

II-649 - USO DE ESGOTO TRATADO E LODO HIGIENIZADO PARA PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum*)

Átala Rebeca da Silva Ávila ⁽¹⁾

Engenheira Civil pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). Mestre em Engenharia Civil e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutoranda em Engenharia Civil e Tecnologia Ambiental na UFPE.

Kenia Kelly Barros Silva

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre e Doutora em Engenharia Civil e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Mario Takayuki Kato

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Hidráulica e Saneamento (Engenharia Civil) pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) e Doutor em Tecnologia Ambiental e Ciências da Agricultura pela Universidade Agrícola de Wageningen, Holanda (1994).

Endereço ⁽¹⁾: R. Acad. Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-530 - Brasil - Tel: (62) 982160903 - e-mail: atala.avila@ufpe.br

RESUMO

Eventos prolongados de secas e a necessidade de reduzir o uso de fertilizantes minerais têm levado os agricultores a procurarem alternativas de cultivo mais sustentáveis como o uso de esgotos tratados e lodos higienizados na fertirrigação e adubação orgânicas, respectivamente. Ervas aromáticas produzem óleos essenciais que são largamente utilizados no setor industrial, na alimentação e em tratamentos terapêuticos. O manjericão (*Ocimum basilicum*) é uma erva mundialmente conhecida, pertencente à família *Lamiaceae*, cujas folhas são empregadas na medicina popular como um remédio para diversas doenças, como: diarreias e bronquite. Ademais, o óleo essencial do manjericão contém constituintes ativos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. O objetivo desta pesquisa foi estudar a produção e composição química do óleo essencial extraído das folhas do manjericão limocino cultivado com esgoto tratado e lodo higienizado oriundos de uma estação de tratamentos de esgotos operando em escala real em Recife – PE. O delineamento experimental foi em blocos casualizados e o plantio ocorreu em estufa. O substrato de plantio foi um solo de baixa fertilidade. Nos tratamentos controle, a irrigação foi realizada com água de abastecimento e a adubação com fertilizante mineral a base de NPK. A partir da análise dos resultados da composição nutricional, morfologia, sanidade, rendimento e composição do óleo essencial do manjericão, pode-se dizer que o uso de esgoto tratado e lodo higienizado são uma forma de reduzir gastos com fertilizantes minerais e contribuir com o manejo agrícola sustentável, visto que parte dos parâmetros estudados se mantiveram lineares, enquanto outros melhoraram em comparação ao cultivo tradicional de manjericão.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso, Erva aromática, Nutrientes, Rendimento, Hidrodestilação.

INTRODUÇÃO

Episódios constantes de secas em várias regiões do mundo, aliados à demanda por redução do uso de fertilizantes minerais, têm motivado os agricultores a procurarem alternativas mais sustentáveis de cultivo, entre as quais está o plantio de ervas aromáticas com esgotos e lodos tratados (LONIGRO *et al.* 2016).

As ervas aromáticas produzem óleos essenciais (OE) que são compostos aromáticos voláteis provenientes do metabolismo secundário das plantas. Por serem ricos em monoterpenos e outros compostos químicos com funções medicinais e cosméticas, os OE são muito requeridos como matéria-prima em indústrias farmacêutica, alimentícia e de cosméticos (STUMPF, 2013). Como são produzidos nos vegetais por processos bioquímicos, muitos nutrientes contribuem para a realização dessas reações metabólicas. Assim, um manejo nutricional adequado no plantio é essencial para garantir uma boa produtividade dos OE.

O manjeriço (*Ocimum basilicum*) é uma erva que pertence à família Lamiaceae, sendo mundialmente utilizada na culinária. Tradicionalmente, as folhas do manjeriço são empregadas na medicina popular como um remédio para diversas doenças que acometem o sistema digestivo, respiratório e neurológico, por exemplo. Outrossim, o OE extraído do manjeriço dispõe de constituintes ativos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. Historicamente, o Brasil exporta esse óleo para países como Estados Unidos e França (PEREIRA e MOREIRA, 2011; STUMPF, 2013; AHMED *et al.*, 2019).

O Brasil faz uso de 8% do consumo global de fertilizantes, sendo o quarto consumidor do mundo, ficando atrás da: China, Índia e Estados Unidos. Os maiores fornecedores de fertilizantes químicos (NPK) para o Brasil são: Rússia, Ucrânia e China. Sendo que, por conta da guerra na Ucrânia, instalou-se uma crise, que afeta preços e disponibilidade desses produtos (HALECKI e BEDLA, 2022; ALMEIDA e VOLOTÃO, 2020).

“A heterogeneidade espacial, temporal e de intensidade das chuvas nas diferentes regiões fisiográficas [de Pernambuco], não raramente, impõe condições extremas de seca e enchentes simultaneamente, muitas vezes em uma mesma região” (ASFORA; LIMA; LACERDA, 2017). A seca engloba uma complexidade de caráter social, econômico e agropecuário, exigindo a adoção de ações preventivas e estruturantes, como: investimentos em infraestrutura hídrica e integração de mananciais, garantindo maior segurança hídrica, que possibilitem uma convivência adequada com os efeitos desse fenômeno e reduzam a necessidade de ações resposta (IBIDEM, 2017)

Dentro do contexto de uso agrícola dos subprodutos de valor agregado do tratamento de esgotos domésticos, Ofori (2021) concluiu que o esgoto tratado tem potencial para ser uma fonte alternativa viável de água para irrigação; e segundo Marangon *et al.* (2020), o lodo pode ser aplicado no solo como um adubo orgânico. Melo *et al* (2021), ao cultivar manjeriço com esgoto tratado, constatou que houve um aumento nos teores de nutrientes (em especial de N) e proteína bruta no tecido foliar das plantas, o que proporcionou melhores rendimentos de OE.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA-PE), em colaboração com a BRK Ambiental, e do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-PE). Com o apoio do projeto Pronex da Facepe, APQ-0603-3,07/14. Além de ter sido financiado pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE-PE), por meio dos Projetos intitulados *“Otimização dos Recursos Hídricos com o Uso de Água e de Subprodutos de Valor Agregado do Tratamento de Esgoto para a Agricultura Irrigada no Cenário do Semiárido Pernambucano”*, APQ-0298-3,07/17 e *“Aproveitamento dos nutrientes de esgotos e lodos tratados para produção de óleos essenciais”*, IBPG-0469-3,01/21

OBJETIVOS

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito do uso de esgoto e lodo tratados sobre a produção e a composição química do óleo essencial extraído do manjeriço.

Os objetivos específicos são: estudar a composição química do óleo essencial produzido pelo manjeriço cultivado com esgoto e lodo tratados; avaliar a produção do óleo essencial em manjeriço cultivado com água esgoto tratado e lodo higienizado; estudar a composição nutricional do tecido foliar de manjeriço cultivado com esgoto e lodo tratados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento ocorreu em estufa construída no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN), em Recife - PE. As plantas foram irrigadas com esgoto tratado (ET) e água (A). O manejo de irrigação foi controlado pela aferição do potencial matricial do solo, por meio de tensiômetros (Figura 1). O ET foi coletado na saída da lagoa de estabilização da estação de tratamento de esgotos Mangureira (ETE Mangureira), em Recife – PE, e a água foi coletada nas instalações do abastecimento público da estufa. As águas de irrigação (ET e A) foram caracterizadas e monitoradas pelos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos indicados pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).



Figura 1: Vaso plástico do plantio dos manjericões com tensiômetro de punção.

O solo de plantio era, estrategicamente, pobre em nutrientes, e foi coletado em sua camada arável (0 – 20 cm). As avaliações físicas, químicas e dos parâmetros de fertilidade do solo seguiram os métodos descritos pelo manual de métodos de análise do solo da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, EMBRAPA (1997).

As plantas também foram adubadas com fertilizantes minerais a base de NPK (sulfato de amônio composto por 21% de N, superfosfato simples composto por 18% de P_2O_5 e cloreto de potássio 58% de K_2O) e com lodo anaeróbico, descartado do reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket reactor*), desaguado e higienizado via compostagem (LH). As dosagens dos fertilizantes foram calculadas a partir da concentração de NPK no solo, no LH, no ET e os requerimentos nutricionais para o cultivo de manjericao, segundo Pereira e Moreira (2011).

O experimento foi montado em delineamento estatístico em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições cada. Cada vaso de plantio continha 2 plantas de manjericao *limoncino*. Os tratamentos estudados foram: T1 (A) – irrigação com água; T2 (A + NPK) – irrigação com água e adubação com NPK; T3 (ET) – irrigação com esgoto tratado; T4 (ET + NPK) – irrigação com esgoto tratado e adubação com NPK e T5 (A + LH) – irrigação com água e adubação com LH.

Ao final do experimento, a biomassa foliar do manjericao foi coletada para análises químicas e de extração do óleo essencial (OE), a qual foi realizada por hidrodestilação, em aparelho de Clevenger. Os teores de OE foram calculados segundo Santos *et al.* (2004). A composição química do OE foi analisada em cromatografia gasosa acoplada a espectrofotômetro de massa (GC-MS).

Com exceção de algumas análises químicas do solo, que foram realizadas no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), todos os outros ensaios foram feitos no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Os resultados foram avaliados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste F, aos níveis de 1 e 5%. Por fim, as hipóteses foram testadas via teste de Tukey, sendo utilizado o *software* Minitab 21.1.

RESULTADOS

A Tabela 1 contém os valores médios dos parâmetros de caracterização e monitoramento das águas de irrigação (esgoto tratado e água).

Tabela 1: Características físico-químicas das águas de irrigação.

Parâmetros	Unidades	Esgoto tratado	Água de abastecimento
pH	-	7,28 ± 0,34	6,51 ± 0,05
Condutividade elétrica	µS.cm ⁻¹	3919,17 ± 55,51	295,50 ± 32,5
Razão de adsorção de sódio (RAS)	-	13,41 ± 0,71	11,12 ± 0,78
Salinidade	g sal. L ⁻¹	1,78 ± 0,02	0,12 ± 0,01
Nitrogênio total	mg N.L ⁻¹	18,84 ± 3,37	1,14 ± 0,09
Nitrogênio amoniacal	mg N-NH ₄ ⁺ .L ⁻¹	18,16 ± 3,02	0,90 ± 0,03
Nitrato	mg N-NO ₃ ⁻ .L ⁻¹	0,6 ± 0,01	0,30 ± 0,01
Fósforo	mg P.L ⁻¹	1,27 ± ,04	0,023 ± 0,01
Potássio	mg K.L ⁻¹	11,2 ± 0,20	6,83 ± 0,01
Cálcio	mg Ca.L ⁻¹	0,003 ± 0,001	Abaixo do limite de detecção
Magnésio	mg Mg.L ⁻¹	5,39 ± 0,05	5,18 ± 0,03
Sódio	mg Na.L ⁻¹	48,9 ± 0,30	32,4 ± 0,20
Alumínio	mg Al.L ⁻¹	0,31 ± 0,04	0,01 ± 0,002
Ferro	mg Fe.L ⁻¹	0,29 ± 0,02	0,04 ± 0,01
Zinco	mg Zn.L ⁻¹	0,09±0,02	0,763±0,003
Oxigênio dissolvido	mg O ₂ .L ⁻¹	10,05 ± 2,88	6,37 ± 0,25
Demanda química de oxigênio	mg O ₂ .L ⁻¹	356,82 ± 22,95	24,87 ± 3,02
Sólidos suspensos totais	mg ST.L ⁻¹	137,58 ± 14,32	42,30 ± 5,30
Sólidos suspensos fixos	mg STF.L ⁻¹	0	0
Sólidos suspensos voláteis	mg STV.L ⁻¹	102,42 ± 5,67	54,15 ± 11,15
Coliformes Totais	NMP.(100 mL) ⁻¹	1,83.10 ³ ± ,4.10 ³	< 1
<i>Escherichia coli</i>	NMP.(100 mL) ⁻¹	0,66.10 ³ ± 0,17.10 ³	< 1
Viabilidade de ovos de helmintos	Nº ovos. L ⁻¹	< 1	< 1

Foi consumido um total de 363,47 L de água de abastecimento e 194,91 L de esgoto tratado durante todo o ciclo de cultivo (91 dias). Não existe lei e/ou quadro regulatório estabelecido em nível Federal específico para reúso de esgotos tratados, exceto as resoluções do CNRH para reúso não potável, que não apresentam limites a serem obedecidos. Portanto, efetuaram-se comparações com as recomendações das: resoluções do Conselho Nacional do Meio ambiente CONAMA: n° 357 de 17 de março de 2005 (para usos múltiplos de água), deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídrico (CERH) n° 65 de Minas Gerais (2020), guia para água de reúso da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA 2012), limites estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente Libanês (MoE 2001) e documento das Nações Unidas para reúso (FAO 2011).

O pH da água de abastecimento apresentou valores mais baixos que o pH do esgoto tratado, mas ambos estão dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA (2005), CERH-MG (2020) e pelos padrões internacionais da USEPA (2012), MoE (2001) e FAO (2011) que estabelecem que o pH deve configurar entre 6 e 9.

A deliberação normativa CERH-MG (2020) estabelece valores limite para condutividade elétrica (CE) e razão de adsorção de sódio (RAS). No caso da CE, o esgoto tratado está dentro do exigido ($CE > 500 \mu\text{S.cm}^{-1}$), mas a RAS está acima do permitido ($RAS < 3$) para ambas as águas de irrigação, o que poderia indicar um risco de dispersão da argila do solo. Por outro lado, o valor de RAS encontrado no efluente tratado está de acordo com o também encontrado por Elsokkary e Aboukila (2020), que foi de aproximadamente 10, em experimento utilizando esgoto doméstico tratado na irrigação de manjerição e orégano; em que foi constatado efeitos benéficos à biomassa foliar e a produtividade de óleo essencial de ambas as espécies vegetais.

Acerca da análise bacteriológica, foi utilizado o indicador *Escherichia coli* que é a espécie mais prevalente no grupo Coliforme Fecal. O esgoto tratado atende tanto as recomendações internacionais, MoE (2001) e FAO (2011) para *E. coli*, quanto a determinação pelo CONAMA (2005), CERH-MG (2020). No entanto, pela norma da USEPA (2012), por conta da *E. coli*, seria necessária uma etapa de desinfecção para uso posterior. Já em relação ao número de ovos viáveis de helmintos, o esgoto tratado teve o mesmo resultado da água de abastecimento, ficando dentro de todas as determinações internacionais e nacionais

As análises de caracterização físico-química do logo higienizado (LH) e os limites requeridos pelo CONAMA 498/2020 são apresentadas na Tabela 2. O LH foi classificado como Classe 1, conforme as indicações do

CONAMA (2020) para os valores máximos permitidos de substâncias químicas, das quais, os elementos: cádmio, chumbo, cobre, cromo, molibdênio, níquel e zinco estão abaixo dos limites permitidos. A razão entre sólidos voláteis e sólidos totais foi de 0,33, o que é bem inferior ao estabelecido pela legislação nacional (0,65), comprovando-se, portanto, que a fração orgânica do LH está estabilizada. Acerca das análises microbiológicas, os Coliformes (totais e *E. coli*) e ovos viáveis de helmintos estão abaixo dos limites estabelecidos pela norma CONAMA 498/2020.

Tabela 2: Características físico-químicas do lodo higienizado e limites CONAMA 498/2020.

Parâmetros	Unidades	Lodo higienizado	Limite CONAMA
Carbono orgânico	mg g ⁻¹	74,63	-
Matéria orgânica	mg g ⁻¹	128,67	-
Fósforo	mg P g ⁻¹ P	0,833	-
NTK	mg N-NO ₂ g ⁻¹	19,40	-
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH ₃ g ⁻¹	12,27	-
Nitrato/nitrito	mg N-NO ₃ NO ₂ g ⁻¹	3,685/3,685	-
pH	-	5,5	-
Potássio	mg K g ⁻¹	3,050	-
Sódio	mg Na g ⁻¹	1,107	-
Enxofre	mg S g ⁻¹	1,552	-
Cálcio	mg Ca g ⁻¹	9,165	-
Magnésio	mg Mg g ⁻¹	0,974	-
Umidade	%	64,83	-
Sólidos voláteis	mg ST L ⁻¹	219898,87	-
Sólidos totais voláteis	mg ST L ⁻¹	648354,30	-
Alumínio	mg g ⁻¹	268	-
Cádmio	mg g ⁻¹	0,128	< 39,0
Chumbo	mg g ⁻¹	2,515	< 300,0
Cobalto	mg g ⁻¹	0,099	-
Cobre	mg g ⁻¹	0,099	< 1500,0
Cromo	mg g ⁻¹	0,225	< 1000,0
Ferro	mg g ⁻¹	854,8	-
Fósforo	mg g ⁻¹¹	832,97	-
Manganês	mg g ⁻¹	16,284	-
Molibdênio	mg g ⁻¹	0,110	< 50,0
Níquel	mg g ⁻¹	0,641	< 420,0
Vanádio	mg g ⁻¹	1,639	-
Zinco	mg.kg ⁻¹	79,74	< 2800,0
Coliformes Totais	NMP g ⁻¹ de ST	300	-
<i>Escherichia coli</i>	NMP g ⁻¹ de ST	39,7	< 10 ³
Ovos viáveis de helmintos	Ovo g ⁻¹ de ST	0	< 0,25

O resultado da caracterização granulométrica efetuada pelo IPA provou que o solo é franco-arenoso, de densidade aparente de 1,29 g.cm⁻³ e, densidade de partícula de 2,63 g.cm⁻³. Os percentuais de areia grossa e fina foram 49% e 29% respectivamente. Ademais, o solo apresentou teores de 2% de silte e 20% de argila, grau de floculação de 100% e umidade residual de 1,45%.

As características de fertilidade constam na Tabela 3. Por apresentar saturação por base inferior a 50%, o solo foi classificado como distrófico (EMBRAPA, 2010), com baixos teores de nutrientes e matéria orgânica. Segundo Osaki (1991), a saturação por alumínio no solo (m) entre 10,1% < m < 20% é medianamente prejudicial.

Tabela 3: Parâmetros de fertilidade do solo.

P	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V	m
mg.dm ⁻³	-	cmolc.dm ⁻³								%	
1,0	5,3	0,40	0,70	0,01	0,02	0,20	2,44	1,10	3,80	30	15

O solo arenoso é mais suscetível à degradação e à perda de capacidade produtiva. A baixa proporção de argila e matéria orgânica reduz a retenção de água e nutrientes (IBIDEM, 2010). “O cultivo do solo com adições frequentes de matéria orgânica é a forma mais racional e ecológica de manter e/ou aumentar a fertilidade do solo”, segundo EMBRAPA (2010), logo o uso de LH e ET está em consonância ao exposto.

Na Tabela 4 é possível verificar os valores médios dos parâmetros morfológicos e fisiológicos do manjeriço.

Tabela 4: Parâmetros morfológicos e fisiológicos do manjeriço.

Parâmetro	Unidade	T1 (A)	T2 (A+NPK)	T3 (ET)	T4 (ET+NPK)	T5 (A+LH)
MFF	g	2,05±1,12 D*	76,00±20,74 B	30,00±7,91 C	114,00±9,62 A	46±8,94 C
MFS	g	0,36±0,19 C	16,40±4,73 AB	3,47±1,14 C	17,67±2,64 A	9,99±2,46 B
NF	-	11,40±4,28 C	282,8±64,4 A	117,8±17,3 BC	332,4±102,7 A	218,6±50,0 AB
C-a	µg.g ⁻¹ MF	- ¹	11,11±2,57 BC	21,58±2,84 A	14,46±2,87 B	7,42±1,25 C
C-b	µg.g ⁻¹ MF	- ¹	5,10±1,11 B	9,66±1,85 A	6,08±1,12 B	3,90±0,53 B
C-total	µg.g ⁻¹ MF	- ¹	16,20±3,67 BC	31,23±4,67 A	20,54±3,79 B	11,32±1,78 C
PS	mg.g ⁻¹ MF	- ¹	7,92±1,67 b**	11,78±2,40 a	12,11±1,97 a	9,00±1,98 ab
PB	% mg.mg ⁻¹	0,13±0,01 ^{ns}	0,15±0,01 ^{ns}	0,14±0,02 ^{ns}	0,14±0,06 ^{ns}	0,21±0,07 ^{ns}
N-NTK	g.kg ⁻¹	8,40±2,45 ^{ns}	6,91±1,42 ^{ns}	8,63±1,79 ^{ns}	7,23±2,08 ^{ns}	5,69±1,84 ^{ns}
⁻¹ Biomassa foliar insuficiente para realização de ensaio.						
* Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% (p < 0,01). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,01, pelo teste F.						
** Letras minúsculas representam teste de significância a 5% (p < 0,05). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,05, pelo teste F.						
^{ns} Não significativo pelo teste F.						

O tratamento T4 (ET+NPK) conteve os maiores valores para: massa foliar fresca (MFF) e seca (MFS), número de folhas (NF) e proteína solúvel (PS), tendo-se aumentos de 50%, 8%, 18% e 53% respectivamente, em relação ao T2 (A+NPK). Embora não tenha havido diferença significativa entre esses tratamentos com relação ao peso da MFS. Justifica-se este resultado pelas maiores concentrações de nutrientes no ET, melhorando significativamente o crescimento e desenvolvimento da planta cultivada em um solo distrófico, alinhando-se ao descrito por Elsokkary e Aboukila (2020).

O tratamento T5 (A+LH) apresentou melhores valores para MFF e MFS, NF e proteína bruta (PB), em relação ao T3 (ET), como o explicitado por Marangon *et al.* (2020), o lodo estabilizado pode ser usado como biofertilizante, sendo alternativa aos fertilizantes comerciais. Silva *et al.* (2020) expõem que a adubação do solo com lodo higienizado, fornece nutrientes às plantas e ainda atua na melhoria da estruturação das partículas do solo, de forma que o sistema radicular da planta é favorecido, assim como a infiltração da água e dos próprios macro e micronutrientes que são absorvidos de forma favorecida visto sua biodisponibilidade ser acentuada pelo processo de higienização deste.

A análise dos parâmetros: clorofilas (C-a, C-b e C-total) indica que o T3 (ET) demonstrou resultados significativamente superiores. O que pode ser explicado pelo florescimento tardio das plantas submetidas ao T3 (77 dias), ou seja, no momento dos ensaios as demais plantas já estavam em estado de senescência (florescimento com 66, 64, 60 dias para T4, T2, T5, respectivamente). A senescência da planta acompanha o declínio do aparato fotossintético, clorofilas e proteínas, o que explica os menores valores em T5 para esses parâmetros, significativamente diferentes (NOODÉN e LEOPOLD, 1988). Sobre a PS, em que não houve diferenças estatísticas entre T3 (ET) e T4 (NPK + ET), há uma relação direta entre a quantidade de nitrogênio e a produção de PS, portanto verifica-se que mesmo não sendo estatisticamente diferente dos demais tratamentos, o NTK dos tratamentos T3 (ET) e T4 (NPK + ET) são superiores aos demais, o que se reflete nos teores de PS (TEIXEIRA, 2015).

Os valores de *E. coli* verificados foram de < 1 NMP g⁻¹, estando abaixo do limite permitido pela legislação Brasileira, Instrução Normativa nº 60 de 23 de dezembro de 2019, para hortaliças consumidas *in natura* (10²

NMP g⁻¹), o que deixa claro a sanidade e segurança para o consumo das plantas cultivadas com esgoto tratado e/ou lodo higienizado

A respeito da extração de óleo essencial (OE), a Tabela 5 apresenta os valores médios de rendimento de extração (%) e sua densidade. Ressalta-se que as plantas do tratamento T1 (A) apresentaram matéria vegetal insuficiente para extração de OE.

Tabela 5: Rendimento de extração e densidade do óleo essencial do manjeriço.

Parâmetros	Unidades	T2 (A+NPK)	T3 (ET)	T4 (ET+NPK)	T5 (A+LH)
Rendimento	%	2,41±0,97 ab*	1,48±0,98 b	3,06±0,60 a	2,19±0,66 ab
Densidade	g.mL ⁻¹	0,57±0,13 ns	0,41±0,30 ns	0,57±0,08 ns	0,64±1,6 ns

* Letras minúsculas representam teste de significância a 5% ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,05$, pelo teste F.

^{ns} Não significativo pelo teste F.

O teor de OE do tratamento T4 (ET+NPK) foi 27% maior que o do T2 (A+NPK), entretanto, esses tratamentos não foram significativamente diferentes pelo teste F a 5% de probabilidade. T3 (ET) e T5 (A+LH), mesmo apresentando teores de OE inferiores à T2, também não foram significativamente diferentes de T2. Elsokkary e Aboukila (2020) expõem que uma nutrição balanceada, conforme necessidades da cultura, corrobora com uma maior produtividade do OE do manjeriço. Verifica-se que os resultados estão em consonância aos dados apresentados das características morfológicas do manjeriço, em que os nutrientes fornecidos pelo ET e pelo LH são suficientes melhorar o rendimento de OE e estão biodisponíveis para melhor assimilação das plantas.

Na Tabela 6 estão apresentados os componentes do OE extraído das folhas do manjeriço. É importante frisar que os valores aqui apresentados são percentuais em relação às áreas do cromatograma obtido pelo GC/MS/EI e não a quantificação de cada composto.

Tabela 6: Componentes presentes no óleo essencial do manjeriço *limoncino*.

Composto	T2 (A+NPK)	T3 (ET)	T4 (ET+NPK)	T5 (A+LH)
β-thujene	4,31±0,38 ¹ a	1,65±1,10 b	4,35±1,09 a	3,82±2,20 ab
α-pinene	9,27±0,50 a	3,80±2,54 b	9,08±1,94 a	8,18±4,66 ab
camphene	0,32±0,18 AB	0±0 B	0,38±0,08 A	0,35±0,20 A
β-pinene	1,83±1,03 A	0±0 B	2,27±0,33 A	1,87±1,07 A
α-terpinolen	2,51±0,40 A	0±0 B	2,46±0,78 A	1,92±1,12 A
o-cymene	6,43±1,19 ns	7,03±4,41 ns	5,82±1,14 ns	5,76±3,31 ns
sylvestrene	3,87±0,41 ns	2,79±1,64 ns	3,65±0,87 ns	3,22±1,85 ns
eucalyptol	3,04±1,92 AB	0±0 B	4,41±1,74 A	3,58±2,13 AB
γ-terpinen	15,75±1,72 ns	10,39±5,99 ns	14,15±3,02 ns	12,57±7,23 ns
α-terpinolen (2)	1,98±0,27 A	0±0 B	1,80±0,78 A	1,47±0,84 A
α-terpineol	1,58±0,41 A	0±0 B	2,25±0,37 A	1,73±0,99 A
m-eugenol	2,89±1,76 ab	2,04±1,62 b	4,96±1,06 a	2,11±1,48 b
copaene	1,19±0,26 ns	1,15±0,65 ns	1,12±0,33 ns	1,16±0,51 ns
caryophyllene	11,32±2,77 ns	9,84±5,59 ns	10,35±2,99 ns	10,21±4,32 ns
α-bergamotene	26,97±2,69 ns	54,2±26,00 ns	26,76±5,13 ns	35,75±19,57 ns
bisabolene	6,14±1,50 ns	6,63±3,77 ns	5,42±1,71 ns	5,47±2,29 ns
δ-cadinene	0,60±0,58 ns	0,48±0,66 ns	0,77±0,30 ns	0,83±0,38 ns

¹ todas as unidades da tabela estão em %

* Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F.

** Letras minúsculas representam teste de significância a 5% ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,05$, pelo teste F.

^{ns} Não significativo pelo teste F.

De forma geral os tratamentos T2 (A + NPK), T4 (ET + NPK) e T5 (A + LH) foram bem semelhantes, tanto em número de componentes (17) quanto nos percentuais destes em relação a área do cromatograma (100%). Por outro lado, T3 (ET) apresentou uma composição menos diversificada, com apenas 11 compostos.

Esta diferença pode ser explicada pelo fato que o T3 floresceu mais tardiamente, e no momento da extração do óleo essencial as plantas dos tratamentos T2, T4 e T5 já estavam em estado de senescência. A senescência interfere significativamente na constituição e no rendimento dos óleos essenciais, visto que ela altera benéficamente a produção de metabólitos (KUMAR *et al.*, 2022).

O gênero *Ocimum*, conta com mais de 150 espécies, e a partir de cruzamentos genéticos, cresce amplamente em diversas regiões do mundo. Dito isto, diferenças morfológicas no gênero *Ocimum* determina muitas subespécies, variedades e formas produtoras de óleos essenciais com composição química diversificada oferecendo nível variável de potencial medicinal (PANDEY; SINGH; TRIPATHI, 2014).

CONCLUSÕES

O uso de esgoto tratado e lodo higienizado no cultivo de manjerição *limoncino* não causou efeitos adversos ao desenvolvimento da planta, nem na produção de óleo essencial. O tratamento 4 (ET+NPK) mostrou os resultados mais promissores, em relação aos parâmetros morfológicos do manjerição e ao rendimento de óleo essencial.

Em se tratando da composição do óleo essencial de manjerição *limoncino*, o uso de esgoto tratado com adubação química e lodo higienizado também não interferiram negativamente nos constituintes importantes do óleo essencial, mantendo-se a composição natural desta espécie de manjerição analisada.

O tratamento T5 (A+LH) apresentou o início da floração em menor espaço de tempo após o plantio, ao passo que também contribuiu para um rendimento significativo de óleo essencial em comparação ao do tratamento T2 (A+NPK), o qual representa o cultivo tradicionalmente empregado. Sugere-se, portanto, uma redução entre o tempo de plantio, a colheita e a extração do óleo essencial, contribuindo para um manejo mais eficiente.

Em suma, pode-se reduzir a demanda por água, principalmente em regiões semiáridas, além de incrementar a economia local, reduzindo custos com fertilizantes químicos e colaborando com a economia circular, onde o reúso de produtos de valor agregado advindos do tratamento de esgotos cada vez ganham maior espaço.

Recomenda-se estudos com proporções e manejos de irrigações variados, de forma que se possa otimizar custos e melhorar ainda mais a produção de óleo essencial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMEDA, A. F. *et al.* 2019. Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. Food Science and Human Wellness. 299-305.
2. ALMEIDA, J. P., VOLOTÃO, R. A. 2020. Produção nacional de fertilizantes: Estudo estratégico. Desenvolvimento Econômico. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. 26p.
3. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22nd ed., Washington, USA, 2012.
4. ASFORA, M. C. LIMA, M. LACERDA, M. R. S. Diagnóstico da seca 2011-2016 em Pernambuco: impactos e políticas de mitigação. Parcerias estratégicas v. 22, n. 44, p. 247-274. Brasília, 2017.
5. BRASIL. (2005) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 375, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2005.
6. BRASIL. (2020) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 21 ago. 2020.
7. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. 1997. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997, 212 p.

8. EMBRAPA. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas, SP, Ministério da Agricultura, 2010, 30 p.
9. ELSOKKARY I. H.; ABOUKILA A. F. (2020) Beneficial additive values of wastewater irrigation of two aromatic plants grown in low fertile soil, *Water Science*, 34:1, 132-142.
10. FAO/UTF/LEB/019/LEB. 2011. Guidelines for Wastewater Reuse in Agricultural Irrigation. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO/UTF/LEB/019/LEB, 2011).
11. HALECKI, W.; BEDLA, D. 2022. Global Wheat Production and Threats to Supply Chains in a Volatile Climate Change and Energy Crisis. *Resources*, V 11, N 118. <https://doi.org/10.3390/resources11120118>
12. KUMAR, N. *et al.* 2022. Rainfall induced premature senescence modulates biochemical and essential oils profiles in *Pelargonium graveolens* L'Hér. under sub-tropical climate. *Industrial Crops and Products*, Volume 178, 2022, 114630, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114630>.
13. LONIGRO A. *et al.* 2016. Faecal pollution on vegetables and soil drip irrigated with treated municipal wastewater. *Agricultural Water Management*. 66-73.
14. MARANGON, B. B. *et al.* 2020. Reuse of treated municipal wastewater in productive activities in Brazil's semi-arid regions. *Journal of Water Process Engineering*. 2214-7144
15. Andrezza S. Melo, Wanderli R. M. Leite, Mario T. Kato, Kenia K. Barros. Essential oil and linalool contents in basil (*Ocimum basilicum*) irrigated with reclaimed water. *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society* Vol 70 No 5, 773 doi: 10.2166/aqua.2021.057.
16. MINAS GERAIS. Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídrico (CERH) nº65. Diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte/MG, 2020.
17. MoE. 2001. Lebanese standards for wastewater treatment and release. Decision issued by the Ministry of Environment: Decision 8/1 on January 30, 2001.
18. NOODÉN, L.D.; LEOPOLD, A.C. Senescence and aging in plants. San Diego: Academic Press, 1988. 526p.
19. OFORI S. *et al.* 2021. Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science Total Environment*. 144026.
20. OSAKI, F. 1991. Calagem e adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola. 503 p.
21. PANDEY, A. K.; SINGH, P.; TRIPATHI, N. N. 2014. Chemistry and bioactivities of essential oils of some *Ocimum* species: an overview, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, Volume 4, Issue 9, 2014, Pages 682-694, ISSN 2221-1691, <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C77>.
22. PEREIRA, R. C. A.; MOREIRA, A. L. M. 2011. Manjerição – Cultivo e utilização. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, CE, 31p.
23. SANTOS, A. S. *et al.* 2004. Descrição de Sistema e de Métodos de Extração de Óleos Essenciais e Determinação de Umidade de Biomassa em Laboratório. EMBRAPA Amazônia oriental. Comunicado Técnico 99. Belém, PA. ISSN 1517-2244.
24. SILVA, M. V. *et al.* 2020. Uso de biossólido em plantios de espécies da Mata Atlântica. *Scientia Forestalis*, 48(126), e2728. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.16>
25. STUMPF, M. 2013. Óleos essenciais de plantas aromáticas para perfumar! Publicado em: <https://www.fazfacil.com.br/jardim/oleos-essenciais-de-plantas/>. Acesso em Dez, 2022.
26. TEIXEIRA, D. T. F. *et al.* 2015. Alterações no metabolismo do nitrogênio em plantas de noni sob duas condições hídricas. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; p. 89.
27. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Guidelines for water reuse. Washington, DC, USA. 2012.