade requerida de nitrato conforme a recomendação de Furlani et al. (1999).

O amônio ficou em quantidades menores que o recomendado para a solução nutritiva por Hoagland e Arnon (1950), Sarruge (1975), Bernardes (1997), Furlani et al. (1999). Apesar de ter ficado abaixo, pode ser complementado com outras fontes minerais de nutrientes.

Levando em consideração a vulnerabilidade e os custos associados aos adubos minerais, a utilização da manipueira tratada pode representar uma economia significativa para o cultivo de hidroponia. Assim, com base nos teores obtidos para a manipueira (Tabela 4) e seguindo as recomendações de soluções nutritivas para hidroponia, principalmente em fertilizantes a base de potássio, fósforo, cálcio e magnésio, que são os nutrientes presentes em maiores concentrações na manipueira.

Portanto, a manipueira pode ser uma alternativa para o preparo de soluções nutritivas por apresentar diferentes nutrientes em elevadas concentrações, possibilitando seu uso como fonte de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas em sistema hidropônico e uma alternativa potencialmente econômica quando comparada aos fertilizantes minerais tradicionais.

Os tratamentos (doses de H_2O_2 e o tempo) promoveram diminuição do pH. O mesmo comportamento foi evidenciado por Guedes (2020) após 72 h, utilizando a dose de 10 mg L^{-1} (H_2O_2) em mesocosmos (dispositivos experimentais que permitem a manipulação e controle de variáveis ambientais, como a vazão de escoamento, a entrada de luz natural e a presença de poluentes na água). Comportamento semelhante foi observado por Crafton et al. (2019), com tratamento usando $6,2 \text{ mg L}^{-1}$ (H_2O_2). No espectro oposto, Ksibi (2006), utilizando processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes domésticos tratados, observou que o tratamento apenas com H_2O_2 na dose de 1 mL L^{-1} , elevou gradativamente os valores de pH com o tempo, indicando que a degradação nesse tipo de material leva a formação de um subproduto básico, como o HCO_3^- . Campos et al. (2006), tratando águas residuais de fecularia por meio de lagoas de estabilização também constataram o aumento do pH durante a sequência de lagoas.

Através de fermentações os microrganismos podem converter carboidratos em ácidos, esse processo ocorre principalmente em meio levemente ácido a neutro (Brasileiro et al., 2001), entre os ácidos pode ser formado ácido acético com consequente redução do pH do meio. Ademais, a adição posterior de peróxido de

hidrogênio pode ter resultado na formação do ácido peracético (Equação. 2) (Santa Bárbara; Miyamaru, 2014), o que também pode ter contribuído para acidificação do meio. Para Hoffmann et al. (1995), a redução do pH é sempre observada em quase todos os tratamentos que utilizam processos oxidativos avançados, indicando que essas técnicas geram ácidos através da degradação da matéria orgânica.



Outro fator, pode ter sido a liberação de CO_2 com uso do H_2O_2 e assim formando ácido carbônico. Neves et al. (2014), por outro lado, afirma que o pH da manipueira aumenta com o tempo prolongado de repouso e que a redução ocorre apenas nos instantes iniciais. O mesmo autor constatou que o pH eleva à medida que o teor de cianeto diminui, o que pode ter ocorrido com o tratamento sem adição de H_2O_2 . Costa (2020) encontrou valores de pH variando entre 4,23 a 6,83, enquanto Danino (2020) obteve pH de 5,83, ambos trabalhando com manipueira.

Com relação ao peróxido residual, notou-se que mesmo após um tempo de 72 h, ainda foram observadas quantidades de peróxido. Resultados esse que corroboram com os obtidos por Ruas (2008), que observou quantidades de peróxido de hidrogênio residual na maior dose utilizada ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2$) variando de 38,6 a 57,4% do valor inicial aplicado. Souza et al. (2019) ao final do experimento utilizando processos oxidativos avançados (UV/ H_2O_2) no tratamento de efluente de lavanderia hospitalar observou-se que após o tratamento, na melhor condição operacional considerada, ainda foram observadas concentrações residuais de H_2O_2 . Já Guedes (2020) relatou a extinção do peróxido de hidrogênio após 72 h. Essas divergências podem ter ocorrido devido as doses de H_2O_2 utilizada por cada autor e o tipo de resíduo utilizado.

A condutividade elétrica (CE) está associada aos íons presentes no líquido e, portanto, indica a quantidade de íons mono e multivalentes nele contidos. (SAMPAIO et al., 2007). A CE é afetada por diversos fatores, incluindo a concentração de sais dissolvidos na solução, a temperatura, e a atividade de microrganismos. No entanto, é possível que tenha ocorrido evaporação ao longo do tempo, o que pode ter aumentado a concentração de íons dissolvidos na manipueira. Além disso, a manipueira contém grandes quantidades de carboidratos, o que pode levar à sua degradação pelos microrganismos

O incremento das doses de H_2O_2 reduziu a CE da manipueira, em consequência a isso pode ter ocorrido a diminuição dos sólidos dissolvidos totais

(TDS) na manipueira. Os TDS estão relacionados a compostos orgânicos e inorgânicos do líquido, e a CE com a presença de compostos inorgânicos, tendo a relação entre eles dependente de cátions e ânions dissolvidos em água de abastecimento ou residuária (Choo-In, 2019).

Foi observado diminuição na turbidez da manipueira com adição de H_2O_2 , principalmente no tempo de 72 h. De acordo com Tomazoni et al. (2005), a turbidez é um fenômeno que ocorre quando a transparência da água é reduzida devido à presença de material em suspensão. Essas partículas refletem a luz, dificultando sua passagem pela solução. A medição da quantidade de luz refletida pelas partículas suspensas fornece uma estimativa da quantidade de sólidos em suspensão na amostra. Isso é importante para monitorar a qualidade da água e garantir que ela esteja dentro dos padrões aceitáveis. A diminuição da turbidez no presente trabalho se deu ao fato do H_2O_2 ser um oxidante forte, que reduziu a quantidade de matérias em suspensão na amostra de manipueira, tanto sob 1 e 72 h de tratamento.

Um estudo realizado por Pinto (2013) avaliou o tratamento da manipueira utilizando processos oxidativos avançados com H_2O_2 , O_3 e UV. Os resultados mostraram que o H_2O_2 foi eficiente na redução da turbidez da manipueira, tanto em meio ácido quanto em meio alcalino. No entanto, o meio ácido apresentou maior eficiência, pois favoreceu a formação de radicais hidroxila. Guedes (2020) analisando a turbidez nos mesocosmos com diferentes doses de peróxido de hidrogênio, notou que a turbidez reduziu 61% com a dose de $10 \text{ mg L}^{-1} H_2O_2$ (0,3M) quando comparado ao tratamento controle, e notando o menor valor de turbidez com 72 h de tratamento.

No instante de 1 h é possível notar um aumento da quantidade de fósforo presente na manipueira. Isso pode ter ocorrido devido ao aumento das doses de H_2O_2 na manipueira e em consequência a oxidação da matéria orgânica presente, o que pode ter deixado o fósforo disponível naquele momento.

O fósforo (P) nas águas residuais pode existir tanto na forma orgânica quanto inorgânica. O fosfato orgânico está associado a moléculas orgânicas, enquanto o fosfato inorgânico se une a elementos inorgânicos e é classificado em ortofosfatos e polifosfatos (GUERRA, 2020). Moravia et al. (2011) notaram remoção de fósforo de 55,86% utilizando POA/Fenton no tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

A redução nos teores de fósforo com maior tempo de tratamento, pode ser devido a oxidação do elemento. Campos et al. (2006) observaram uma redução de

93,5% do teor de fósforo ao final do sistema de lagoa de estabilização, atribuindo esse fato a oxidação do fósforo.

A matéria orgânica presente na manipueira foi reduzida em relação ao controle em ambos os tempos de tratamento. Inicialmente entre os tempos a ação de microrganismos presente na manipueira pode ter causado a decomposição da matéria orgânica no tratamento sem adição de H_2O_2 . A degradação da matéria orgânica na água residuária de café utilizando microrganismos ocorreu diminuição da demanda química de oxigênio (DQO) do efluente variando de 6,69 a 8,8% após 196 h (ALVES et al., 2021). A DQO é um parâmetro global utilizado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, e bastante utilizado no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos, assim a DQO pode ser utilizada, sem maiores problemas, para quantificar diretamente a matéria orgânica oxidável presente. (AQUINO et al., 2006).

O uso apenas de peróxido de hidrogênio é particularmente eficiente para remoção de DQO em efluente doméstico. O valor de DQO diminuiu após 3 h de tratamento, de $322 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ para $44 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (KSIBI, 2006).

Pinto (2013) realizou um estudo que avaliou o tratamento da manipueira utilizando processos oxidativos avançados com H_2O_2 , O_3 e UV. Os resultados mostraram que esses processos promoveram reduções superiores a 50% na matéria orgânica. Isso indica que os processos oxidativos avançados são eficazes na remoção de matéria orgânica da manipueira.

De acordo com Soeira et al. (2020), a remoção de matéria orgânica natural em águas foi avaliada usando cavitação hidrodinâmica e peróxido de hidrogênio. Os resultados mostraram que o uso de peróxido de hidrogênio resultou em uma eficiência de 36,48% na remoção de matéria orgânica em um tempo de tratamento de 15 minutos. Além disso, os autores indicaram que a eficiência de remoção poderia aumentar se o tempo de tratamento fosse superior a 15 minutos.

Dessa forma, os valores divergentes encontrados na literatura para as variáveis analisadas estão associados ao tipo e qualidade da água residuária e ao processo oxidativo utilizado, mostrando que mesmo sendo diferente o material, há efeitos significativos para as variáveis.

O $N-NH_4^+$ é gerado através da degradação da matéria orgânica (RANDALL; TSUI, 2002). Devido ao seu poder de oxidar matéria orgânica, o H_2O_2 reagiu tornando

o N-NH_4^+ prontamente disponível com aplicação de H_2O_2 nas doses de 0,125 e 0,250 M após 72 h de tratamento.

Utilizando o tratamento fotocatalítico ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) no chorume, foi possível observar reduções de nitrogênio amoniacal em torno de 96,91% em 90 minutos de tratamento (BRITO-PELEGRINI et al., 2009). Este resultado diverge do presente estudo, isso deve ter se dado pela diferença no POA utilizado, provavelmente pelo tipo e característica da água residuária utilizada.

Martins (2014) verificou um baixo teor de N-NH_4^+ , o que foi atribuído ao processo de dessorção de amônia. Esse processo ocorre quando o N-NH_4^+ presente na água residuária se converte em amônia gasosa, resultando em uma diminuição da concentração de N-NH_4^+ na solução aquosa. O mesmo autor registrou remoção de 53% da N-NH_4^+ .

Assim como N-NH_4^+ , o nitrato (N-NO_3^-) também está ligado a matéria orgânica. No entanto, a oxidação da matéria orgânica com H_2O_2 , e possivelmente convertendo a nitritos e eventualmente em nitrogênio gasoso, o que fez com que o tempo de 72 h de tratamento obteve as menores quantidades de N-NO_3^- comparado ao tratamento de 1 h.

Brito-Pelegrini et al. (2009) com aplicação de processo fotocatalítico ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) observaram uma redução de 68,26% na concentração de nitrato presente no chorume.

CONCLUSÕES

Os tratamentos 0,125 e 0,250 M de H_2O_2 foram os mais eficientes na redução da turbidez e matéria orgânica da manipueira. Adicionalmente, estas mesmas concentrações também aumentaram a concentração de $N-NH_4^+$ e fósforo.

O uso de H_2O_2 e o tempo de tratamento altera a composição da manipueira, reduzindo os teores dos nutrientes, como nitrato e fósforo, mas do ponto de vista para uso em hidroponia não é ideal.

Os tempos de tratamento (1 e 72 h) foram eficientes na remoção parcial de matéria orgânica presente na manipueira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. M. A. **Reutilização de água residual em sistemas de hidroponia**. 2020. 51f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) -. Universidade Nova de Lisboa. 2020.

ALVES, C. M.; BATISTA, A. G.; SOUZA, M. C. S.; BATISTA, R. L.; PIMENTA, C. J. Degradação da matéria orgânica presente na água residuária do café utilizando microrganismos. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p. 77–81, 2021. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/8973>. Acesso em: 11 set. 2023.

ANNE, I.; FIDALGO, M.L. Diferenciação do funcionamento de dois ecossistemas aquáticos através do uso da análise dos componentes principais. In: CONGRESSO IBÉRICO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DA ÁGUA, Porto, 2000. Disponível em: <http://www.us.es/ciberico/archivos_html/oportotema1.1.htm>. Acesso em: 10 jan. 24.

AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 295-304, 2006.

BARRETO, M. T. L.; MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; DUARTE, A. S.; TAVARES, U. E. Desenvolvimento e acúmulo de macronutrientes em plantas de milho biofertilizadas com manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 487-494, 2014.

BERNARDES, L. J. H. **Hidroponia da alface: uma história de sucesso**. São Paulo: Estação Experimental de Hidroponia "Alface e Cia". p.135. 1997.

BRASILEIRO, L.B.; COLODETTE, J.L.; PILÓ-VELOSO, D. A utilização de perácidos na deslignificação e no branqueamento de polpas celulósicas. **Química Nova**, v. 24, pág. 819-829, 2001.

BRITO-PELEGRINI, N.N.; PATERNIANI, J.E.S.; BROTA, G.A.; SANTOS, I.N.; SILVA, N. B.; PELEGRINI, R.T. Ensaios biológicos com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chumbo tratados por processo fotoquímico. **Minerva**, v.6, no 3, p.219-228, 2009.

CAMPOS, A. T.; DAGA, J.; RODRIGUES, E. E.; FRANZENER, G.; SUGUIY, M. M., SYPPERRECK, V. L. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 235-242, 2006.

CATALDO, D. A.; MAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CHOO-IN, S. The relationship between the total dissolved solids and the conductivity value of drinking water, surface water and wastewater. In: INTERNATIONAL ACADEMIC RESEARCH CONFERENCE, 2019, Amsterdam. **Proceedings...** Amsterdam: ICBTS, p. 11-16. 2019.

COSTA, A. G. **Caracterização da manipueira e sua utilização para a produção do coentro 'Verdão' e da pimenta 'Biquinho'**. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia

Agrícola). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA. 2020.

COSTA, A. G.; SOUZA, L. S.; COVA, A. M. W.; CORREIA, M. R. S. Produção de coentro em resposta a diferentes doses de água residuária da mandioca. **Revista Agroecossistemas**, v.13, n.1, p.145-162, 2021.

CRAFTON, E. A.; CUTRIGHT, T. J.; BISHOP, W. M.; OTT, D. W. Modulating the effect of iron and total organic carbon on the efficiency of a hydrogen peroxide-based algaecide for suppressing cyanobacteria". **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 230, n. 3, p. 1 - 14, 2019.

DANINO, G. S. **Produção de capim-elefante submetido à doses crescentes de manipueira**. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba – RN, 2020.

DOMÈNECH, X.; JARDIM, W. F.; LITTER, M. I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. In: CYTED. **Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea**, v. 2016 2001. p.3-21.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Proceedings of the validation forum on the global cassava development strategy**. Rome: FAO, 2004. 142p.

FEITOSA, M. M.; MARTINS, T. S.; TANIGUCHI, C. A. K.; SOUZA, H. A. Mineralização do carbono de composto de orgânico proveniente de resíduos da produção e abate de pequenos ruminantes em Neossolo Fúlvio. 2015. **Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do solo**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal – RN.

FELKER, P. Microdetermination of nitrogen in seed protein extracts with the salicylate-dichloroisocyanurate color reaction. **Analytical Chemistry**, v.49, n.7, p.1080-1080, 1977.

FERNANDES, F. D.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VIEIRA, E.A.; FIALHO, J.D.F.; MALAQUIAS, J.V. Produtividade e valor nutricional da parte aérea e das raízes tuberosas de oito genótipos de mandioca da indústria. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, p. 1-12, 2016.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA FILHO, J. R.; SILVEIRA, H. F.; MACEDO, J. J. G.; LIMA, M. B.; CARDOSO, C. E. **Cultivo, processamento e uso da mandioca: Instruções práticas**. Brasília, DF: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2013. 34p.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico. Boletim técnico. 1999. 52p.

GARCIA, C. A. B.; ANDRADE, A. C. S.; MENEZES, A. L. de; ANDRADE, T. J.; GARCIA, H. L. Caracterização química do efluente do processamento de mandioca em Sergipe. **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**. 2014. P.62-65.

GUERRA, A. A. A. M. **Remoção de fósforo de águas residuárias utilizando nanoadsorventes core-shell bimagnéticos (CoFe₂O₄@ γ-Fe₂O₃)**. 101f.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília - DF. 2020.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.

HOFFMANN, M. R.; MARTIN, S. T.; CHOI, W.; BAHNEMANN, D. W. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. **Chemical Reviews**, v. 95, n. 1, p. 69-96, 1995.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical transactions of the royal society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, p. 20150202, 2016.

KSIBI, M. Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 119, n. 2-3, p. 161-165, 2006.

LIED, E. B.; KLEN, M.; VEIT, M. T. Avaliação da eficiência do tratamento de água residuária de fecularia por coagulação/floculação utilizando extrato de moringa oleifera. **Encontro Brasileiro de Gestão Ambiental, 2. Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. João Pessoa, 2011. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/II-003.pdf>. Acesso: 19 de dez 2022.

MARTINS, P. M. **Aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 109f, Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual da Paraíba. Teresina – PI. 2011.

MATTOS, P. L. P.; FARIAS, A. R. N.; FERREIRA FILHO, J. R. **Mandioca: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. p.16-29. 2006.

MELLO, S.C.; CAMPAGNOL, R. **Olericultura: cultivo hidropônico**. SENAR, PR – p.84. 2016.

MORAVIA, W. G.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. **Química Nova**, v. 34, p. 1370-1377, 2011.

NEVES, O. S. C.; SOUZA, A. S.; COSTA, M. A.; ALMEIDA, L. S.; VIANA, A. E. S.; NEVES, V. B. F. Persistência do cianeto e estabilização do pH em manipueira. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 1, p. 1274-1284, 2014.

NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R. A. D.; VILLA, R. D.; OLIVEIRA, M. C. D. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Química Nova**, v. 30, p. 400-408, 2007.

PAIVA, F. J. de V. **Redução de carga orgânica recalcitrante de efluente de indústria gráfica por reação de fenton**. 78f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PARIZOTTO, A. A. Minimização de custos econômicos e ambientais pelo uso de lagoas de sedimentação no tratamento de despejos de fecularias. **Revista de Ciências Empresariais da Unipar**, v. 3, n. 2, p.7-16, 2002.

- PINTO, P. H. M. **Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação**. 160f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP. 2013.
- RAIJ, B. V.; ANDRANDE, J. C.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 1.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RANDALL, D. J.; TSUI, T. K. N. Ammonia toxicity in fish. **Marine Pollution Bulletin**, v. 45, n. 1-12, p. 17-23, 2002.
- RIBAS, M. M. F.; CEREDA, M. P.; VILLAS BOAS, R. L. Use of cassava wastewater treated anaerobically with alkaline agents as fertilizer for maize (*Zea mays* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, n. 1, p. 55-62, 2010.
- RUAS, D. B. **Aplicação do processo oxidativo avançado H₂O₂/UV como póstratamento de reator anaeróbio em efluentes de indústrias de celulose kraft branqueada**. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 2008.
- SAMPAIO, S. C., SILVESTRO, M. G., FRIGO, E. P., BORGES, C. M. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Irriga**, v. 12, n. 4, p. 569-574, 2007.
- SANTA BÁRBARA, M. C.; MIYAMARU, L. L. A Estabilidade do Ácido Peracético. **Boletim do Instituto Adolfo Lutz-BIAL**, p. 10-12, 2014.
- SANTOS, A. Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microregião sudoeste da Bahia-Brasil. In: LUZON JL; CARDIM M. (Org.). **Problemas sociales y regionales em América Latina: estudio de casos**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2009. p. 11-25.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.1, n.3, p.231-233, 1975.
- SILVA, P. C. C., DE AZEVEDO NETO, A. D., GHEYI, H. R., RIBAS, R. F., DOS REIS SILVA, C. R., COVA, A. M. W. Salt-tolerance induced by leaf spraying with H₂O₂ in sunflower is related to the ion homeostasis balance and reduction of oxidative damage. **Heliyon**, v. 6, n. 9, p 1-10. 2020.
- SIAHAAN, F. R.; TAMPUBOLON, K.; PARDEDE, E. Agrophysiology, biochemical, and yielding characteristics of Chinese cabbage due to formulations and concentrations of nutrient in hydroponic. **Comunicata Scientiae**, v. 15, p. e4192-e4192, 2024.
- SOEIRA, T. V. R.; ARAUJO, M. N.; POLETO, C.; REZENDE, E. G. F. D.; CAPP, O. A. P.; FERREIRA, D. C.; GONÇALVES, J. C. D. S. I. Remoção de matéria orgânica natural em águas usando cavitação hidrodinâmica e peróxido de hidrogênio (CH₂H₂O₂). In: **Congresso Internacional de Engenharia Ambiental e Reunião de Estudos Ambientais, 10: Anais ...** 2020.volume 5: Fontes de energias renováveis e novas possibilidades de aplicação: sistemas sustentáveis e aplicação prática: sistemas de tratamento de efluentes líquidos e inovação. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/217119/001118934.pdf?sequence=1>. Acesso: 19 de dez 2022.

SOUZA, R. C.; SILVA, T. L. D.; SANTOS, A. Z. D.; TAVARES, C. R. G. Tratamento de efluentes de lavanderia hospitalar por processo oxidativo avançado: UV/H₂O₂. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 601-611, 2019.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. de F. Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos. **Caderno Temático**, v.3, p.13-33. 2004.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. Turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos Rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau Sudoeste do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 57, p. 49-56, 2005.

USP Technologies. **Hydrogen peroxide is a powerful oxidizer**. [s.d]. Disponível: Hydrogen peroxide is a powerful oxidizer | USP Technologies (H₂O₂.com). Acesso em: 10 de dez 2022.

WU, T.; ENGLEHARDT, J. D. A new method for removal of hydrogen peroxide interference in the analysis of chemical oxygen demand. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 4, p. 2291-2298, 2012.

CAPÍTULO II

**DESEMPENHO NUTRICIONAL, BIOQUÍMICO E PRODUÇÃO DE COENTRO EM
SISTEMA AEROPÔNICO VERTICAL COM MANIPUEIRA**

DESEMPENHO NUTRICIONAL, BIOQUÍMICO E PRODUÇÃO DE COENTRO EM SISTEMA AEROPÔNICO VERTICAL UTILIZANDO MANIPUEIRA

RESUMO: A manipueira é um resíduo do processamento da mandioca, que na maioria das vezes, é descartado de forma inadequada. O uso desse rejeito como suplementação nutricional pode ser uma alternativa viável em sistemas hidropônicos. Contudo, a manipueira tem alto teor de matéria orgânica e, a mineralização da mesma pode ser uma alternativa para a disponibilidade de alguns nutrientes para os cultivos. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso da manipueira tratada com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em sistema de aeroponia vertical sobre os parâmetros nutricionais, bioquímicos e produção de coentro cv. 'Verdão'. O experimento foi realizado na área experimental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Um delineamento experimental em blocos casualizados com 11 tratamentos e três repetições foi usado. A altura da planta, massa fresca e seca da parte aérea, teor de nitrogênio, fósforo, potássio, clorofila a e b, carotenoides, carboidratos, proteínas, aminoácidos livres e prolina foram avaliados. O uso da manipueira tratada com H_2O_2 diminuiu os teores de pigmentos fotossintéticos. Os teores de solutos orgânicos e inorgânicos variaram de acordo aos tratamentos. Com exceção do tratamento controle, o crescimento e produção do coentro 'Verdão' foram maiores com a aplicação de 50% da necessidade de K^+ com manipueira não tratada. O tratamento com H_2O_2 não é uma alternativa viável para a disponibilidade de K de manipueira para o cultivo hidropônico de coentro. A adição de 50% da dose recomendada de K^+ com a manipueira é uma alternativa para melhorar o crescimento e produção de coentro 'Verdão' cultivado em sistema aeroponia vertical.

Palavras chaves: Hidroponia vertical, Solução organomineral, *Coriandrum sativum*

NUTRITIONAL, BIOCHEMICAL PERFORMANCE AND PRODUCTION OF CORIANDER IN A VERTICAL AEROPONIC SYSTEM USING CASSAVA WASTEWATER

ABSTRACT: Cassava wastewater is a byproduct of cassava processing, which is often improperly discarded. Using this waste as a nutritional supplement can be a viable alternative in hydroponic systems. However, cassava wastewater has a high organic matter content, and its mineralization can be an alternative for the availability of some nutrients to plants. Therefore, the objective of this study was to evaluate the use of cassava wastewater treated with hydrogen peroxide (H_2O_2) in a vertical aeroponic system on the nutritional, biochemical parameters, and yield of coriander cv. 'Verdão'. The experiment was conducted in the experimental area of the Graduate Program in Agricultural Engineering at the Federal University of Recôncavo da Bahia. A randomized block design with 11 treatments and three replications was used. The plant height, fresh and dry mass of the aerial parts, nitrogen, phosphorus, potassium content, chlorophyll a and b, carotenoids, carbohydrates, proteins, free amino acids, and proline were evaluated. The treatment of manipueira with H_2O_2 decreased the levels of photosynthetic pigments. The levels of organic and inorganic solutes varied according to the treatments. With the exception of the control treatment, the growth and yield of coriander 'Verdão' was higher with the application of 50% plant requirement of K^+ with untreated cassava wastewater. The treatment with H_2O_2 is not a viable alternative for the availability of K^+ from cassava wastewater for vertical aeroponic cultivation. The addition of 50% of the recommended K^+ dose with cassava wastewater is an alternative to improve the growth and yield of coriander 'Verdão' grown in a vertical hydroponic system.

Keywords: Vertical hydroponics, Organomineral solution, *Coriandrum sativum* L.

INTRODUÇÃO

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma hortaliça folhosa cultivada amplamente no Brasil, o que a torna uma cultura de grande importância socioeconômica (PEREIRA et al., 2005). Ela é cultivada por muitos agricultores familiares, conferindo-lhe grande relevância econômica e nutricional nessas áreas. Rica em vitaminas A, B1, B2 e C, além de ferro e cálcio, o coentro se desenvolve melhor em climas quentes e é sensível às baixas temperaturas (MELO et al., 2018).

A hidroponia é um termo que se refere à prática de cultivar plantas sem solo, sendo uma técnica com potencial significativo para a utilização de águas residuárias. Esta técnica é eficaz devido apenas ao sistema radicular da planta entrar em contato direto com a água (CUBA et al., 2015). Os sistemas hidropônicos e convencionais utilizam fertilizantes minerais que vêm de fontes limitadas. Alguns desses fertilizantes são extraídos de minas, como é o caso do fósforo e do potássio, enquanto outros são derivados do petróleo (OLIVEIRA FILHO et al., 2020).

O uso de água residuária tratada na hidroponia vem sendo estudada nos últimos anos, proporcionando bons resultados. Dentre estes, o cultivo de tomate 'Sweet Grape' utilizando efluente de esgoto tratado e enriquecido com fertilizantes convencionais (CUNHA, 2012); cultivo de girassol ornamental em sistema hidropônico utilizando efluente doméstico tratado como fonte suplementar de nutrientes (Souza et al., 2018); manjerição em sistemas hidropônicos usando efluente doméstico tratado (ALVES et al., 2019); e girassol ornamental em sistema hidropônico (GONÇALVES et al., 2020). No entanto, não são encontrados trabalhos com o uso da manipueira na hidroponia. Além do uso de água residuária tratada, alguns autores investigaram a utilização de soluções orgânicas e/ou organominerais no cultivo de alface (MONTEIRO FILHO et al. (2014), CUBA et al., (2015), couve e alface (TIKASZ et al., 2019), e couve-chinesa (SIAHAAN et al., 2024).

A manipueira é um líquido de coloração amarela resultante da prensagem da mandioca ralada. Este líquido tem uma grande diversidade de nutrientes na sua composição, desde os macros a micronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cobre, zinco, manganês (LIED et al., 2011; DUARTE et al. 2012; COSTA, 2020), considerado essenciais para a produção vegetal. No entanto, devido à disposição dos produtores e processadores de mandioca, falta de estruturas de aproveitamento e a falta de conhecimento do seu potencial de uso, é comum o descarte desse resíduo ser jogado diretamente em corpos d'água e no ambiente ao

redor, formando enorme lagoas e problemas ao meio ambiente a saúde pública (SANTOS, 2009). A manipueira possui diversos nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, facilidade de obtenção e baixo custo, logo, a sua utilização como fertilizante pode ser uma alternativa na hidroponia para a diminuição dos gastos com a aquisição de fertilizantes minerais.

O emprego da manipueira como adubo no solo tem sido objeto de extensas pesquisas por vários estudiosos, os quais têm relatado resultados promissores em seus estudos. Por exemplo, Duarte et al. (2012) observaram benefícios significativos no cultivo de alface; Costa (2020) relatou melhorias notáveis no cultivo de coentro e pimenta biquinho; e mais recentemente, Gonçalves et al. (2024) constataram avanços positivos no cultivo do abacaxizeiro 'BRS Imperial', ambos em sistemas convencionas de cultivo, mostrando potencial da manipueira como fertilizante. No entanto, não são encontradas pesquisas relacionadas ao uso da manipueira na hidroponia, visto seus benefícios a diversas culturas como fonte de fertilizante.

Entre as estratégias para mitigar os impactos adversos do resíduo de manipueira no meio ambiente, têm sido empregados na agricultura para reforçar um aporte nutricional em plantas. Dentro alguns produtos, os processos oxidativos avançados (POAs), com o uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) vem se destacando devido ao seu alto potencial redox (1,8 V) capaz de reduzir matéria orgânica a CO_2 , água e íons inorgânicos (DOMÈNECH et al., 2001; TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Portanto, objetivou-se avaliar o uso da manipueira em sistema hidropônico sobre os parâmetros nutricionais, bioquímicos e produção na cultura do coentro cv. 'Verdão'.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de 02 de maio à 04 junho de 2024 sob condições de casa de vegetação, na área experimental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pertencente à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de Cruz das Almas – BA, Brasil (12° 40' 19" S, 39° 06' 23" W, com altitude de 220 m). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o município de Cruz das Almas tem clima classificado como tropical úmido (Am) com precipitação ocorrendo praticamente em todos os meses, tendo média anual de 1224 mm, sendo maior incidência de chuvas entre março e junho (ALVARES et al., 2013). A casa de vegetação utilizada é formada por um arco simples, instalada no sentido Leste-Oeste, pé direito de 3 m, largura de 7 m e comprimento de 28 m (196 m²), laterais revestidas com tela com sombrite 50% e coberta por filme transparente de polietileno de 150 µm de espessura e proteção UV (Figura 4).



Fonte: Acervo do autor, 2024.

Figura 4. Estrutura utilizada para condução do experimento.

Delineamento experimental

Um delineamento experimental em blocos casualizados 11 tratamentos e três repetições foi usado. Os tratamentos foram: 0 (controle) – solução nutritiva de Furlani et al. (1999); 50 e 100% da necessidade do nutriente potássio substituído pela manipueira tratada com H₂O₂ (MT) e não tratada (MNT) com suplementação adubação mineral baseado nas diluições necessárias para alcançar os tratamentos. Além desses, foi utilizado tratamento utilizando 100% da MT e 100% da MNT sem suplementação de adubação mineral e outro tratamento baseado na média das cinco análises de amostras de manipueira coletadas anteriormente em diferentes períodos na casa de farinha com suplementação adubação mineral (Tabela 6).

Tabela 6. Detalhes dos tratamentos estudados utilizando manipueira como fonte de K⁺ em sistema hidropônico.

Tratamento	Fertilizantes	Manipueira
T1	Furlani (1999)	-
T2	100% K ⁺	MT + AM
T3	50% K ⁺	MT + AM
T4	100% K ⁺	MNT + AM
T5	50% K ⁺	MNT + AM
T6	100% K ⁺	MT
T7	100% K ⁺	MNT
T8	100% K ⁺	μMT + AM
T9	50 % K ⁺	μMT + AM
T10	100% K ⁺	μ MNT + AM
T11	50% K ⁺	μ MNT + AM

MT – Manipueira tratada com H₂O₂; MNT – Manipueira não tratada; μMT – Média de cinco análises de amostras de manipueira coletadas anteriormente em diferentes períodos na casa de farinha (manipueiras tratadas); μMNT – Médias de cinco análises de amostras de manipueira coletadas anteriormente em diferentes períodos na casa de farinha (manipueiras não tratadas); AM – Adubação mineral (suplementação). K⁺ – Potássio.

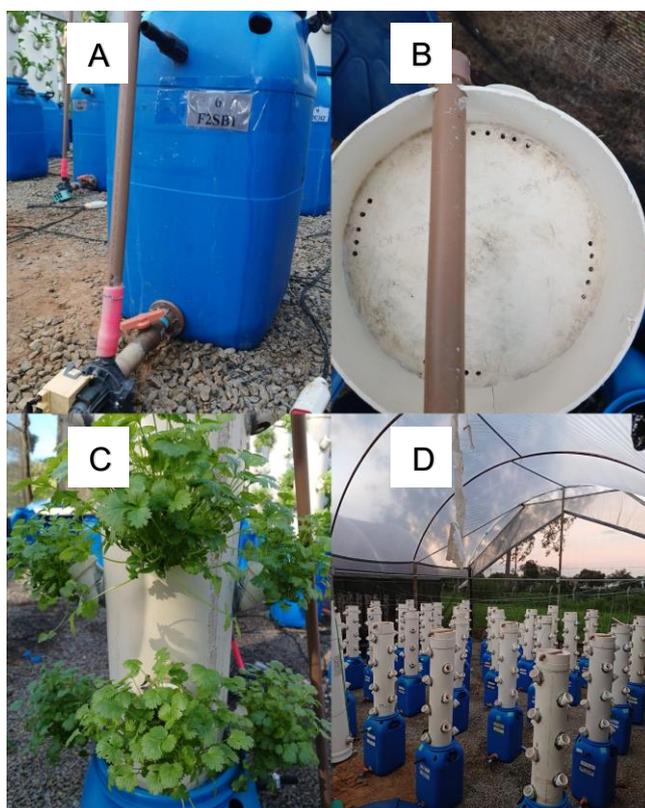
Fonte: Elaboração própria (2024).

Descrição do experimento

A estrutura de cultivo consistiu em 33 torres de cultivo vertical construídas a partir de tubos de PVC de 0,20 m de diâmetro de cor branca. Para auxiliar a marcação dos furos, foi feito um gabarito cilíndrico utilizado de tal forma que revestiu externamente a tubo PVC, e separou a superfície cilíndrica do tubo em quatro faces, de modo que as faces opostas tinham o mesmo número de orifícios, com duas delas

contendo quatro cada e outras duas com três orifícios, perfazendo o total de 14 orifícios para alocação das plântulas, espaçados em 0,25 m entre si ao longo das linhas das faces. Após as demarcações dos orifícios, com auxílio de uma furadeira e uma serra copo de 51 mm foram abertos os orifícios onde inseriu-se suportes para sustentação da planta em ângulo de 45°.

O sistema de cultivo aeropônico vertical foi constituído dos seguintes componentes: uma torre de 1,20 m de altura, com 1,0 m útil, e 0,20 m inserido na base de sustentação (para melhor estabilidade da estrutura); reservatório de solução nutritiva com capacidade para 40 L e eletrobomba (32 W) para elevar a solução até a parte superior da torre, de modo que a solução retornasse ao reservatório pelo interior do tubo irrigando as raízes das plantas (Figura 5).



Fonte: Acervo do autor, 2024.

Figura 5. Detalhamento do sistema aeropônico vertical: reservatório de solução nutritiva + eletrobomba (A), sistema de injeção e descida da solução nutritiva (B), orifícios com as plantas de coentro (C), sistema aeropônico dispostos dentro da casa de vegetação (D).

A distribuição da solução nutritiva para as plantas alocadas nos orifícios da torre foi feita com o transporte da solução do reservatório pela eletrobomba (32 W) conectada a uma tubulação de 20 mm de diâmetro até a parte superior da estrutura onde se localiza 20 furos (5 por linha) por onde ocorre a distribuição da solução nutritiva irrigando as raízes das plantas (Figura 5B). Na casa de vegetação, as torres foram distribuídas em quatro linhas horizontais (no sentido da largura da casa de vegetação), totalizando 33 unidades experimentais.

Semeadura

As sementes de coentro foram semeadas em copos descartáveis de 80 mL utilizando fibra de coco como substrato e levadas ao sistema 10 dias após a semeadura (DAS), deixando apenas 30 plantas por copo em cada orifício.

Coleta, análise da manipueira e formulação dos tratamentos

A coleta da manipueira foi realizada em uma casa de farinha da zona rural de Cruz das Almas - BA. Inicialmente, a manipueira passou por um processo de filtragem utilizando tecido de musseline com porosidade de 0,002 mm, para eliminação de partículas sólidas provenientes do processo de moagem. Posteriormente, a manipueira coletada permaneceu em repouso por um período de 7 dias em temperatura ambiente, para eliminação do excesso de ácido cianídrico (HCN), conforme recomendação de Costa et al. (2021). Uma amostra foi coletada para caracterização física e química da manipueira antes da aplicação dos tratamentos e depois do tratamento, para calcular a necessidade de complementação com fertilizantes minerais.

Amostras da manipueira tratada e não tratada com H_2O_2 foram coletadas e enviadas para o Laboratório de Qualidade de Água da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - UFRB para análise dos parâmetros físico-químicos: pH, turbidez (TU), condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO), nitrato ($N-NO_3^-$), amônio ($N-NH_4^+$), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Os resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros físicos e químicos da manipueira tratada com H_2O_2 (MT) e não tratada (MNT), com a dose 0,125 M de H_2O_2 em um tempo de 1 h, utilizada neste experimento.

Variáveis	Unidade	MNT	MT
CE	dS m ⁻¹	12,06	11,64
pH	-	3,97	3,88
TU	NTU	4573,3	2466,6
MO	mg L ⁻¹	25785,80	19684,29
N-NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	11,20	30,10
N-NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	72,37	35,20
P	mg L ⁻¹	304,30	108,13
K ⁺	mg L ⁻¹	5530,00	5954,00
Ca ²⁺	mg L ⁻¹	460,00	366,00
Mg ²⁺	mg L ⁻¹	453,20	263,60

CE - Condutividade Elétrica, pH - Potencial Hidrogeniônico, TU - Turbidez, MO - Matéria Orgânica, NH₄⁺ - Amônio, NO₃⁻ - Nitrato, P - Fósforo, K⁺ - Potássio, Ca²⁺ - Cálcio e Mg²⁺ - Magnésio.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Baseado na dose recomendada do nutriente em maior concentração na manipueira (K⁺) referente à solução de Furlani et al. (1999), foram estabelecidos os tratamentos variando a concentração percentual (100 e 50%) deste nutriente. Nesse caso, o nutriente em maior concentração foi o K⁺, sendo a manipueira diluída 32,5x para a tratada e 30,2x para não tratada, chegando à concentração de 183 mg L⁻¹ do potássio recomendado conforme a solução de Furlani et al. (1999). Sendo assim, os valores nutricionais após diluição para alcançar a concentração desejada e cada tratamento são apresentados na Tabela 8. Após a diluição, os nutrientes que apresentaram concentrações inferiores aos recomendados por Furlani et al (1999), foram suplementados com fertilizantes minerais até atingir a recomendação. Na Tabela 8 é apresentando um comparativo entre a recomendação de alguns nutrientes entre a solução recomendada por Furlani et al. (1999) e os nutrientes analisados na manipueira antes da diluição.

Tabela 8. Comparação da concentração de nutrientes (mg L⁻¹) na solução nutritiva conforme Furlani et al. (1999), manipueira tratada com H₂O₂ (MT) e não tratada (MNT).

Nutriente	Furlani et al. (1999)	MT	MNT
		mg L ⁻¹	
N-NO ₃ ⁻	174	35,20	72,37
N-NH ₄ ⁺	24	3,10	11,20
P	39	108,13	304,30
K ⁺	183	5954,00	5530,00

Ca ²⁺	142	366,00	460,00
Mg ²⁺	38	263,60	453,20

NH₄⁺ - Amônio, NO₃⁻ - Nitrato, P - Fósforo, K⁺ - Potássio, Ca²⁺ - Cálcio e Mg²⁺ - Magnésio.
Fonte: Elaboração própria (2024).

A solução nutritiva padrão seguiu a recomendação de Furlani et al. (1999) para o cultivo de hortaliças folhosas, sendo de: N-NO₃⁻ = 174; N-NH₄⁺ = 24; P = 39; K = 183; Ca = 142; Mg = 38; S = 52; B = 0,3; Cu 0,02; Fe = 2; Mo = 0,06; Zn = 0,06; Mn = 0,4 e Cl = 0,6 mg L⁻¹. Durante a aplicação dos tratamentos, tanto o nutriente selecionado como os demais nutrientes receberam a adição de seus respectivos sais para atender à necessidade nutricional, recomendada na solução nutritiva de Furlani et al. (1999) (Tabela 9).

Tabela 9. pH e condutividade elétrica (CE) dos tratamentos após diluição e adição de fertilizantes.

Tratamento	pH	CE (dS m ⁻¹)
T1	6,34	2,19
T2	7,23	2,24
T3	7,21	2,25
T4	5,90	1,99
T5	5,40	1,84
T6	7,21	1,40
T7	7,16	0,90
T8	7,57	2,29
T9	7,88	2,06
T10	7,60	1,94
T11	7,53	1,62

Fonte: Elaboração própria (2024)

No intuito de manter o meio de cultivo favorável ao desenvolvimento das plantas no sistema hidropônico, a faixa ideal de pH para a solução nutritiva se encontra entre 5,5 e 6,5 (Mello e Campagnol, 2016). Ácido clorídrico (HCl) foi usado para reduzir o pH e hidróxido de potássio (KOH) para aumentar o pH para a faixa ideal de cultivo. Durante o experimento, a reposição da água consumida pelas plantas de coentro foi realizada com água de abastecimento municipal (0,4 dS m⁻¹).

Análises das plantas de coentro

Devido as plantas já apresentarem padrão comercial, as análises nutricionais das plantas foram realizadas aos 22 dias após os transplântio (DAT). Os seguintes parâmetros foram analisados: nitrogênio (N, mg g⁻¹ MS), fósforo (P, mg g⁻¹ MS), potássio (K⁺, mg g⁻¹ MS), clorofila *a* (Cl *a*, mg g⁻¹ MS), clorofila *b* (Cl *b*, mg g⁻¹ MS), proteínas solúveis (PS, mg g⁻¹ MS), prolina livre (PL, μmol g⁻¹ MS), carboidratos solúveis (CH, μmol g⁻¹ MS) e aminoácido (AA, μmol g⁻¹ MS) foram realizadas.

Ao final do experimento (22 DAT), as plantas foram colhidas para determinação da massa fresca da parte aérea (MFPA, g por maço). O material foi seco em estufa a 65 °C por 72 horas (até obter massa constante) e pesadas em balança de precisão para quantificar a massa seca da parte aérea (MSPA, g por maço) e altura da planta (AP, cm).

Para a determinação de potássio (K⁺), extratos de amostras de folhas foram preparados em água deionizada, seguindo a metodologia descrito por Azevedo Neto et al. (2020). Para isso, 0,1 g de amostra de planta em pó seca em estufa foi adicionado em 10 mL de água deionizada. Os tubos foram aquecidos a 95 °C em banho-maria por uma hora e, em seguida, centrifugado a 5.000 x g por 5 min. Os sobrenadantes foram filtrados em papel filtro quantitativo. Os teores de K⁺ foram determinados por fotometria de chama (modelo Q498M2, QUIMIS Aparelhos Científicos, Diadema, SP, BR), como descrito por Faithfull (2002).

Para a determinação dos teores de N e P, 0,1 g de material vegetal seco e triturado em moinho foi digerido em solução de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) e H₂O₂ a 30% (JONES JÚNIOR, 2001). O material, após a digestão, foi diluído em 100 mL de água deionizada. O N e o P foram determinados pelos métodos espectrofotométricos do fenol-hipoclorito e do molibdato-vanadato, respectivamente (WEATHERBURN, 1967; FELKER, 1977; FAITHFULL, 2002).

Para as determinações de solutos orgânicos, o extrato foi obtido macerando-se 200 mg de tecidos liofilizados de folhas, com 6 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH 7,0), contendo EDTA 0,1 mM. O extrato foi filtrado em tecido de náilon de malha fina e centrifugado a 12.000 x g por 15 min. O sobrenadante foi armazenado em ultrafreezer e utilizado para as determinações de carboidratos solúveis, prolina livre, aminoácidos livres e proteínas solúveis. O teor de carboidratos solúveis foi determinado por espectrofotometria a 490 nm pelo método do fenol-ácido sulfúrico,

utilizando-se a D-(+)-glucose como padrão (DUBOIS et al., 1956). A prolina livre foi determinada por espectrofotometria a 520 nm, utilizando-se a ninhidrina como reagente específico e a prolina pura como padrão (BATES et al., 1973). Os aminoácidos livres totais foram determinados por espectrofotometria a 570 nm pelo método da ninhidrina, utilizando-se a L-leucina pura como padrão (YEMM; COCKING, 1955). As proteínas solúveis foram determinadas por espectrofotometria a 595 nm pelo método de ligação ao corante, utilizando-se como padrão a albumina de soro bovino (BRADFORD, 1976).

Os teores de clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b) e carotenóides (Car) (Equação. 1, 2 e 3) foram determinados por espectrofotometria a 664,1, 648,6 e 470 nm, em extrato etanólico a 95%, conforme metodologia descrita por Lichtenthaler e Buschmann (2001), utilizando as fórmulas:

$$\text{Cl a } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 13,36 \times A_{664,1} - 5,19 \times A_{648,6} \quad (1)$$

$$\text{Cl b } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 27,43 \times A_{648,6} - 8,12 \times A_{664,1} \quad (2)$$

$$\text{Car } (\mu\text{g mL}^{-1}) = (1000 \times A_{470} - 2,13 \times \text{Cl a} - 97,64 \times \text{Cl b}) / 209 \quad (3).$$

A partir dos resultados, foi utilizado a massa seca da amostra para conversão dos valores de $\mu\text{g mL}^{-1}$ para mg g^{-1} de massa seca (MS).

Os resultados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, foram submetidos ao teste de médias (Scott-Knott a 0,05 da probabilidade), utilizando o programa estatístico SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS

Os tratamentos influenciaram ($p \leq 0,05$) a clorofila *a* (Cl *a*, mg g⁻¹ MS), clorofila *b* (Cl *b*, mg g⁻¹ MS), carotenoides (Car, mg g⁻¹ MS), proteínas solúveis (PS, mg g⁻¹ MS), prolina livre (PL, μmol g⁻¹ MS), carboidratos livres (CH, μmol g⁻¹ MS) e aminoácidos (AA, μmol g⁻¹ MS) do coentro 'Verdão' aos 22 dias após o transplântio (DAT) (Tabela 10).

Tabela 10. Quadrados médios e níveis de significância dos resultados estatísticos.

Quadrados médios								
FV	GL	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Car	AA	PS	PL	CH
Trat	10	16,946**	5,929**	0,295**	20405,77**	866,09**	23744,12**	156240,80**
Bloco	2	0,014 ^{ns}	0,240 ^{ns}	0,002 ^{ns}	16,055 ^{ns}	6,245 ^{ns}	21,667 ^{ns}	4639,70 ^{ns}
Erro	20	0,0766	0,031	0,005	53,09	3,823	36,906	2315,18
CV (%)		5,84	7,14	9,48	3,70	8,73	2,35	4,87
Quadrados médios								
FV	GL	AP	MFPA	MSPA	N	P	K ⁺	
Trat	10	129,46**	2274,09**	11,74**	0,123**	0,004**	276,32**	
Bloco	2	0,001 ^{ns}	0,372 ^{ns}	0,020 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}	10,45 ^{ns}	
Erro	20	1,52	1,30	0,014	0,000	0,000	13,61	
CV (%)		6,93	3,56	4,43	3,31	8,42	6,50	

Cl *a* (clorofila *a*), Cl *b* (clorofila *b*), Car (carotenoides), PS (proteínas solúveis), PL (prolina livre), CH (carboidratos livres), AA (aminoácidos), CV (coeficiente de variação), Trat, (tratamentos, para detalhes consulte Tabela 4), ns (não significativo ao teste F), ** (significativo ao teste F $p < 0,01$)

Fonte: Elaboração própria (2024).

O maior teor de Cl *a* foi maior (8,47 mg g⁻¹ MS) no tratamento T1. Em contraste, os menores foram observados nos tratamentos T2 e T8, com uma redução média de 474,24% em relação ao tratamento T1. Em relação à Cl *b*, o tratamento controle (T1) promoveu o maior incremento (4,44 mg g⁻¹ MS). Este valor representa um aumento de 268,46% em comparação a média dos menores valores observados nos tratamentos T2 e T8. Os tratamentos T1 e T9 resultaram nos maiores teores de Car (1,205 mg g⁻¹ MS). Em divergência, os tratamentos T2 e T8 apresentaram as menores médias de carotenoides, com 0,39 mg g⁻¹ MS (Tabela 10).

Tabela 11. Valores médios de clorofila *a* (Cl *a*, mg g⁻¹ MS) e clorofila *b* (Cl *b*, mg g⁻¹ MS), carotenoides (Car, mg g⁻¹ MS), proteína solúveis (PS, mg g⁻¹ MS), prolina livre (PL, μmol g⁻¹ MS), carboidratos livres (CH, μmol g⁻¹ MS), aminoácido (AA, μmol g⁻¹ MS) do coentro 'Verdão' cultivado em sistema hidropônico com manípueira tratada e não tratada com H₂O₂ aos 22 DAT.

Trat	Cl a	Cl b	Car	AA	PS	PL	CH
T1	8,47 a	4,44 a	1,20 a	138,79 g	412,09 a	12,51 e	1223,54 b
T2	1,59 i	0,82 h	0,35 f	276,27 c	143,71 h	35,59 b	639,02 f
T3	5,49 e	3,76 c	0,77 d	302,96 b	253,03 d	20,75 c	964,70 d
T4	5,97 d	3,09 d	1,05 b	234,26 d	254,08 d	17,44 d	1108,00 c
T5	6,72 c	4,09 b	0,93 c	114,67 h	351,29 c	21,18 c	1360,41 a
T6	2,17 h	1,09 g	0,47 f	125,15 h	192,63 g	16,38 d	689,87 f
T7	5,09 e	2,61 e	0,82 d	64,63 i	226,03 e	14,71 d	1040,33 d
T8	1,36 i	0,68 h	0,36 f	323,62 a	186,80 g	69,34 a	736,31 f
T9	4,33 f	1,09 g	1,21 a	187,71 f	223,72 e	15,23 d	911,19 e
T10	3,55 g	1,94 f	0,67 e	208,14 e	201,66 f	13,20 e	1146,09 c
T11	7,36 b	3,55 c	1,03 b	192,04 f	395,42 b	10,07 e	1051,62 d
CV (%)	5,84	7,14	9,48	3,70	2,35	8,73	4,87

Médias seguidas de letra iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$), CV (%): coeficiente de variação; FV – fonte de variação; Trat – tratamento (para detalhes consulte Tabela 1).

Fonte: Elaboração própria (2024).

Todos os tratamentos apresentaram menor teor de proteína livre em comparação ao tratamento controle (T1), que apresentou 412,09 mg g⁻¹ MS. O tratamento T2 teve a menor quantidade de proteína, com 143,71 mg g⁻¹ MS. Os teores de prolina (Pro) foram maiores no tratamento T8, sendo 481,71% superiores à média dos menores valores encontrados de prolina (T1, T10 e T11). O teor de carboidrato no tratamento T5 foi mais elevado entre todos os tratamentos, sendo 97,20% maior que o menor valor registrado (689,87 mol g⁻¹ MS). Já o teor de aminoácidos (AA) foi mais elevado no tratamento T8, com 323,62 mol g⁻¹ MS.

As variáveis de crescimento altura da planta (AP, cm), massa fresca da parte aérea (MFPA, g maço), massa seca da parte aérea (MSPA, g maço) nitrogênio (N, mg g⁻¹), fósforo (P, mg g⁻¹) e potássio (K⁺, mg g⁻¹) foram influenciadas pelos tratamentos aplicados (Tabela 11).

Tabela 12. Valores médios de AP (cm), MFPA (g maço) MSPA (g maço), N (mg g⁻¹), P (mg g⁻¹) e K⁺ (mg g⁻¹) do coentro 'Verdão' cultivado em sistema hidropônico com manipueira tratada e não tratada com H₂O₂ aos 22 DAT.

Trat	AP	MFPA	MSPA	N	P	K ⁺
T1	30,50 a	101,16 a	7,59 a	0,313 a	0,246 a	66,75 a
T2	11,08 f	8,66 i	0,99 g	0,130 g	0,223 b	41,75 c
T3	22,25 b	39,47 d	3,28 c	0,210 c	0,150 c	70,32 a
T4	16,41 d	25,81 f	2,40 e	0,170 e	0,200 b	60,18 b

T5	23,08 b	48,24 b	3,85 b	0,226 b	0,213 b	59,59 b
T6	11,25 f	7,36 i	0,76 h	0,080 h	0,176 c	46,50 c
T7	13,83 e	12,23 h	1,13 g	0,150 f	0,216 b	64,25 a
T8	9,08 g	7,56 i	0,96 g	0,123 g	0,173 c	47,18 c
T9	20,16 c	36,82 e	2,77 d	0,186 d	0,120 d	65,48 a
T10	15,25 d	21,20 g	2,05 f	0,150 f	0,160 c	51,17 c
T11	23,16 b	44,64 c	3,65 b	0,230 b	0,150 c	51,05 c
Cv (%)	8,09	4,29	7,75	3,31	8,43	7,06

Médias seguidas de letra iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$), CV (%): coeficiente de variação; FV – fonte de variação; Trat – tratamento (para detalhes consulte Tabela 1).

Fonte: Elaboração própria (2024).

O tratamento T1 apresentou os melhores resultados para a AP em comparação com todos os outros tratamentos. Nos tratamentos em que foram utilizadas MT e MNT como fonte de K^+ a 100% (T2, T4, T6, T7, T8 e T10), a AP foi inferior aos tratamentos que utilizaram manípueira como fonte de K^+ a 50%. Além disso, o tratamento T1 resultou maior MFPA (101,16 g), sendo 191,31% superior à média dos menores valores observados nos tratamentos T2, T6 e T8. Para a MSPA, o tratamento controle (T1) demonstrou superioridade em relação aos demais tratamentos, apresentando um incremento de 1187,02% em comparação com aqueles que registraram a menor MSPA (T2, T6 e T8).

Os teores de nitrogênio (N) e fósforo (P) foram mais elevados no tratamento T1, com valores de $0,313 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$ e $0,246 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente. A menor concentração de N foi observada no tratamento T1, com $0,080 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$, enquanto a menor concentração de P foi registrada no tratamento T9 ($0,120 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$).

O potássio (K^+) foi o nutriente mais absorvido pelo coentro 'Verdão', com uma média de $67,1 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$ nos tratamentos T1, T3 e T9, apresentando uma acumulação de 41,17% superior em relação aos tratamentos T2, T6, T7 T10 e T11, que registrou a menor quantidade média de nutriente ($47,53 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$).

DISCUSSÃO

A redução dos pigmentos fotossintéticos foi observada na maioria dos tratamentos com a aplicação de H_2O_2 na manipueira. O H_2O_2 é uma espécie reativa ao oxigênio (ERO) que, quando presente em excesso pode causar danos às estruturas celulares, retardando o crescimento e/ou morte celular (TANAKA; TANAKA, 2006; CAVERZAN, 2008; NURNAEIMAH et al., 2020). Resultados contrários foram encontrados por Silva et al. (2020), Silva et al. (2022) e Silva et al. (2023), onde utilizando peróxido de hidrogênio como condicionante em plantas verificaram aumento nos teores de clorofilas. É evidenciado no Capítulo 1 que a aplicação de H_2O_2 na manipueira deixa resíduos desta molécula. Embora a concentração residual de H_2O_2 na manipueira tratada após a diluição possa ser baixa, o acúmulo de peróxido na planta pode ter provocado fitotoxicidade, resultando em danos aos tecidos, principalmente nas membranas dos tilacoides e isso podendo ser manifestado nos danos aos pigmentos fotossintéticos.

Nas plantas onde foram usadas manipueira não tratada (MNT - T4, T5, T7 e T11) é evidenciado o aumento nos teores de Cl a em relação aos tratamentos com manipueira tratada com H_2O_2 (MT - T2, T6, T8). Gomes e Souza (2023) observaram aumento dos teores de Cl a em frutos de quiabeiro submetidos a dose mais alta de manipueira ($15 m^3 ha^{-1}$) em cultivo convencional. Esse comportamento pode estar relacionado ao teor de N presente na manipueira, visto que este é um nutriente essencial para a formação do anel porfirínico da clorofila. Ramos et al. (2019), avaliaram o efeito da adubação convencional, urina humana e manipueira como biofertilizante, notaram que alta produção de Cl a, quando o solo foi fertilizando com a doses de 1070 e 1270 mL de urina humana + manipueira, atribuindo ao fato a forma de aplicação, como também pela concentração e do volume, onde ambas doses podem ter promovido quantidades excessivas de nutrientes disponíveis para a cultura, afetando negativamente os pigmentos fotossintéticos. Já Costa (2020), avaliando o teor de Cl a na pimenta 'Biquinho' notou diminuição no teor desses pigmentos com o aumento das doses de manipueira. O aumento na Cl a pode estar relacionado ao K^+ presente na manipueira, onde esse nutriente desempenha papel crucial na fotossíntese, o que inclui ativação de enzimas envolvidas na síntese de clorofila. Além disso, o potássio auxilia na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, o que afeta a eficiência da fotossíntese e, conseqüentemente, os níveis de clorofila (WU et al., 2018).

A Cl *b* teve comportamento semelhante a Cl *a*. A Cl *b* é um pigmento acessório que auxilia a absorção de luz e na transferência de energia radiante para os centros de reação (TANAKA; TANAKA, 2006). A presença de Cl *b* auxilia a Cl *a* no processo fotossintético e pode ampliar a faixa de luz fotossinteticamente ativa para uma maior produção de fotoassimilados (GOMES e SOUZA, 2023).

Com relação aos carotenoides, assim como na Cl *b*, a maioria dos tratamentos contendo MT (T2, T6 e T8) obtiveram valores inferiores aos demais tratamentos, o que pode ser explicado pelo teor de H₂O₂ aplicado (0,125 M), que quando presente em excesso pode oxidar as membranas, inclusive dos pigmentos fotossintéticos. Isso leva à degradação desse pigmento, reduzindo a eficiência fotossintética, já que os carotenoides desempenham um papel fundamental na proteção contra danos causados pela luz, função antioxidante e na dissipação da luz excessiva (CARVAZEM, 2008; MASLOVA et al., 2021). Em contraste, o aumento de Car em alguns tratamentos, sugere um mecanismo fotoprotetor para dissipar o excesso de luz absorvida (BAROLI et al. 2003).

O teor de AA foi afetado pelo uso da manipueira tratada e não tratada. A redução do teor de AA nos tratamentos T5, T6 e T7 pode estar associada ao aumento da degradação ou inibição da sua biossíntese, juntamente com a redução na degradação ou aumento na síntese proteica, como também pela disponibilidade de N (SILVA et al. 2008; COVA, 2016). O que explica o menor valor de AA (T7 - 64,63 µmol g MS), onde não teve suplementação mineral dos outros nutrientes essenciais, inclusive N. O aumento no teor de AA (T8) pode estar relacionado ao acúmulo de H₂O₂, causando estresse oxidativo. Segundo Azevedo Neto et al. (2009), plantas sob algum tipo de estresse pode apresentar acúmulos de moléculas orgânicas, como aminoácido, a fim de contribuir com a manutenção da homeostase osmótica e iônica. Como reportado por Silva et al. (2008), a redução do teor de AA, pode aumentar a síntese proteica. Assim, alterações nos teores de AA podem afetar o dinamismo da biossíntese de proteínas. Desta forma, em alguns tratamentos (T5, T6 e T7) foram notadas reduções nos teores de AA e, conseqüentemente, afetando os teores de PS.

De acordo com Cova (2016), a prolina é um osmólito que se acumula em várias espécies vegetais em resposta a estresses bióticos e abióticos. A diminuição dos teores de prolina pode estar relacionada à nutrição da planta, logo, o aumento na absorção de K⁺ pode ter reduzido os níveis de prolina nos tratamentos, indicando que as plantas estavam menos expostas ao estresse e utilizando K⁺ para ajustamento

osmótico (SARADHI et al., 1995). Os menores teores de prolina podem ser explicados pelo fato de que o potássio contribui para o ajustamento do potencial osmótico da planta, já que o processo de abertura e fechamento dos estômatos é regulado pela concentração de potássio nas células-guarda (PACHECO et al., 2021). Neste estudo, os teores de carboidratos solúveis e os aminoácidos livres foram mais elevados que o de prolina, o que indica que esses solutos orgânicos foram os principais para contribuir no ajustamento do potencial osmótico, como também reportado com Cova (2016).

Para Azevedo Neto et al. (2004, 2009), a redução nos teores de carboidratos pode ser associada a distúrbios na sua biossíntese ou translocação para outras partes das plantas. O K^+ é um dos nutrientes essenciais para as plantas, participando de processos como a abertura e fechamento dos estômatos, fotossíntese, contribui para a formação de carboidratos, transferência de energia, resistência ao estresse, transporte de solutos pelo floema, balanço de cátion e ânion, síntese de proteína e ativação de enzimas (WU et al., 2018; JOHNSON et al., 2021). O aumento nos teores de carboidratos também pode estar associado a algum estresse sofrido pela planta, que faz que ocorra acumulação de moléculas orgânicas, como os carboidratos (AZEVEDO NETO et al., 2009).

Em comparação ao tratamento controle T1, todos os outros tratamentos sofreram reduções na AP, MFPA. Em estudo realizado por Lau e Mattson (2021), esses autores notaram que a aplicação de 75 mg L^{-1} de H_2O_2 nas soluções orgânicas e convencionais levaram à morte precoce, redução no peso fresco e na altura da alface cultivada hidroponicamente. Estes resultados se assemelham aos do presente trabalho em que foi utilizado MT e MNT, sendo que onde ocorreu a aplicação da manipueira tratada utilizando 100% de K^+ as reduções foram mais expressivas (T2, T6 e T8). Conforme reportado por Tanaka e Tanaka (2006) e Lau e Mattson (2021), a aplicação de H_2O_2 quando em concentrações altas (0,125 M) pode causar retardo no crescimento e destruir o tecido vegetal, e em consequência, ocorrendo diminuição do peso fresco e altura da planta. É possível encontrar na literatura trabalhos onde o uso de H_2O_2 apresenta benefícios quanto a AP e MFPA (NURNAEIMAH et al., 2020; LAU e MATTSON, 2021; SILVA et al., 2023). Essas divergências podem estar associadas às diferentes concentrações de H_2O_2 utilizada por cada autor, Nurnaeimah et al., (2020), 16 e 30 mM de H_2O_2 , Lau e Mattson, (2021) 1 mM, Silva et al. (2023) 0,1; 1 e 50 mM, sendo que no presente estudo foi utilizado a dose de 125 mM (0,125 M).

Atkin e Nichols (2003) investigaram o uso de diferentes fertilizantes à base de emulsão de peixe hidrolisada no cultivo hidropônico de alface e observaram uma redução, aproximadamente, de 55% no peso fresco em comparação com a hidroponia convencional, atribuindo essa redução a morte das raízes e redução da disponibilidade de oxigênio. Esses resultados são semelhantes aos obtidos em neste estudo, onde também foram observadas reduções MFPA nos tratamentos onde foram utilizados manipueira sem tratamento.

A MSPA obteve resultado semelhante ao da MFPA, mesma tendência foi apresentada por Monteiro Filho et al. (2014) utilizando soluções nutritivas organominerais otimizadas com a ferramenta SOLVER no cultivo de alface hidropônico. A MSPA sofreu reduções com a utilização do biofertilizante em substituição à solução nutritiva mineral no cultivo hidropônico da alface (DIAS et al., 2009). O mesmo autor sugere que para o cultivo de alface hidropônico não é confiável substituir parcial ou totalmente a solução mineral nutritiva por misturas dessa solução com biofertilizante. Provavelmente, o ciclo curto dessa cultura exige nutrição mineral prontamente disponível na solução de troca, o que não é encontrado em uma substância orgânica ainda em processo de mineralização. Além da lenta liberação dos íons que compõem o complexo de troca, os teores desses elementos nos biofertilizantes não estão em quantidades suficientes para que a cultura atinja seu máximo potencial produtivo (DIAS et al., 2009). O mesmo pode ser aplicado ao cultivo de coentro do presente estudo, onde é uma cultura de ciclo curto e as variáveis AP, MFPA e MSPA tiveram um desempenho muito abaixo do tratamento T1.

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais demandados na cultura do coentro, havendo uma correlação direta entre a absorção de N e o crescimento em massa seca (GRANGEIRO et al., 2011). No presente estudo, observou-se que os tratamentos T2, T6 e T8 apresentaram as menores quantidades de N, resultando também nas menores MSPA.

O acúmulo de fósforo (P) foi semelhante ao N no final do ciclo. A redução dos teores de P indicam antagonismo entre os nutrientes (IMO, 2012). Os nutrientes podem competir pela absorção nas raízes das plantas. Fageria (1983) avaliando a interação de K^+ com P, cálcio (Ca^{2+}) e magnésio em plantas de arroz cultivadas com solução nutritiva, houve uma diminuição quadrática na captação de P e Ca^{2+} com o aumento da concentração de K^+ na solução, que o K^+ em maior concentração tende

a diminuir absorção de outros nutrientes. Cova (2020) notou redução no teor de P em plantas de noni submetidas ao estresse salino.

O potássio (K^+) foi o nutriente mais acumulado pelo coentro 'Verdão'. É possível observar que os tratamentos T2 e T7 foram iguais ao T1 (controle). Em um estudo realizado por Nurmaeimah et al. (2020), avaliando os efeitos do peróxido de hidrogênio no crescimento das plantas, na acumulação de minerais, bem como nas propriedades biológicas e químicas de *Ficus deltoidea*, notou que a absorção mineral foi melhorada pelos tratamentos com aplicação de H_2O_2 por pulverização. O K^+ também é comumente utilizado como um indicador de estresse, contribuindo no ajuste osmótico da planta (WU et al., 2018). Embora não faça parte de nenhum composto orgânico, o K^+ desempenha funções cruciais na planta, como na fotossíntese, ativação enzimática, síntese de proteínas e transporte de carboidratos, entre outras (GRANJEIRO et al., 2011). Portanto, é fundamental para a produção vegetal.

De forma geral, os tratamentos utilizando manipueira tratada ou não como fonte de 50% do K^+ (T3, T5, T9 e T11) foram bem desenvolvidas e não apresentaram deficiência nutricional ou possíveis fitotoxidez, estando dentro de padrões aceitáveis para comércio. Os dados MFPA obtidos neste estudo são consistentes com os resultados da pesquisa conduzida por Silva et al. (2024). Esses autores avaliaram a densidade de plantas de coentro para compensar os efeitos do estresse salino. Em condições de irrigação com água salobra ($6,5 \text{ dS m}^{-1}$), uma densidade de 30 plantas por maço, aos 25 DAT, mostrou-se eficaz.

CONCLUSÃO

O uso de H_2O_2 na dose de 0,125 M não é recomendado para o tratamento da manipueira visando seu uso na hidroponia devido à inviabilidade observada. A manipueira tratada afetou negativamente os pigmentos fotossintéticos das plantas, reduzindo os níveis de clorofilas e carotenoides, especialmente sob condições de 100% de substituição de K^+ . A substituição de K^+ pela manipueira, tanto parcial quanto total reduziu a altura e biomassa de coentro. Os principais solutos que contribuíram para o potencial osmótico foram os carboidratos solúveis, aminoácidos livres e o próprio K^+ . Entre os diferentes tratamentos, o uso de manipueira não tratada com substituição de 50% do K^+ destacou-se ao proporcionar maior massa fresca, sugerindo um potencial uso parcial da manipueira como fonte de nutrientes, desde que tratada adequadamente para minimizar impactos negativos na fisiologia das plantas de coentro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, L. S.; GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; SANTOS, A. N.; SILVA, M. G.; BANDEIRA, S. S. Cultivo de manjeriço utilizando efluente doméstico tratado em sistemas hidropônicos sob diferentes espaçamentos entre plantas. *Irriga*, [S. L.], v.24, n.3, p.460–472, 2019.
- ATKIN, K.; NICHOLS, M. A. Organic hydroponics. In: **South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648**. 2003. p. 121-127.
- AZEVEDO NETO, A. D.; MOTA, K. N. A. B.; SILVA, P. C. C.; COVA, A. M. W.; RIBAS, R. F.; GHEYI, H. R. Selection of sunflower genotypes for salt stress and mechanisms of salt tolerance in contrasting genotypes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e020120, 2020.
- AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, p. 31-38, 2004.
- AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Changes in soluble amino-N, soluble proteins and free amino acids in leaves and roots of salt-stressed maize genotypes. **Journal of Plant Interactions**, v. 4, n. 2, p. 137-144, 2009.
- BAROLI, I.; DO, A. D.; YAMANE, T.; NIYOGI, K. K. Zeaxanthin accumulation in the absence of a functional xanthophyll cycle protects *Chlamydomonas reinhardtii* from photooxidative stress. **The Plant Cell**, v. 15, n. 4, p. 992-1008, 2003.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, San Diego, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- CAVERZAN, A. Caracterização funcional de genes de ascorbato peroxidase de arroz (*Oryza sativa* L.) nas interações entre estresse oxidativo e estresse abióticos. **Dissertação de mestrado**, UFRGS, Porto Alegre-RS, 2008.
- COSTA, A. G. **Caracterização da manipueira e sua utilização para a produção do coentro 'Verdão' e da pimenta 'Biquinho'**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA. p.141. 2020.
- COSTA, A. G.; SOUZA, L. S.; COVA, A. M. W.; CORREIA, M. R. S. Produção de coentro em resposta a diferentes doses de água residuária da mandioca. **Revista Agroecossistemas**, v.13, n.1, p.145-162, 2021.
- COVA, A. M. W. **Respostas fisiológicas e bioquímicas do noni (*morinda citrifolia* L.) ao estresse salino**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-

graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA. p.104. 2016.

CUBA, R. D. S.; CARMO, J. R.; SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 574-586, 2015.

CUNHA, A. H. N. **Cultivo de tomate sweet grape em hidroponia com diferentes substratos utilizando água residuária**. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - *Campus Central* - Sede: Anápolis – CET, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2012.

DIAS, N. D. S.; DE BRITO, A. A. F.; NETO, O. N. D. S.; DE LIRA, R. B.; DE BRITO, R. F. Produção de alface hidropônica utilizando biofertilizante como solução nutritiva. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 158-162, 2009.

DOMÈNECH, X.; JARDIM, W. F.; LITTER, M. I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. **In: Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogênea**, cap. 1, Rede CYTED, La Plata, 2001.

DUARTE, A. D. S.; SILVA, Ê. F. D. F.; ROLIM, M. M.; FERREIRA, R. F. D., MALHEIROS, S. M.; ALBUQUERQUE, F. D. S. Uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 262-267, 2012.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

FAGERIA, N. K. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. **Plant and Soil**, v. 70, n. 3, p. 309-316, 1983.

FAITHFULL, Nigel T. **Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook**. CABI publishing, p. 266. 2002.

FELTRIN. Arquivo online: <https://www.sementesfeltrin.com.br/produtos/coentro-verdao/193>. Acesso em 3 de junho de 2024.

FELKER, P. Microdetermination of nitrogen in seed protein extracts with the salicylate-dichloroisocyanurate color reaction. **Analytical Chemistry**, v.49, n.7, p.1080-1080, 1977.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico. Boletim técnico.1999. 52p.

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 1, p. 371-374, 1984.

GOMES, L. D. S., SOUZA, D. S. D. Uso da manipueira como alternativa no crescimento e produção de plantas de quiabeiro. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, p.39, 2023.

GONÇALVES, D. R.; CORREIA, M. R. S.; SILVA, M. G.; SOARES, T. M. Produção e qualidade de frutos do abacaxizeiro 'BRS Imperial' usando manipueira e esterco bovino. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 13, n. 1-3, p. 17-31, 2024.

GRANGEIRO, L. C.; FREITAS, F. C.; NEGREIROS, M. Z.; MARROCOS, S.T. P.; Lucena, R. R.; Oliveira, R. A. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 11-16, 2011.

IMO, M. Analysis of nutritional interactions in cropping systems. In: SHARMA, P. A.; ABROL, V. (Ed.). Crop production technologies. Rijeka: InTech, 2012. p. 221- 242.

JONES JÚNIOR, B. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton: CRC Press, 2001. p. 205-206.

JOHNSON, R.; VISHWAKARMA, K.; HOSSEN, M. S., KUMAR, V.; SHACKIRA, A. M.; PUTHUR, J. T.; HASANUZZAMAN, M. Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 172, p. 56-69, 2022.

LAU, V.; MATTSON, N. Effects of hydrogen peroxide on organically fertilized hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Horticulturae**, v. 7, n. 5, p. 106, 2021.

LICHTENTHALER, Hartmut K.; BUSCHMANN, Claus. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current protocols in food analytical chemistry**, v. 1, n. 1, p. F4. 3.1-F4. 3.8, 2001.

LIED, E. B.; KLEN, M.; VEIT, M. T. Avaliação da eficiência do tratamento de água residuária de fecularia por coagulação/floculação utilizando extrato de moringa oleifera. **Encontro Brasileiro de Gestão Ambiental, 2. Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. João Pessoa, 2011. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/II-003.pdf>. Acesso: 19 de dez 2022.

MASLOVA, T. G.; MARKOVSKAYA, E. F.; SLEMNEV, N. N. Functions of carotenoids in leaves of higher plants. **Biology Bulletin Reviews**, v. 11, p. 476-487, 2021.

MONTEIRO FILHO, A. F.; PEREIRA, G. L.; AZEVEDO, M. R.; FERNANDES, J. D.; AZEVEDO, C. A. Cultivo hidropônico de cultivares de alface em soluções nutritivas organominerais otimizadas com a ferramenta SOLVER. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 417-424, 2014.

MELLO, S.C.; SPAGNOL, R. **Olericultura: cultivo hidropônico**. SENAR, PR – p.84. 2016.

MELO, W. F. M. F.; MARACAJÁ, P. B.; MELO, W. F., FORNY, P. F.; ROLIM, F. D.; COSTA, I. F.; MELO, E. R. A importância nutricional e medicinal do *Coriandrum sativum* L. **Informativo Técnico do Semiárido**, v. 12, n. 2, p. 01-07, 2018.

NURNAEIMAH, N.; MAT, N.; SURYATI MOHD, K.; BADALUDDIN, N. A.; YUSOFF, N.; SAJILI, M. H.; KHANDAKER, M. M. The effects of hydrogen peroxide on plant growth,

mineral accumulation, as well as biological and chemical properties of *Ficus deltoidea*. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 599, 2020.

OLIVEIRA FILHO, F. S.; CASSIMIRO, C. A. L.; SOUSA, P. S.; ALENCAR, L. V. C.; FEITOSA, S. S.; SILVA, E. A. Biofertilizante como solução nutritiva para produção de alface hidropônica no Alto Sertão paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 111-117, 2020.

PACHECO, F.; LAZZARINI, L. E.; ALVARENGA, I. Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 36, 2021.

PEREIRA, R. S.; MUNIZ, M. F.; NASCIMENTO, W. M. Aspectos relacionados à qualidade de sementes de coentro. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 703-706, 2005.

SANTOS, A. Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microregião sudoeste da Bahia-Brasil. **Problemas sociales y regionales em América Latina: estudio de casos. Barcelona: Universitat de Barcelona**, p. 11-25, 2009.

SARADHI, P. P.; ALIAARORA, S.; PRASAD, K. V. S. K. Proline accumulates in plants exposed to UV radiation and protects them against UV-induced peroxidation. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 209, n. 1, p. 1-5, 1995.

SIAHAAN, F. R.; TAMPUBOLON, K.; PARDEDE, E. Agrophysiology, biochemical, and yielding characteristics of Chinese cabbage due to formulations and concentrations of nutrient in hydroponic. **Comunicata Scientiae**, v. 15, p. e4192-e4192, 2024.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, F. P.; MELO, N. F.; AZEVEDO NETO, A. D. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. **Environmental and experimental botany**, v. 63, n. 1-3, p. 147-157, 2008

SILVA, M. G.; GHEYI, H. R.; SILVA, L. L.; SILVA, P. C. C.; CORREIA, M. R. S.; QUEIROZ, L. A.; SANTOS, T. S.; JESUS, M. J. Plant density to compensate for coriander production losses caused by the isolated and/or combined effects of salt and root-zone temperature stresses. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 13, n. 1-3, p. 32-59, 2024.

SILVA, P. C. C.; DE AZEVEDO NETO, A. D.; GHEYI, H. R.; RIBAS, R. F.; DOS REIS SILVA, C. R.; COVA, A. M. W. Salt-tolerance induced by leaf spraying with H₂O₂ in sunflower is related to the ion homeostasis balance and reduction of oxidative damage. **Heliyon**, v. 6, n. 9, 2020.

SILVA, P. C.; GHEYI, H. R.; EVANGELISTA, H. S.; DEUS, K. D. S. D.; AZEVEDO NETO, A. D. D. Hydrogen peroxide (H₂O₂) improves ion homeostasis in coriander plants under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 729-735, 2023.

SILVA, P. C. C.; GHEYI, H. R.; SILVA, M. G.; JESUS, M. J. S.; AZEVEDO NETO, A. D. Use of exploratory analysis for recommendation of seed priming with hydrogen peroxide on lettuce and arugula cultivated with brackish water. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 234, n. 11, p. 668, 2023.

SOUZA, R.; PAZ, V.; GONÇALVES, K.; SOARES, T.; DIAS NETO, A.; GHEYI, H. Treated domestic effluents: an option for cultivation of ornamental sunflower in a hydroponic system. **Journal of experimental agriculture international**, v. 24, n. 6, p. 1-11, 2018.

TANAKA, A.; TANAKA, R. Chlorophyll metabolism. **Current opinion in plant biology**, v. 9, n. 3, p. 248-255, 2006.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos. **Caderno Temático**, v.3, p.13-33. 2004.

TIKASZ, P.; MACPHERSON, S., ADAMCHUK, V.; LEFSRUD, M. Aerated chicken, cow, and turkey manure extracts differentially affect lettuce and kale yield in hydroponics. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, p. 241-252, 2019.

WEATHERBURN, M. W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, v.39, n.8, p.971-974, 1967.

WU, H.; ZHANG, X.; GIRALDO, J. P.; SHABALA, S. It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. **Plant and soil**, v. 431, p. 1-17, 2018.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-214, 1955.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do H_2O_2 no tratamento da manipueira é muito eficiente na remoção da turbidez, matéria orgânica, P e NO_3^- , visto que esses agentes causam efeitos negativos ao ambiente quando descartado de forma inadequada. A manipueira apresenta diversos nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, no entanto seu uso na aeroponia vertical deve ser aprimorado, principalmente quando tratado com H_2O_2 (0,125 M) ou buscando um pré-tratamento das plantas como já evidenciado por diversos autores. Pesquisas futuras devem buscar entender a concentração ideal de H_2O_2 no tratamento de manipueira visando seu uso na hidroponia, bem como entender o mecanismo de resposta para que tenhamos uma maior compreensão das estratégias eficazes para uso na hidroponia orgânica/organomineral.