



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**NATHÁLIA FELIX BOMFIM**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE ÓLEO ESSENCIAL  
EXTRAÍDO DO *Coriandrum sativum* CULTIVADO COM ÁGUA DE REÚSO**

Recife

2019

NATHÁLIA FELIX BOMFIM

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE ÓLEO ESSENCIAL  
EXTRAÍDO DO *Coriandrum sativum* CULTIVADO COM ÁGUA DE REÚSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato.

Coorientador: Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite.

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

B713a	<p>Bonfim, Nathália Felix. Avaliação quantitativa e qualitativa de óleo essencial extraído do <i>Coriandrum sativum</i> cultivado com água de reúso / Nathália Felix Bomfim. – 2019. 65 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato. Coorientador: Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019. Inclui Referências.</p> <p>1. Engenharia Civil. 2. Coentro. 3. Esgoto tratado. 4. Germinação. 5. Linalol. I. Kato, Mario Takayuki (Orientador). II. Leite, Wanderli Rogério Moreira (Coorientador). III. Título.</p>
624 CDD (22. ed.)	UFPE BCTG/2020-69

NATHÁLIA FELIX BOMFIM

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE ÓLEO ESSENCIAL  
EXTRAÍDO DO *Coriandrum sativum* CULTIVADO COM ÁGUA DE REÚSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 18 de dezembro de 2019.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayu Kato – UFPE \_\_\_\_\_

Coorientador: Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite – UFPE \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mario Takayuki Kato (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco - Campus Recife

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Examinador externo)  
Universidade Federal do Ceará

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kenia Kelly Barros da Silva (Examinadora externa)  
Universidade Federal de Pernambuco - Campus Caruaru

## AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares em especial aos meus pais, Edimilson e Andrea, que me ajudaram de diversas formas inclusive em atividades do projeto.

Ao meu orientador e Mário Kato pela confiança e orientação.

Ao meu coorientador Wanderli Leite por todas as contribuições.

À Prof. Kenia Silva por todas as contribuições e nossas agradáveis conversas sobre o tema.

Ao Prof. Ronaldo Stefanutti pelas contribuições.

Aos amigos que volta e meia me ajudavam a regar as plantas e tocar o projeto, um agradecimento especial ao Tiago Varela.

Aos alunos de IC Jadde Secundino, Adson Regis e em especial ao Gabriel Lyra.

Ao Gerson Filho pelas conversas filosóficas aleatórias que me ajudaram durante o processo.

À Andrezza Melo pelas dicas quentes sobre o processo de destilação.

À equipe do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), em especial aos técnicos que sempre se demonstraram dispostos a ajudar.

Agradeço ao apoio recebido da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis, do Centro de Apoio à Pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco - CENAPESQ e da Companhia Pernambucana de Saneamento - Compesa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudos e auxílio financeiro.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

A irrigação com água de reuso, proveniente de estações de tratamento de esgotos domésticos, pode ser uma alternativa atraente para a agricultura, já que o efluente tratado contém nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas e ajuda a mitigar o problema da escassez de água. O objetivo desse trabalho foi comparar o efeito do esgoto tratado na germinação, desenvolvimento e produção de óleo essencial (OE) das sementes do coentro verdão (*Coriandrum sativum*). O delineamento experimental utilizado consistiu em 2 experimentos: o experimento 1, escala de bancada, para avaliar a germinação, com 2 tratamentos (água destilada e esgoto tratado), 3 repetições e duração de 21 dias; e o experimento 2, em casa de vegetação, com 7 tratamentos (CT1-A, CT2-A+K, CT3-A+NPK, CT4-E, CT5-E+K<sub>p</sub>, CT6-E+N<sub>p</sub>+P+K<sub>p</sub>, CT7-E+NPK), 5 vasos cada, e duração de 60 dias. O uso de esgoto tratado no experimento 1 beneficiou a germinação, pois proporcionou maiores valores de velocidade de germinação, de germinação potencial e do tempo médio de germinação; como também proporcionou melhores condições de desenvolvimento da plântula, já que a concentração de proteínas solúveis (7,20 mg.g<sup>-1</sup>) e clorofila totais (0,81 mg.g<sup>-1</sup>) foram maiores do que os valores para água destilada (5,58 e 0,51 mg.g<sup>-1</sup>, respectivamente). No experimento 2, o diâmetro do caule e a altura média das plantas também foram estatisticamente iguais ou maiores ( $p \leq 0,05$ ) nos testes com esgoto tratado (CT4, CT5, CT6 e CT7) do que nos testes com água (CT1, CT2 e CT3); bem como a concentração de nitrogênio nas folhas inferiores (CT1 e CT4 de 21,70 e 29,43 mg de N.kg<sup>-1</sup> de biomassa seca (BS), respectivamente); a produção média de sementes foi de 11,7 (CT1) para 16,2 g/100g de BS (CT4). Além disso, a concentração de OE nas sementes foi maior no tratamento CT4 (0,55 %) do que no CT1 (0,52 %); A concentração de linalol no OE também foi maior para CT4 (39,3 %) do que em CT1 (32,4 %). Portanto, a irrigação com água de reuso de origem doméstica foi considerada adequada para o cultivo de coentro verdão destinado à extração de OE de suas sementes, apresentando benefícios durante a germinação e estágios posteriores de desenvolvimento da planta.

Palavras-chave: Coentro. Esgoto tratado. Germinação. Linalol.

## ABSTRACT

Irrigation with reuse water from domestic sewage treatment plants can be an attractive alternative for agriculture, since the treated effluent contains nutrients necessary for the development of plants and helps to mitigate water scarcity. The objective of this work was to compare the effect of treated sewage on the germination, development and production of essential oil seeds (OE) from coriander green (*Coriandrum sativum*). The layout experimental consisted of 2 experiments, one bench to evaluate germination in triplicate and lasting 21 days, and another in greenhouse with 7 treatments (CT1-A, CT2-A+K, CT3-A+NPK, CT4-E, CT5-E+K<sub>p</sub>, CT6-E+N<sub>p</sub>PK<sub>p</sub> and CT7-E+NPK) with 5 pot each and lasting 60 days. The use of sewage treated in Experiment 1 benefited germination, as it provided higher values for germination speed, potential germination and average germination time; but also provided better conditions for seedling development, since the concentration of soluble proteins (7.20 mg.g<sup>-1</sup>) and total chlorophyll (0.81 mg.g<sup>-1</sup>) were higher than the values for distilled water (5.58 and 0.51 mg.g<sup>-1</sup>, respectively). In Experiment 2, the stem diameter and the average height of the plants were also statistically equal or greater ( $p \leq 0.05$ ) in the tests with treated sewage (CT4, CT5, CT6 and CT7) than in the tests with water (CT1, CT2 and CT3 as well as the nitrogen concentration in the lower leaves (CT1 and CT4 of 21.70 and 29.43 mg of N.kg<sup>-1</sup> of dry biomass (BS), respectively); the average seed production was 11.7 (CT1) to 16.2 g / 100g of BS (CT4). Furthermore, the concentration of OE in the harvested seeds, which was extracted by hydro distillation, was higher in the CT4 treatment (0.55%) than in the CT1 (0.52%); The concentration of linalool in OE was also higher for CT4 (39.3%) than in CT1 (32.4%). Therefore, irrigation with domestic reuse water was considered adequate for the cultivation of green coriander for the extraction of OE from its seeds, presenting benefits during germination and later stages of plant development.

Keywords: Coriander. Treated sewage. Germination. Linalool.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes funções químicas atribuídas a monoterpenos e monoterpenóides.....	18
Figura 2 – Esquema dos parâmetros mais utilizados para modelos matemáticos para explicar a absorção de nutrientes pelas raízes no solo .....	20
Figura 3 – Representação esquemática dos componentes da célula vegetal .....	21
Figura 4 – Esquemática de várias vias biossintéticas de produtos do metabolismo secundário a partir do metabolismo primário .....	23
Figura 5 – Estrutura química de alguns terpenos com os resíduos de isopreno em destaque, exemplificando a “regra do isopreno” .....	25
Figura 6 – Representação esquemática das duas rotas metabólicas referente à síntese de terpenos/terpenóides: via do mevalonato (HMG-CoA).....	26
Figura 7 – Esquema que descreve os possíveis mecanismos envolvidos na modulação mediada por nanopartículas (NP) do metabolismo secundário das plantas.....	27
Figura 8 – Análise física do solo através do ensaio de granulometria do solo .....	32
Figura 9 – Esquema do experimento de germinação - emergência de plântula.....	32
Figura 10 – Esquema do experimento de cultivo das plantas.....	33
Figura 11 – Bandeja de germinação utilizada no experimento. ....	34
Figura 12 – Folha primária intacta, levemente danificada e danificadas, para avaliação de plântulas com defeito no coleóptilo.....	36
Figura 13 – Vasos na casa de vegetação.....	38
Figura 14 – Esquema do posicionamento dos tratamentos na casa de vegetação.....	39
Figura 15 – Volume de irrigação por vaso em função da tensão hídrica no solo.....	40
Figura 16 – Frequência relativa de emergência de plântula valores médios para os tratamentos irrigados com água e com esgoto tratado.....	47
Figura 17 – Medidas de clorofila e proteína solúvel das plântulas germinadas do experimento 1. ....	48
Figura 18 – Altura média das plantas por tratamento nos 10º, 26º e 60º dia pós-semeadura – experimento 2 .....	51
Figura 19 – Diâmetro do caule das plantas no 60º dia pós-semeadura – experimento 2 .....	52
Figura 20 – Resultados das análises de resíduos minerais nas folhas superiores, folhas inferiores, caule e raízes das plantas por tratamento – experimento 2 .....	53
Figura 21 – Concentração de nitrogênio nas partes das plantas por tratamento – experimento 2 .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Elementos principais e elementos minerais nas folhas e sementes do <i>Coriandrum sativum</i> .....	17
Tabela 2 – Concentração e composição do óleo essencial na semente de coentro .....	19
Tabela 3 – Casos mais comuns de efeitos interiônicos .....	22
Tabela 4 – Características das águas de irrigação .....	30
Tabela 5 – Resultados da análise das características de fertilidade do solo.....	31
Tabela 6 – Irrigação das plantas e adubação química do solo por tratamento no experimento 2.....	39
Tabela 7 – Condições cromatográficas para a separação dos componentes essenciais do OE de coentro por GC/MS-EI.....	43
Tabela 8 – Índices de emergência de plântulas – experimento 1 .....	45
Tabela 9 – Altura e peso das plântulas do teste de emergência .....	49
Tabela 10 – Rendimento dos óleos essenciais das sementes colhidas por tratamento – experimento 2.....	55
Tabela 11 – Composição percentual da área dos picos para os compostos que foram identificados nos óleos essenciais extraídos das sementes em 4 tratamentos selecionados .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFRA	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Essenciais, Produtos Químicos Aromáticos, Fragrâncias, Aromas e Afins
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Absorbância
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
APHA	<i>American Public Health Association</i>
BS	Biomassa seca
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
°C	Graus Celsius
CT	Carbono total
DAS	Dias antes da semeadura
DBO	Demanda bioquímica de Oxigênio
DPS	Dias pós-semeadura
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IDH	Índice de desenvolvimento humano
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
IFRA	<i>International Fragrance Association</i>
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
NBR	Norma Brasileira
OE	Óleo essencial
OESC	Óleo essencial da semente do coentro
Tmax	Temperatura máxima
Tmin	Temperatura mínima
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
v/v	Volume por volume
WHO	<i>World Health Organization</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa e motivação .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Aspectos referentes à cultura de <i>Coriandrum sativum</i> .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Óleo essencial.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Óleo essencial de <i>Coriandrum sativum</i> .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Absorção, transporte e redistribuição de nutrientes nas plantas .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Metabolismo secundário - a biossíntese dos óleos essenciais .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Impactos da irrigação com esgoto sanitário no metabolismo secundário.....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Sementes de coentro.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Esgoto tratado .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Características das águas de irrigação .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Solo .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Experimentos com <i>Coriandrum sativum</i> .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5</b>	<b>Experimento de germinação – teste de emergência de plântula – Experimento 1</b>	<b>33</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Layout do experimento 1 .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Determinação da proteína solúvel total .....</b>	<b>34</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Determinação de clorofila e carotenoide .....</b>	<b>34</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Determinação de índices de germinação .....</b>	<b>35</b>
<b>3.5.5</b>	<b>Análise estatística do teste de emergência.....</b>	<b>37</b>
<b>3.6</b>	<b>Experimento de cultivo de <i>Coriandrum sativum</i> em vasos – Experimento 2.....</b>	<b>38</b>
<b>3.7</b>	<b>Determinação dos parâmetros analisados na planta .....</b>	<b>41</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Altura e diâmetro do caule.....</b>	<b>41</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Pré-preparo das amostras das plantas .....</b>	<b>41</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Análises químicas das plantas.....</b>	<b>41</b>
<b>3.7.4</b>	<b>Análise estatística dos parâmetros das plantas .....</b>	<b>42</b>
<b>3.8</b>	<b>Extração de óleo essencial .....</b>	<b>42</b>
<b>3.9</b>	<b>Cromatografia gasosa e espectrometria de massa (CG-MS).....</b>	<b>43</b>

3.9.1	Análise de linalol .....	43
3.9.2	Análise para quantificação dos compostos presentes no OE.....	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Experimento de emergência das plântulas – experimento 1.....</b>	<b>45</b>
4.1.1	Medidas de emergência das plântulas.....	45
4.1.2	Medidas de clorofila e proteína solúvel nas plântulas .....	47
<b>4.2</b>	<b>Cultivo em casa de vegetação e sua produtividade – experimento 2.....</b>	<b>50</b>
4.2.1	Altura e diâmetro do caule.....	50
4.2.2	Resíduo mineral .....	52
4.2.3	Análise de nitrogênio .....	54
4.2.4	Óleo essencial das sementes colhidas.....	55
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da Idade do Bronze (3200 – 1100 aC), o esgoto doméstico tem sido usado para irrigação e aquacultura por várias civilizações, na China e no Oriente, Egito, Vale do Indo e Mesopotâmia e Creta (ANGELAKIS, *et al.* 2018). Nos últimos anos, o esgoto tratado tem se apresentado como recurso renovável para irrigação agrícola e seu uso está se tornando comum em diversos países. No ano de 2012, mais de 85% das águas residuárias tratadas em Israel foram usadas para irrigação de culturas. Na Espanha, em 2010 esses valores chegaram a cerca de 71%, enquanto que em 2015, no estado da Califórnia, cerca de 20% das águas residuárias coletadas e tratadas foram utilizadas na agricultura (REZNIK *et al.*, 2017).

O uso planejado do esgoto tratado na agricultura é uma técnica atrativa, já que o efluente contém os principais nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, além de outros micronutrientes necessários para o desenvolvimento da planta. Devido a isso, o seu uso efetivo na irrigação pode proporcionar redução significativa ou total dos gastos com fertilizantes e água de qualidade superior, a depender da necessidade nutricional da cultura e das características do solo e do efluente (MOTA e VON SPERLING, 2009).

Existem locais com condições edafoclimáticas desfavoráveis à agricultura, como o semiárido Brasileiro, que se caracteriza pela escassez e irregularidade de chuvas, sendo delimitado pelas Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017 com precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, índice de aridez de Thonthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2018). Essas características climáticas, combinadas com solo e água de reúso para irrigação adequados, possibilitam o cultivo de diversas espécies de plantas, as quais podem ser utilizadas na produção de produtos de valor agregado, como, por exemplo, os óleos e as essências.

O Brasil tem-se destacado por ser o quarto maior produtor mundial de óleos essenciais (OE) e o primeiro em OE cítricos no comércio de essências. A indústria perfumista mundial tem-se interessado pelo Brasil, não somente como mercado, mas por ser um rico depósito natural de essências aromáticas exclusivas da região. A empresa Natura tem uma linha que utiliza produtos característicos da Amazônia e a multinacional de essências Givaudan recentemente fez um acordo com a Embrapa, com o objetivo de identificar novos ingredientes e OE a partir de plantas aromáticas do Cerrado (DINIZ, 2015).

Além de aromatizantes utilizados na perfumaria e cosmética, os óleos essenciais e vegetais podem ser utilizados na culinária e na saúde, por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: anti-inflamatória, antimicrobiana, antioxidante, analgésica, vermífuga, digestiva, antibiótica, prevenção de calvície, diminuir problemas digestivos, enjoos, cólica e vômito, serve em tratamentos de dermatite, sarna, acne, alergia, queimadura, frieira, combate a impotência, entre outros benefícios ( ABIDO, 2017; DIEDERICHSEN, 1996).

O coentro é uma planta aromática e uma das hortaliças mais comercializadas no Brasil, ficando entre as 50 espécies mais comercializadas no país. Sendo uma cultura de ciclo curto, 50 a 60 dias, possui boa produtividade em climas quentes (EMBRAPA, 2010). Uma das grandes vantagens do coentro é que diferentes partes da planta podem ser usadas, tais como as sementes, a planta em si jovem ou adulta, ou mesmo os OE extraídos das mesmas (DIEDERICHSEN, 1996).

A produção e extrativismo de plantas aromáticas pode ser uma alternativa ao pequeno produtor do semiárido, que pode comercializar este produto *in natura* ou desidratado; ou para a produção de OE e extratos, entre outros produtos com maior valor agregado. O esgoto tratado pode ser utilizado como insumo agrícola, o que pode beneficiar o lucro do produtor. Para isso, são necessários mais estudos e pesquisas sobre a influência do uso de esgoto tratado para o cultivo de espécies, com o objetivo de extração de óleos essenciais. Nesse contexto, o presente trabalho visa a integração da agricultura com o saneamento ambiental para fins de verticalização agrícola, visando a produção de óleos essenciais, em que a água de reuso pode ser uma alternativa para o cultivo de espécies de interesse industrial no semiárido pernambucano.

## 1.1 Objetivo

- Avaliar a germinação do coentro verdão irrigado com efluente tratado;
- Avaliar a produtividade e desenvolvimento do coentro verdão irrigado com efluente tratado;
- Avaliar a qualidade da cultura cultivada;
- Avaliar a produtividade do óleo essencial extraído da semente do coentro cultivado com efluente tratado;
- Avaliar a qualidade do óleo essencial sob o ponto de vista da concentração de linalol.

## 1.2 Justificativa e motivação

Ultimamente a demanda por sistemas de esgotamento sanitário vem crescendo, mas devem ser atendidas as regulamentações vigentes, em especial no tocante ao grau de tratamento, ao destino final dos esgotos e à qualidade das águas. Esta preocupação fez com que novas leis e punições pertinentes ao tema fossem criadas e colocadas em prática. O uso de esgoto tratado na agricultura pode ser uma alternativa atrativa nas esferas legal, econômica, social e ambiental, por isso a importância de revisar, melhorar e realizar trabalhos nesse tema.

O uso de efluentes tratados pode ser uma alternativa para agropecuária em locais como o semiárido, que sofrem por longos períodos de seca. A região do semiárido brasileiro abrange uma área territorial de 1,03 milhão de km<sup>2</sup>, o que representa 12% do território brasileiro e 1262 municípios distribuídos nos nove estados da Federação (MINISTÉRIO da INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017). Assim, diferentes pontos de vista nas esferas social, ambientais, legais e científicos podem ser elucidados para justificar esta proposta.

Do ponto de vista social, a escassez está relacionada ao índice de desenvolvimento humano (IDH). O semiárido concentra 50 % dos mil piores valores de IDH (MINISTÉRIO da INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017). Nesse contexto, a água de reuso pode ser uma alternativa à produção agrícola nesses locais, permitindo por exemplo, o cultivo de plantas aromáticas. Estas podem ser utilizadas para gerar produtos de valor agregado, como óleos e essências ao agricultor familiar. Esse pode comercializar o produto *in natura*, desidratado ou verticalizar a produção de óleos e essências naturais, nesse cenário, melhorar a economia e a qualidade de vida.

Do ponto de vista legal, óleos e essências possuem legislação aplicável a cada uma das áreas relacionadas, conforme a destinação do OE (alimentação, medicamentos, cosmético, etc.) e de acordo com os regulamentos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Para garantir a segurança das fragrâncias e dos ingredientes utilizados no processo de fabricação e divulgar os requisitos de conformidade dos produtos destinados ao mercado externo, a *International Fragrance Association* (IFRA) possui um Manual de Boas Práticas de Fabricação. No Brasil, ela é representada pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Essenciais, Produtos Químicos Aromáticos, Fragrâncias, Aromas e Afins (ABIFRA). Nesse contexto, o estudo do cultivo utilizando efluente tratado, pode auxiliar na definição de novos padrões ou ajustes que eventualmente são modificados pelo uso de água não potável.

O Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) tem conduzido diferentes pesquisas com foco na viabilidade do uso de efluente e/ou lodo tratado na agricultura (SILVA, 2011), como de análise de reposição nutricional (SOUZA FILHO, 2017) e produtividade (MONTEIRO, 2009). O grupo também atua em novas frentes de estudo como: estudo da supressividade de nematoides (BARROS, 2012), da teoria da trofobiose e biofortificação (SILVA, 2017) e mais recentemente o efeito do uso de esgoto tratado na produtividade de óleo essencial, conduzido no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) da UFPE, campus Agreste, com o apoio do LSA (MELO, 2018). Assim, a presente pesquisa se insere nessa temática de novas frentes, buscando integrar os estudos já consolidados, mas, visando consolidar uma nova fronteira que é avaliar os efeitos nos OE extraídos de plantas que foram cultivadas utilizando como insumo efluente tratado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico do presente trabalho foi estruturado em tópicos, a saber: aspectos referentes à cultura de *Coriandrum sativum*, óleo essencial; absorção e redistribuição de nutrientes nas plantas; metabolismo secundário – a biossíntese dos óleos essenciais; e impactos da irrigação com esgoto sanitário.

### 2.1 Aspectos referentes à cultura de *Coriandrum sativum*

*Coriandrum sativum* L., coentro, pertence à família *Umbelliferae* / *Apiaceae*, é uma planta herbácea anual, com a raiz pivotante do tipo fusiforme e que pode atingir alturas que vão de 0,30 a 0,60 m, na fase vegetativa, e até 1,40 m durante a floração. A espécie possui caule ereto e simpodial. O caule da planta adulta é oco e sua base pode ter até 0,02 m de diâmetro (DIEDERICHSEN, 1996).

A planta de coentro apresenta diversidade foliar, formando diferentes classes de folhas à medida que se desenvolve. As folhas são compostas, profundamente partidas e com disposição alternada. As primeiras folhas (inferiores) são do tipo pinatífidas e as demais vão de bi a pentapinatífidas com grande redução da área foliar. As flores do coentro são pequenas, hermafroditas e reunidas em uma inflorescência do tipo umbrela composta. O seu fruto é um diaquênio (de 2 aquênios), ovóide e globuloso (DIEDERICHSEN, 1996).

O pendoamento precoce é característica indesejável no cultivo de coentro, quando o objetivo é a comercialização de massa verde, pois reduz o número de folhas em detrimento da formação de pendões florais. Contudo, quando o foco é a produção de sementes, o pendoamento precoce é desejável porque acelera a produção de sementes. A cultivar verdão apresenta 100% de apendoamento após 58 dias do plantio (OLIVEIRA, *et al.* 2007).

O coentro geralmente apresenta ciclo de 45 dias, após esse período a planta entra em estágio reprodutivo, emitindo o pendão floral. Algumas hortaliças podem ter seu período reprodutivo acelerado, a partir da submissão do cultivo a temperatura acima do nível recomendado, onde as mesmas passam a emitir o pendão floral; no coentro, temperaturas acima de 25°C favorecem a produção de sementes (FILGUEIRA, 2003).

O coentro é descrito como rico em vitaminas C, K e também proteínas. Além disso, é uma excelente fonte de fibras, ferro, manganês, cálcio, ferro, fósforo, caroteno e niacina (FILGUEIRA, 2003). Os principais elementos nas folhas cruas, secas e sementes são água e

proteína. Os valores dos principais elementos nutricionais na folha e na semente do *Coriandrum sativum* são descritos na Tabela 1 (IBGE, 2011).

Tabela 1 – Elementos principais e elementos minerais nas folhas e sementes do *Coriandrum sativum*

Componente	Folha seca (1 kg)	Folha crua (1 kg)	Semente (1kg)
Água (g)	73	922,1	88,60
Valor energético (kcal)	2790	230	2980
Proteína (g)	219,3	21,3	123,7
Gorduras totais (g)	47,8	5,2	177,7
Fibra alimentar (g)	104	28	419
Cinzas (g)	140,8	14,7	60,2
Cálcio (mg)	12460	670	7090
Ferro (mg)	424,6	17,7	163,2
Magnésio (mg)	6940	260	3300
Fósforo (mg)	4810	480	4090
Potássio (mg)	44660	5210	12670
Sódio (mg)	2110	460	350
Zinco (mg)	47,2	5	47
Cobre (mg)	17,86	--	9,75
Manganês (mg)	66,55	--	19
Selênio (µg)	293	--	262

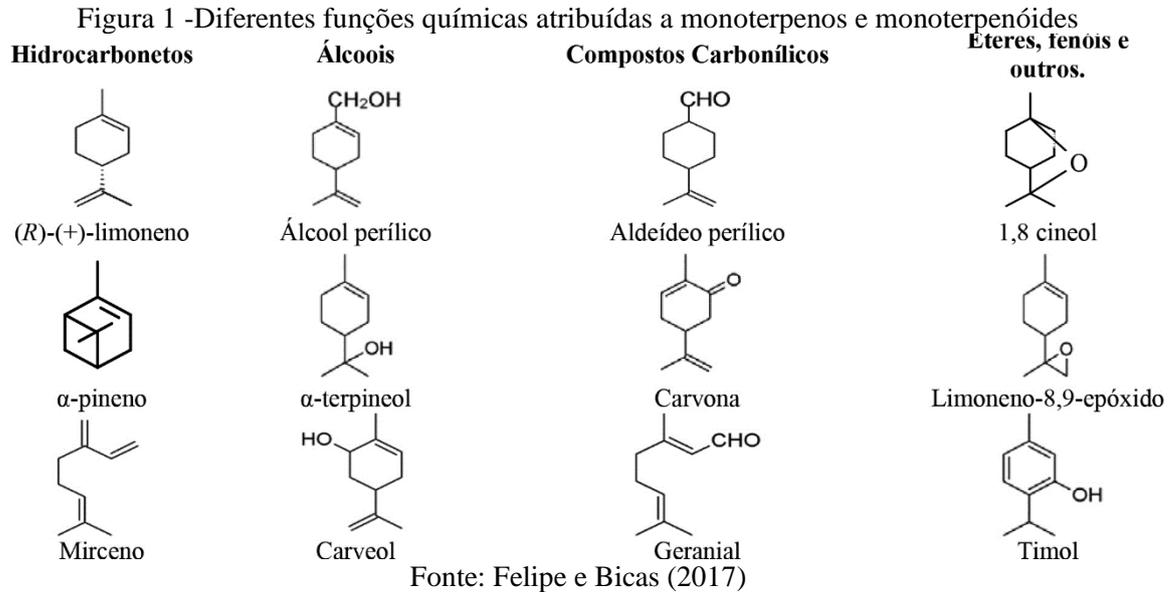
Fonte: A Autora (2019).

Dados obtidos das tabelas de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil (IBGE, 2011);

## 2.2 Óleo essencial

Os óleos essenciais são uma mistura complexa de compostos e existem muitos fatores que podem influenciar a sua produção e composição, sendo eles de natureza fisiológica, ambiental, geográfica, genética, armazenamento, entre outros. Os fatores de ordem fisiológica estão relacionados com o estágio de desenvolvimento no qual se encontram os tecidos e órgãos dos quais se isolam os óleos. Se forem órgãos maduros, vão ter composições distintas às dos jovens, que ainda não desenvolveram por completo as vias biossintéticas de produção dos compostos e os locais de síntese e acumulação. Não só o estágio de desenvolvimento é importante quando do estabelecimento do perfil de voláteis de uma planta, mas a escolha do material vegetal também influencia grandemente este mesmo perfil. Pode haver modificações consoante o órgão estudado (flores, caules, sementes, raízes); é nas flores que se encontram a maior parte dos compostos voláteis e com também a maior diversidade dos mesmos, ao contrário do que ocorre nos tecidos vegetativos que produzem pouca quantidade de óleos. (BEYZI, 2017; NADEEM, 2013).

De forma geral, os óleos essenciais são constituídos majoritariamente por terpenos ou seus derivados. Tais substâncias constituem-se como um extenso grupo de moléculas orgânicas, Figura 1, produzidas como metabólitos secundários, em bactérias, nos fungos e, principalmente, nas plantas, para evitar estresses promovidos por agentes externos (FELIPE e BICAS, 2017).



### 2.2.1 Óleo essencial de *Coriandrum sativum*

*Coriandrum sativum* L. contém óleo essencial (OE) em suas folhas, caule, flores e frutos (sementes) que são amplamente utilizadas na medicina popular, além de serem usadas como tempero na preparação de alimentos. O OE e os extratos de *C. sativum* possuem atividades antibacterianas, antifúngicas e antioxidantes promissoras como vários componentes químicos em diferentes partes da planta, que proporciona a manutenção do prazo de validade dos alimentos, evitando sua deterioração. O OE desta planta não é considerado tóxico para os seres humanos e, portanto, o OE de pode ser usado de diferentes maneiras, nos alimentos, como aromatizantes e conservantes; em produtos farmacêuticos, com ação terapêutica; bem como em perfumes, na produção de fragrâncias e loções (MANDAL S. e MANDAL M., 2015).

A concentração de óleo essencial na semente do coentro (OESC) varia bastante, sendo relatado valores na faixa de 0,03 a 2,6% (DIEDERICHSEN, 1996), Tabela 2; assim, como a concentração e composição dos principais componentes. O álcool linalol é considerado o composto principal do OESC, representando de 60 a 89% de sua composição (NADEEM, *et al.* 2013).

Tabela 2 – Concentração e composição do óleo essencial na semente de coentro

Rendimento de OE das sementes (%)		Autor			
0,03 a 2,6		Diederichsen (1996)			
0,15±0,10		Anwar, <i>et al.</i> (2011)			
0,84		Nadeem, <i>et al.</i> (2013)			
0,30 a 0,38		Beyzi, <i>et al.</i> (2017)			
Grupo químico	Composição	Beyzi, <i>et al.</i> (2017)	Nadeem, <i>et al.</i> (2013)	Anwar, <i>et al.</i> (2011)	Diederichsen, (1996)
álcoois	linalol	89,46	60 a 80	69,60	67,73
	geraniol	1,84	1,2 a 4,6	0,18	1,9
	terpinen-4-ol	0,20	3	0,39	<2
	α-terpineol	0,28	0,5	0,03	<2
hidrocarbonetos	γ-terpineno	1,99	1 a 8	4,17	9,0
	r-cimeno	0,35	3,5	1,12	<2
	limoneno	0,27	0,5 a 4,0	0,26	<2
	α-pineno	0,47	0,2 a 8,5	1,63	10,5
	canfeno	--	1,4	0,02	<2
cetonas	mirceno	--	0,2 a 2,0	0,18	<2
	cânfora	2,79	0,9 a 4,9	0,38	3,0
ésteres	acetato de geranil	1,88	0,1 a 4,7	4,99	4,0

Fonte: A Autora (2019).

O linalol (3,7-dimetil-octa-1,6-dien-3-ol), *linalool*, com número de registro *Chemical Abstracts Service* (CAS) 78-70-6 e fórmula molecular  $C_{10}H_{18}O$ , é um monoterpeno acíclico, encontrado nos óleos essenciais de diversas espécies vegetais, como no de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), sacaca (*Croton cajucara*), coentro (*Coriandrum sativum*), lavanda e manjeriço (*Ocimum basilicum*). Trata-se de um álcool terciário que possibilita a existência de dois enantiômeros (moléculas que são imagens no espelho uma da outra e não são sobreponíveis, nem por rotação, nem por translação) por conta de seu átomo de carbono assimétrico: o (+) linalol, descrito como adocicado, cítrico e herbáceo, e o (-) linalol, descrito como odor amadeirado, floral e refrescante (AZAMBUJA, 2019).

### 2.3 Absorção, transporte e redistribuição de nutrientes nas plantas

Para que o nutriente seja absorvido, ele tem que estar na solução do solo, na forma iônica adequada e precisa ocorrer o contato íon-raiz. Segundo Prado (2008) o contato íon-raiz pode ocorrer de 3 formas:

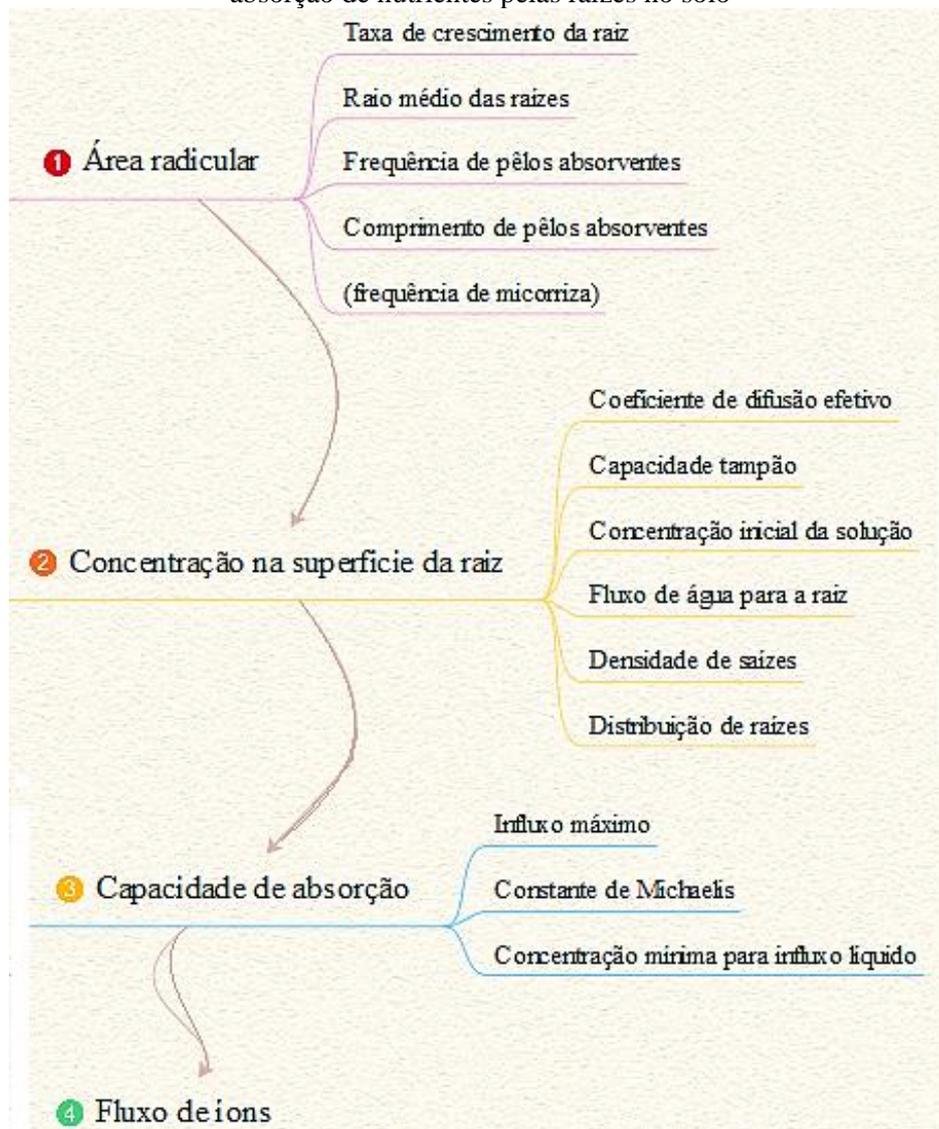
1 - Fluxo de massa. Ocorre com o movimento do nutriente junto com a solução do solo, esse movimento ocorre devido ao gradiente de concentração de água dentro da planta, o gradiente de concentração é influenciado pela transpiração da planta;

2 – Difusão. Ocorre com a movimentação do nutriente próximo ao sistema radicular (geralmente para nutriente de baixa mobilidade);

3 - Interceptação radicular. Ocorre quando a raiz cresce e intercepta o nutriente.

Um conjunto de fatores externos (do meio; solo e água de irrigação) e internos (da planta; espécie) têm sido enumerados como influentes no processo de absorção dos nutrientes pelas raízes. Um esquema dos parâmetros, descritos por Clarkson (1985 *apud* FAQUIN, 2005), tem sido utilizado para elaboração de modelos matemáticos, com a finalidade de explicar a absorção de nutrientes pelas raízes no solo, pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema dos parâmetros mais utilizados para modelos matemáticos para explicar a absorção de nutrientes pelas raízes no solo



Fonte: Adaptado de Clarkson (1985).

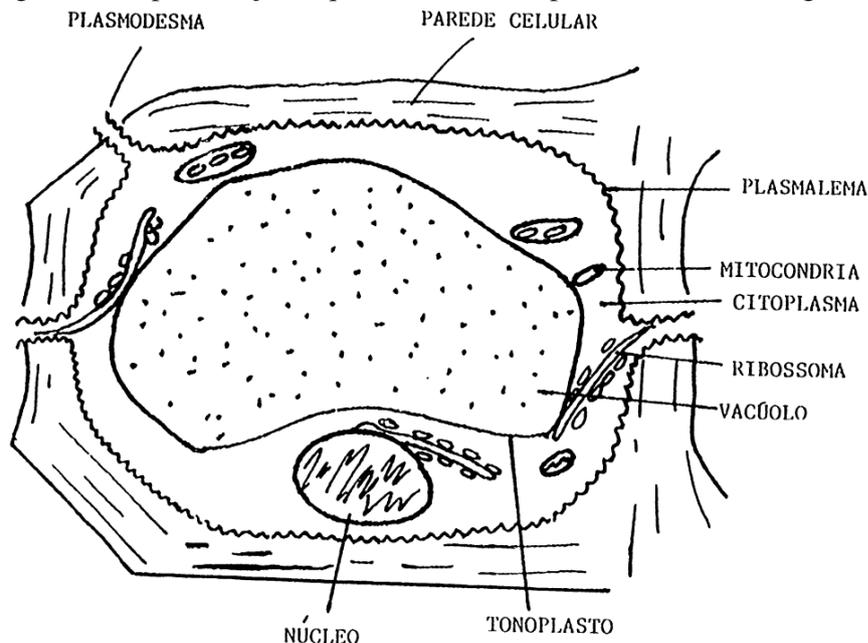
<sup>1</sup>Fatores morfológicos; <sup>2</sup>Fatores do solo; <sup>3</sup>Fatores de absorção; <sup>4</sup>

Segundo Faquin (2005), as raízes podem absorver íons de uma solução em função do tempo através de dois tipos de mecanismo de absorção:

- 1 - Mecanismo passivo. Influenciado indiretamente pela capacidade de troca de cátions (CTC); o elemento (nutriente = íon) entra sem que a célula necessite gastar energia, deslocando-se de uma região de maior concentração, a solução externa, para outra de menor concentração, a qual corresponde à da parede celular, dos espaços intercelulares e da superfície externa do plasmalema. O mecanismo passivo é rápido e reversível.
- 2 - Mecanismo ativo. Trata-se da ocupação do simplasto radicular e corresponde ao elemento atravessar a barreira lipídica (gordurosa) da plasmalema, atingindo o citoplasma. Deste, o elemento pode chegar ao vacúolo depois de vencer a outra barreira representada pelo tonoplasto. Para isso, a célula tem que gastar energia (ATP) fornecida pela respiração, uma vez que os elementos (nutrientes) caminham de uma região de menor concentração do espaço livre aparente (ELA) para outra de maior concentração. O mecanismo ativo é lento e irreversível; o elemento só deixa o citoplasma ou o vacúolo se as membranas forem danificadas.

“Portanto, as membranas plasmáticas são as responsáveis pela seletividade na absorção de cátions e ânions e constituem-se numa efetiva barreira para a difusão de íons para o citoplasma (influxo) ou no sentido contrário, do citoplasma para o ELA (efluxo)” (FAQUIN, 2005). A Figura 3, mostra esquematicamente uma célula vegetal.

Figura 3 – Representação esquemática dos componentes da célula vegetal



Fonte: Faquin (2005).

Os mecanismos para a absorção ativa, metabólica, ainda não está totalmente esclarecido. É aceito que um íon ou uma molécula para serem absorvidos requerem uma ligação específica com um “carregador”, e existe uma exigência direta ou indireta de energia para que o transporte seja realizado (FAQUIN, 2005).

Os nutrientes absorvidos são transportados para a parte aérea das plantas e vão participar dos processos biológicos e bioquímicos, formando compostos e atuando como ativadores enzimáticos. Quando não ocorre a absorção de quantidades adequadas e balanceada de nutrientes, às plantas podem manifestar sintomas de deficiências nutricionais (PRADO, 2008).

Os nutrientes que demonstram sintomas de ausência nas folhas velhas são os nutrientes móveis como: nitrogênio ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), fósforo ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Os nutrientes que apresentam as deficiências nas regiões novas e nos pontos de crescimento são o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), enxofre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), boro ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ), cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganês (Mn) e o Zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ). A deficiência de cada nutriente acarretará características específicas de acordo com suas participações nos processos fisiológicos e bioquímico das plantas (PRADO, 2008).

Como a solução no solo apresenta uma gama altamente heterogênea de íons, a presença de um pode modificar a velocidade de absorção de outro de duas maneiras: inibição e sinergismo. Na Tabela 3 podem ser observados os casos mais comuns de efeitos entre íons.

Tabela 3 – Casos mais comuns de efeitos interiônicos

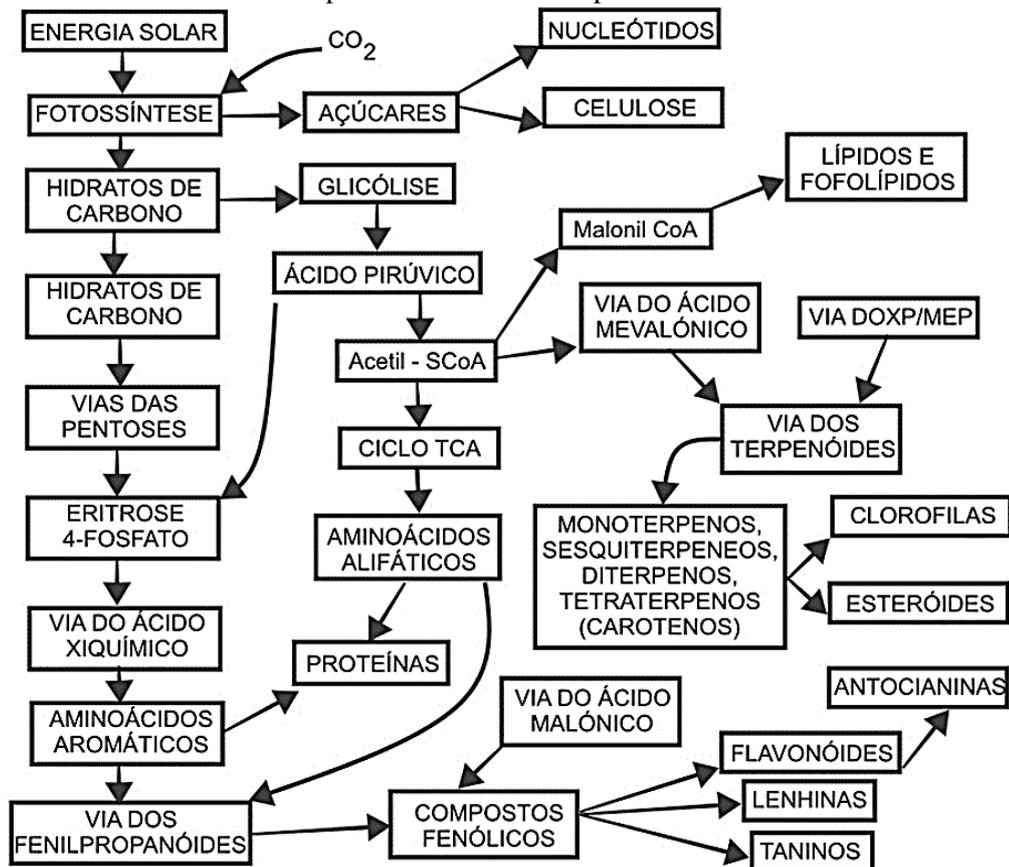
<b>Íon</b>	<b>Segundo íon presente</b>	<b>Efeito do segundo sobre o primeiro</b>
$\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	Inibição competitiva
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{Al}^{3+}$	Inibição não competitiva
$\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$	Inibição competitiva
$\text{H}_2\text{BO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$	Inibição não competitiva
$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$ (alta concentração)	Inibição competitiva
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{SeO}_4^{2-}$	Inibição competitiva
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	Inibição competitiva
$\text{MoO}_4^{2-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	Inibição competitiva
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	Inibição competitiva
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	Inibição competitiva
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{H}_2\text{BO}_3^-$	Inibição não competitiva
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Mn}^{2+}$	Inibição competitiva
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	Inibição competitiva
$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$ (baixa concentração)	Sinergismo
$\text{MoO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	Sinergismo
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{MoO}_4^{2-}$	Inibição não competitiva

Fonte: Malavolta (1989 *apud* FAQUIN 2005).

## 2.4 Metabolismo secundário - a biossíntese dos óleos essenciais

As famílias de metabolitos secundários podem ser classificadas de forma geral em três grupos de compostos: os fenólicos, os terpênicos e os nitrogenados e sulfúricos. Os compostos secundários são produzidos a partir de alguns intermediários do metabolismo primário; as vias de produção de precursores dos compostos secundários são a glicólise, o ciclo TCA, as vias dos aminoácidos alifáticos e aminoácidos aromáticos, a via das pentoses e a via do ácido xiquímico, entre outras. Na Figura 4 estão esquematizadas algumas vias precursoras principais de alguns compostos secundários. Inicia na fotossíntese, processo no qual a radiação solar absorvida pelas plantas converte o carbono inorgânico (CO<sub>2</sub>) em substâncias orgânicas, como hidratos de carbono, e oxigênio. Estes hidratos de carbono produzidos a partir deste processo são essenciais à sobrevivência e crescimento das plantas, atuando também como um ponto de partida para a produção de outros compostos como aminoácidos, compostos lipídicos e proteínas. É também a partir destes que se formam alguns dos compostos intermediários que vão dar origem às vias biossintéticas do metabolismo secundário (CSEKE, *et al.* 2006; DIAS, *et al.* 2011; KIRAKOSYAN, 2006).

Figura 4 - Esquematização de várias vias biossintéticas de produtos do metabolismo secundário a partir do metabolismo primário



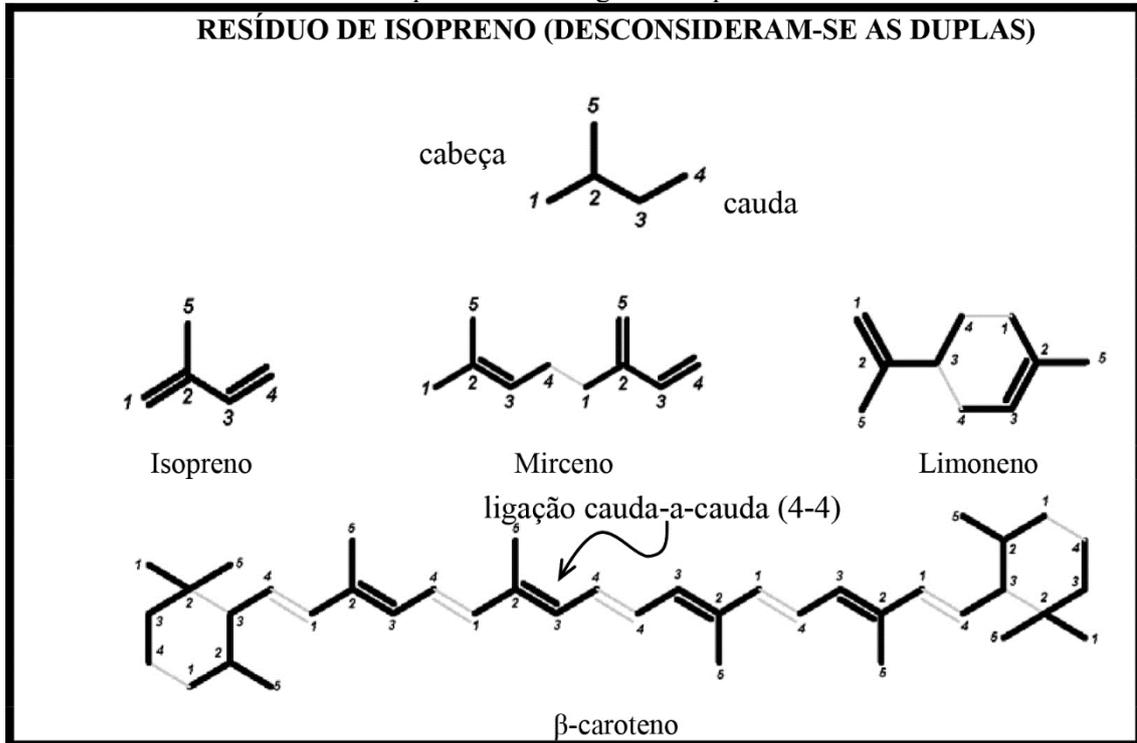
Fonte: Adaptado de DIAS *et al.* 2011.

Os compostos primários estão diretamente relacionados com os processos de desenvolvimento e crescimento da planta e com as vias metabólicas secundárias, que por sua vez estão relacionadas com a manutenção da viabilidade das plantas, protegendo-as contra infecções virais e microbianas (fungos e bactérias), ataque de herbívoros e radiações UV. O metabolismo secundário pode ainda também atuar como atrativos para polinizadores e dispersores de sementes, na adenopatia e sinalização (FELIPE e BICAS 2017; KROYMANN, 2011).

Felipe e Bicas (2017) descrevem que os principais componentes dos óleos essenciais são formados de terpenos e seus derivados. Os terpenos são “alcenos naturais”, isto é, apresentam uma dupla ligação carbono-carbono sendo caracterizado como um hidrocarboneto insaturado (MCMURRY, 2011). Por outro lado, se um terpeno contém oxigênio, o mesmo é denominado de terpenóide, podendo apresentar diferentes funções químicas, entre as quais: ácidos, álcoois, aldeídos, cetonas, éteres, fenóis ou epóxidos terpênicos (Figura 1). Apesar de apresentarem diferenças estruturais entre si, todos os terpenos/terpenóides são basicamente estruturados em blocos de cinco carbonos (unidades de isopreno; C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>) normalmente, ligadas entre si pela ordem “cabeça-a-cauda” (ligação 1-4; Figura 5Figura 1), o que caracteriza a chamada “regra do isopreno” (LOMMIS e CROTEAU, 2014; ESCHENMOSER e ARIGONI, 2005).

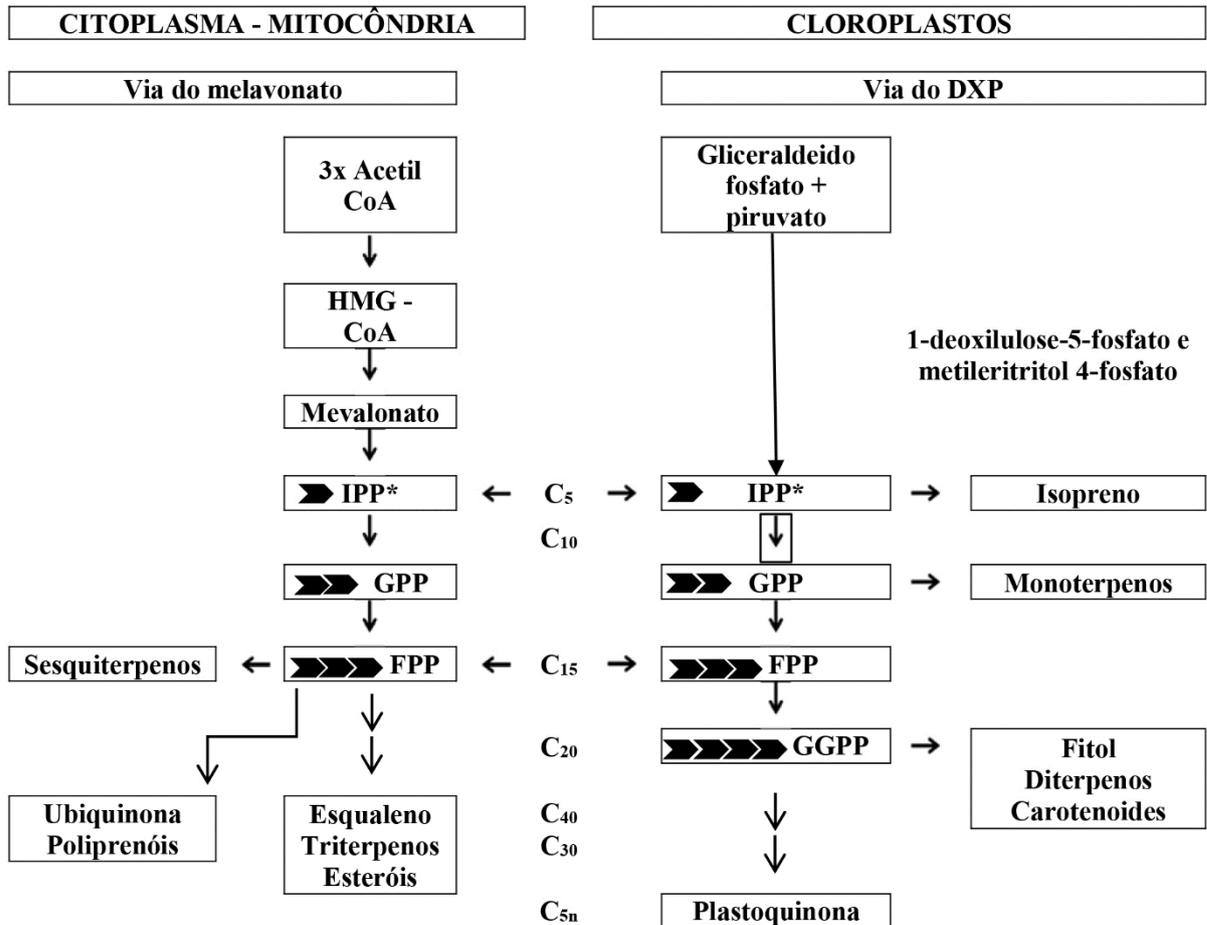
Os terpenos irregulares são aqueles com ligações diferentes, como o  $\beta$ -caroteno, que apresenta uma ligação “cauda-a-cauda” (ligação 4-4; Figura 5). Terpenos cíclicos, como o limoneno, também podem apresentar outras ligações, como as ligações cruzadas. Esta derivação da estrutura química em unidades de cinco carbonos, comum aos terpenos, é resultado da sua origem bioquímica, já que todos os seus carbonos são provenientes do isopentenil pirofosfato (IPP) ou de seu isômero dimetilalil pirofosfato (DMAPP). Esses últimos, por meio de duas rotas metabólicas distintas (via do mevalonato e via do 1-desoxilulose 5-fosfato, DXP) originam os diferentes terpenos (Figura 6) (FELIPE e BICAS, 2017).

Figura 5 - Estrutura química de alguns terpenos com os resíduos de isopreno em destaque, exemplificando a “regra do isopreno”.



Fonte: Felipe e Bicas (2017).

Figura 6 - Representação esquemática das duas rotas metabólicas referente à síntese de terpenos/terpenóides: via do mevalonato (HMG-CoA)



Fonte: Felipe e Bicas (2017).

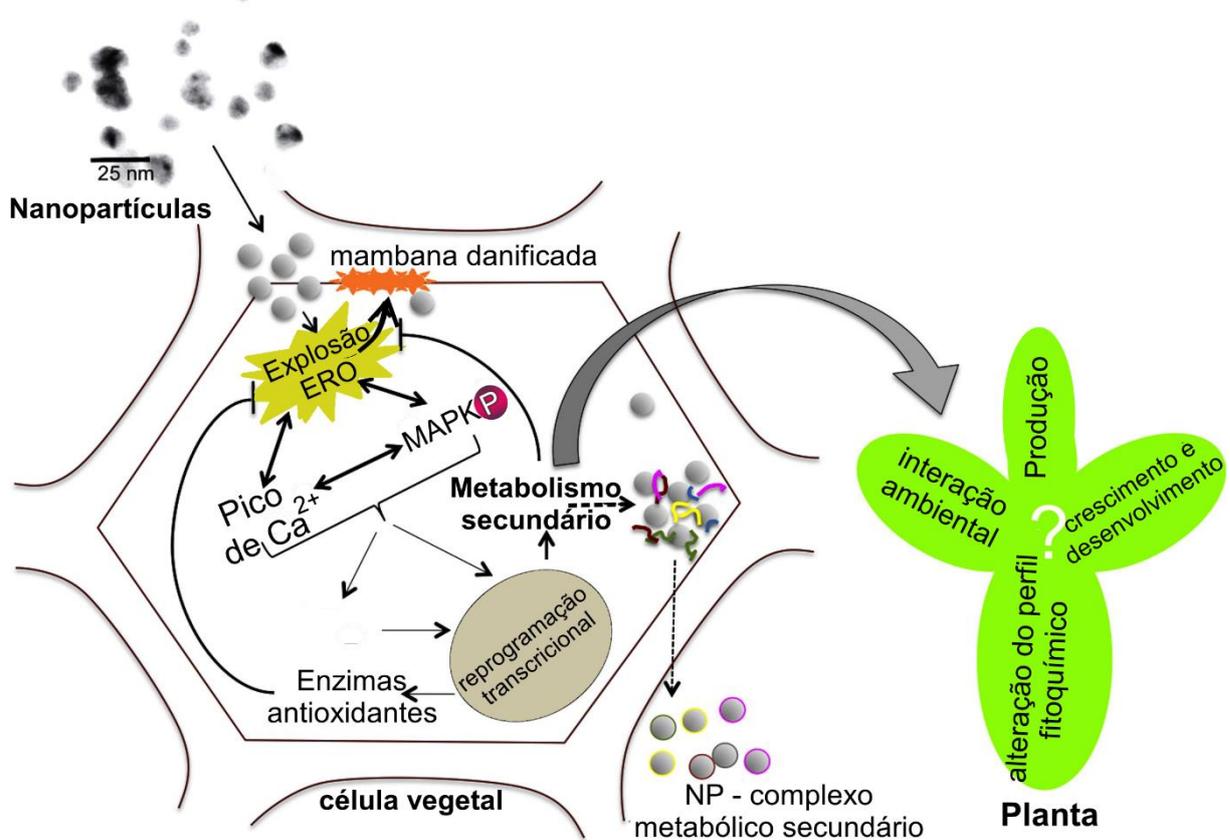
\*IPP ou DMAPP. IPP: isopentenil pirofosfato; DMAPP: dimetilalil pirofosfato. GPP: geranyl pirofosfato; FPP: farnesil pirofosfato; Impactos da irrigação com esgoto sanitário.

O uso de esgoto sanitário tratado no solo tem sido recomendado por alguns estudiosos como um meio sustentável para a agricultura devido aos impactos positivos proporcionados de sua aplicação no solo, tais como: diminuição da plasticidade e pegajosidade; aumento da capacidade de retenção de água no solo devido ao aumento da disponibilidade de matéria orgânica; disponibilização de macro e micronutrientes; alteração favorável no pH devido à disponibilização de nutrientes, proporcionando o seu aumento em solos ácidos e complexação de sais em solos básicos; complexação/quelatação de elementos químicos tóxicos presentes no solo; aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo; benefício à microbiologia do solo e redução dos microrganismos patogênicos às plantas (BARROS, 2012; BASTOS, 2019; MATOS, 2019; NAGUIB, 2011)

### 2.4.1 Impactos da irrigação com esgoto sanitário no metabolismo secundário

Uma das formas que o esgoto tratado pode influenciar no metabolismo secundário é no fornecimento de uma diversidade de nanopartículas às plantas. Marslin, Sheeba e Franklin (2017) descrevem que as nanopartículas (NPs) podem entrar nas células das plantas através do plasmodesmata (Figura 7). As NPs podem induzir a produção das espécies reativas de oxigênio (EROs), são moléculas instáveis e extremamente reativas capazes de transformar outras moléculas com as quais colidem (MARSILIN, SHEEBA e FRANKLIN, 2017; WARAIC, *et al.* 2012).

Figura 7 - Esquema que descreve os possíveis mecanismos envolvidos na modulação mediada por nanopartículas (NP) do metabolismo secundário das plantas



Fonte: Adaptado e traduzido de Marslin, Sheeba e Franklin (2017).

\*ERO: espécies reativas de oxigênio.

As espécies reativas de oxigênio (EROs) são um subproduto do metabolismo celular normal nas plantas; no entanto, sob condições de estresse, o equilíbrio entre produção e eliminação é perturbado. As EROs inativam rapidamente as enzimas, danificam as organelas celulares vitais das plantas e destroem as membranas, induzindo a degradação de pigmentos, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, o que resulta em morte celular (KARUPPANAPANDIAN, *et al.* 2010).

Alem das EROs, as NPs também podem induzir a produção dos picos de cálcio, da ativação de máquinas antioxidantes, das cascatas de proteínas quinase ativadas por mitogênio (MAPK) e outras coisas mais; o que pode levar à reprogramação transcricional do metabolismo secundário. A ativação de máquinas antioxidantes enzimáticas e não enzimáticas, incluindo metabolismo secundário, pode eliminar os EROs e proteger as células dos danos oxidativos. No entanto, as consequências exatas das mudanças no metabolismo secundário da planta no desempenho, na interação ambiental, no crescimento e no rendimento da planta ainda são desconhecidas. Por outro lado, a capacidade de NPs (por exemplo, anatase  $\text{TiO}_2$ ) de entrar nas células vegetais e sair como complexos de metabólitos secundários de NP poderia possivelmente ser explorada para a farmacologia molecular (setas pontilhadas da Figura 7) (MARSLIN, SHEEBA e FRANKLIN, 2017).

Em contrapartida o uso de esgoto pode influenciar no metabolismo secundários é devido a presença dos nutrientes no esgoto tratado que servem como macro e micro nutrientes para as plantas que vão ajudar a controlar as EROs (WARAIC, *et al.* 2012).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi estruturada em tópicos, a saber: sementes de coentro; esgoto tratado; solo; experimentos com *Coriandrum sativum*; experimento de germinação – teste de emergência de plântula – experimento 1; experimento de cultivo de *Coriandrum sativum* em vasos – experimento 2; determinação dos parâmetros analisados na planta; extração de óleo essencial; e cromatografia gasosa e espectrometria de massa (CG-MS).

#### 3.1 Sementes de coentro

As sementes de coentro verdão (*Coriandrum sativum l.*) utilizadas nos experimentos de germinação e cultivo foram obtidas de uma empresa de sementes certificadas. As principais informações a respeito do lote das sementes são: safra 2016/2016; validade de três anos (2019); percentual de germinação e pureza de 87 e 99,7 % respectivamente.

#### 3.2 Esgoto tratado

O esgoto tratado usado nos experimentos era proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangueira, Recife-PE. A ETE Mangueira é composta de tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia), tratamento secundário (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo – Tipo UASB) e tratamento terciário (lagoa de estabilização). O efluente usado nos experimentos foi coletado após a lagoa de estabilização.

A caracterização físico-química do esgoto tratado, incluindo determinação de pH, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) e nitrogênio total de Kjeldahl foram realizadas de acordo com *Standard Methods the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Na Tabela 4 estão descritos os valores médios da caracterização do esgoto tratado, assim como da água destilada e água potável também utilizadas nos experimentos.

Cerca de 150 litros de esgoto eram coletados em recipientes plásticos e armazenados sob temperatura ambiente e protegidos de iluminação durante o uso nos experimentos. Semanalmente um novo esgoto era coletado no intuito de minimizar as variações nas características do esgoto, diante, da degradação natural do material orgânico carbonáceo e nitrogenado.

### 3.2.1 Características das águas de irrigação

As águas de irrigação analisadas foram três: a água destilada (AD), utilizada apenas no experimento 1 (avaliação de emergência de plântulas), a água abastecimento (água da torneira da casa de vegetação, AA), utilizada apenas no experimento 2 (cultivo em casa de vegetação), e o esgoto tratado (ET), utilizado em ambos os experimentos. A concentração média de nitrogênio total de Kjeldahl (N-NTK) no ET foi de 29,2 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que na AA foi 1,4 mg.L<sup>-1</sup>; dessa forma, a concentração de N-NTK do ET era 2086% da AA (Tabela 4).

Tabela 4 – Características das águas de irrigação

Parâmetros	Água destilada	Água de abastecimento <sup>1</sup>	Esgoto tratado <sup>1</sup>	USEPA (2012) <sup>2</sup>	ET/AA (%) <sup>3</sup>
Na (mg/L)	0,0	32,8±1,8	82,7±6,2	[69-207]	252
K (mg/L)	0,0	5,2±0,3	73,8±3,7	---	1419
Ca (mg/L)	0,0	4,5±0,3	15,9±0,9	---	353
P (mg/L)	0,00	0,34±0,02	2,82±0,18	---	829
pH	6,9	6,8±0,3	7,5±0,4	[6,5-8,4]	110
Condutividade (µS/cm)	3,4	316,1±15,9	749,9±48,7	[700-3000]	237
N-NTK (mg/L)	0,0	1,4±0,1	29,2±2,1	---	2086
N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	---	---	22,2±1,4	---	---
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	---	---	1,0±0,1	[5-30]	---
N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	---	---	1,0±0,1	---	---
DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	0,0	0,0	61,7±4,6	---	---
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	0,0	0,0	110,0±6,7	---	---
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	---	---	194,5±9,7	[91,5-518,5]	---

Fonte: A Autora (2019).

<sup>1</sup>Dados representam o valor médio; <sup>2</sup> limites de valores para classificação de leve a moderada para água de reuso agrícola da *United States Environmental Protection Agency*; <sup>3</sup>Variação percentual do esgoto tratado (ET) em relação a água de abastecimento (AA);

A análise do esgoto tratado demonstrou que ele apresenta algumas restrições como fonte de água de reuso agrícola, sendo classificado na faixa entre leve e moderada para irrigação, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela *Food and Agriculture Organization of United Nations* (FAO, 2003). A Tabela 4 apresenta os valores médios comparativos da qualidade da água destilada, da água de abastecimento e do esgoto tratado utilizados nos experimentos, como também os limites de valores para classificação de leve a moderada para água de reuso agrícola, da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 2012).

### 3.3 Solo

O solo utilizado nos experimentos foi coletado da camada superior arável (até 20 centímetros de profundidade), da região próxima a ETE Rendeiras, município de Caruaru,

localizada na região semiárida do estado de Pernambuco. A caracterização química de fertilidade do solo foi realizada no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), que segue as recomendações da Embrapa (1997), com exceção das análises de nitrogênio total de Kjeldahl (NTK), de nitrito ( $\text{NO}_3^-$ ), da amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) e de carbono (C), que foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFPE, seguindo metodologia de Teixeira (2017). A análise de granulometria do solo foi realizada no Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE, conforme a norma NBR 7181 (2018).

O solo foi analisado para caracterizar as suas propriedades de fertilidade, antes dos experimentos de cultivo de coentro (S0) e após o Experimento 2 para cada um dos 7 tratamentos CT1 (A), CT2 (A+K), CT3 (A+NPK), CT4 (E), CT5 (E+K<sub>p</sub>), CT6 (E+N<sub>p</sub>+P+K<sub>p</sub>), CT7 (E+NPK), correspondentes às análises do solo S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7, respectivamente. Após a caracterização, Tabela 5 e Figura 8, o solo foi classificado como um Planossolo arenoso. Esse tipo de solo é típico da região agreste do estado de Pernambuco (EMBRAPA, 1973).

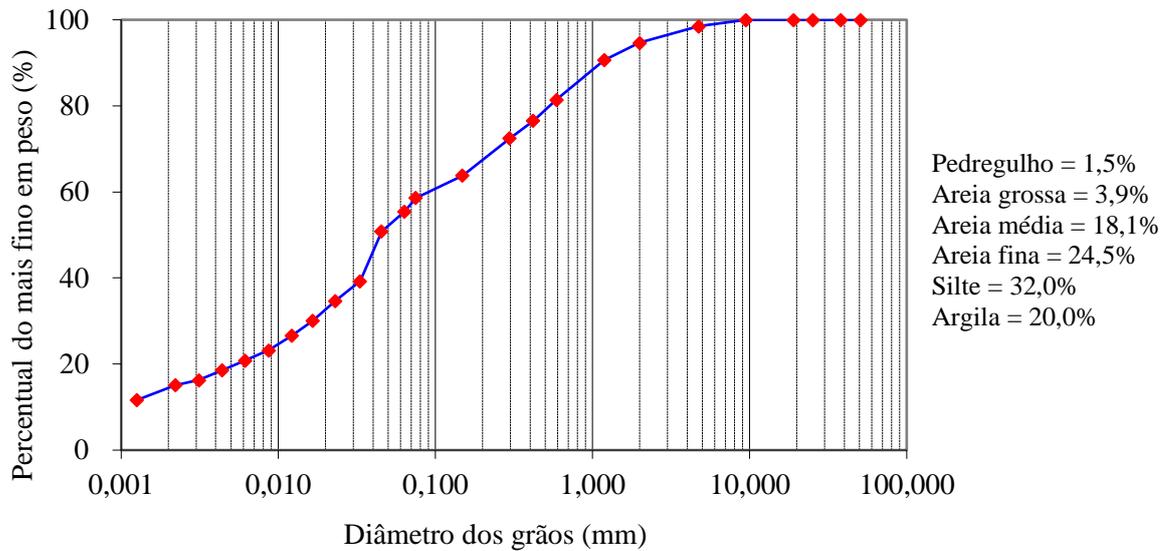
Tabela 5 - Resultados da análise das características de fertilidade do solo

Característica	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
pH	7,3	7,4	7,4	7,3	7,4	7,3	7,4	7,3
P (mg/dm <sup>3</sup> )	277	338	375	326	264	344	363	375
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	10,30	11,50	12,50	12,10	10,50	10,00	11,25	12,60
Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,60	1,60	2,30	1,65	1,95	3,10	2,75	1,45
Na (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,11	0,90	0,90	0,80	0,80	0,90	1,00	1,00
K (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,30	0,70	0,63	0,60	0,61	0,50	0,60	0,82
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,30	0,49	0,65	0,65	0,57	0,82	0,49	0,82
S (cmolc/dm <sup>3</sup> )	13,31	14,70	16,33	15,15	13,86	14,50	15,60	15,87
CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	15,61	15,19	16,98	15,80	14,43	15,32	16,09	16,69
V (%)	85,3	96,8	96,2	95,9	96,0	94,6	97,0	95,1
M (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
NTK (mg/kg)	324,9	--	--	--	--	--	--	--
NO <sub>3</sub> (mg/kg)	46	--	--	--	--	--	--	--
NH <sub>4</sub> (mg/kg)	19,3	--	--	--	--	--	--	--
C (mg/kg)	2,44	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: A Autora (2019).

S0: solo antes dos experimentos 1 e 2; S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7 são de amostras de solos coletadas e analisadas após o experimento 2, que correspondem aos tratamentos CT1 (A), CT2 (A+K), CT3 (A+NPK), CT4 (E), CT5 (E+K<sub>p</sub>), CT6 (E+N<sub>p</sub>+P+K<sub>p</sub>), CT7 (E+NPK), respectivamente; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; M: percentagem de saturação por alumínio; C: carbono.

Figura 8 - Análise física do solo através do ensaio de granulometria do solo

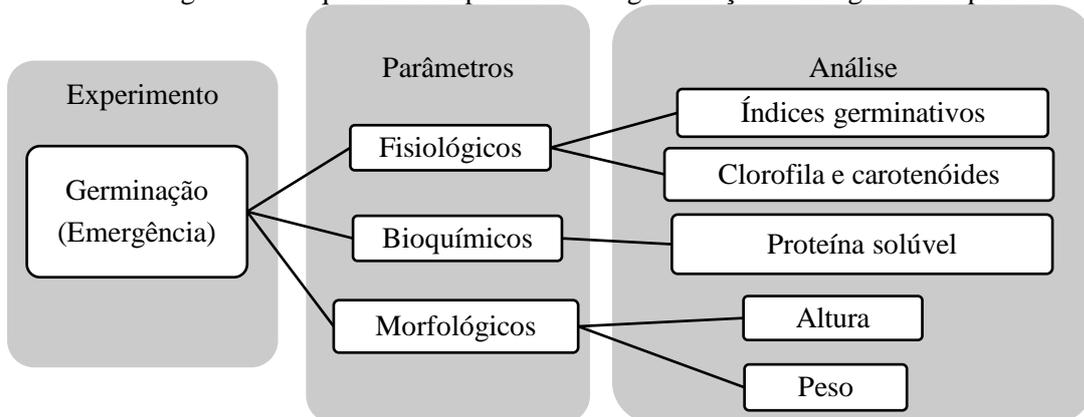


Fonte: A Autora (2019).

### 3.4 Experimentos com *Coriandrum sativum*

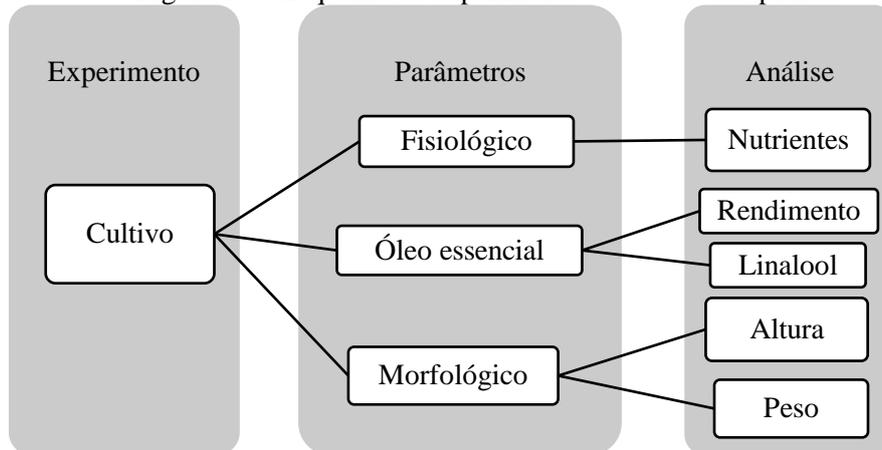
Foram realizados 2 experimentos, um com o intuito de avaliar o efeito do uso de esgoto tratado nas etapas de germinação de sementes, que foi medido através da emergência de plântula; e outro para a etapa de cultivo de plantas adultas, avaliando-se aspectos agrônômicos (parâmetros de crescimento) e químicos (metais pesados, nutrientes e óleos essenciais). As Figura 9 e Figura 10 sintetizam os dois experimentos e os respectivos parâmetros analisados neste estudo.

Figura 9 – Esquema do experimento de germinação - emergência de plântula



Fonte: A Autora (2019).

Figura 10 – Esquema do experimento de cultivo das plantas



Fonte: A Autora (2019).

### 3.5 Experimento de germinação – teste de emergência de plântula – Experimento 1

A germinação é dita como uma sequência de eventos fisiológicos influenciada por fatores externos (relativos ao meio) e internos (relativos à dormência, aos inibidores e aos promotores da germinação nas sementes), que podem atuar em interação ou não. Em síntese, tendo-se uma semente viável em quiescência, quando são satisfeitas uma série de condições externas e internas, ocorrerá o crescimento do embrião, o qual conduzirá à germinação (MAPA, 2009; NASSIF, VIEIRA e FERNANDES, 1998). Assim, do ponto de vista fisiológico, germinar é simplesmente sair do repouso e entrar em atividade metabólica. Entretanto, para os tecnólogos de sementes, a germinação é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando a sua capacidade para dar origem a uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis (NASSIF, VIEIRA e FERNANDES, 1998).

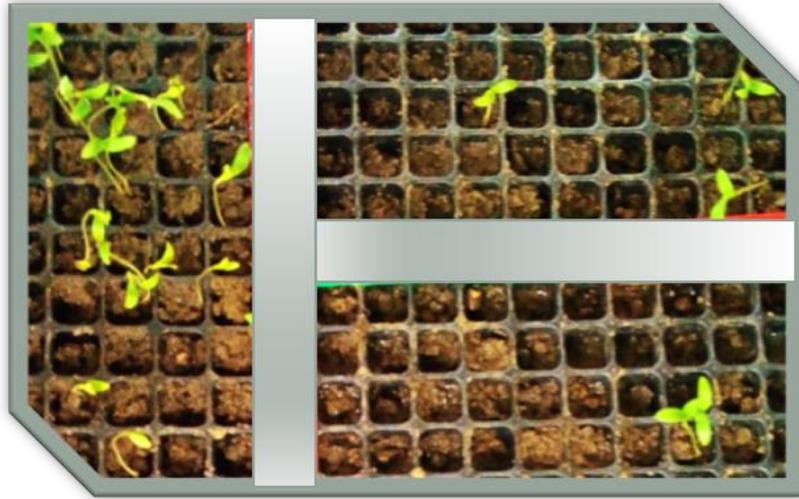
O experimento de germinação visa elucidar apenas a influência do esgoto tratado, um fator do ambiente, sobre a germinação avaliado pela formação de plântulas normais.

#### 3.5.1 Layout do experimento 1

O experimento 1 foi realizado em ambiente com temperatura e fotoperíodo controlados: de  $30 \pm 1$  °C e intervalos de 10 horas de luz branca (7200 luxes), alternando com 14 horas no escuro (0 lux), respectivamente. As semeaduras forem feitas a cerca de 1 cm de profundidade, em bandejas multicelulares de plástico (Figura 11), preenchidas com solo; 25 sementes dicotiledôneas foram inoculadas em cada tratamento. Neste experimento, dois tratamentos (T)

para a irrigação foram utilizados: T1-AD, irrigação com água destilada e T2-ET, irrigação com esgoto tratado.

Figura 11 – Bandeja de germinação utilizada no experimento.



Fonte: A Autora (2019).

O experimento foi repetido 3 vezes, cada qual com duração de 21 dias. O controle da umidade foi feito diariamente de forma a manter o substrato úmido nas condições ideais para germinação (bastante úmido, mas não encharcado) conforme recomendado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA, 2009).

### 3.5.2 Determinação da proteína solúvel total

As proteínas solúveis totais foram feitas no fim do experimento (21º dia após o início), estimadas pelo método espectrofotométrico de Bradford. Resumidamente, para essa análise foi utilizado 0,200 gramas de folhas frescas homogeneizadas em um homogeneizador de tecidos (Turrax NT 138 - Nova técnica) utilizando 20 ml de etanol 80 %, até obtenção de uma solução visualmente homogênea. Em seguida, a amostra foi centrifugada por 5 minutos a 2000 rpm (BEZERRA NETO e BARRETO, 2011). Adicionou-se em um tubo de ensaio 3 mL do sobrenadante e 6 mL de clorofórmio para a separação de fase. A concentração de proteínas solúveis sobrenadantes foi determinada por espectrofotometria e utilizando albumina de soro bovino como padrão (BRADFORD, 1976).

### 3.5.3 Determinação de clorofila e carotenoide

Os teores de clorofila a ( $C_a$ ), clorofila b ( $C_b$ ), clorofila total ( $C_{a+b}$ ) e carotenóides totais ( $C_x + c$ ) foram determinados após extrato do pigmento do tecido foliar vegetal fresco com

acetona 80%, por espectroscopia UV-vis, segundo procedimento recomendado por Bezerra Neto e Barreto (2011). Após extração, a absorvância foi medida a 470 (A<sub>471</sub>), 645 (A<sub>645</sub>), 663 (A<sub>663</sub>) e os teores de clorofila a, clorofila b, e carotenoides estimados conforme as equações 1, 2 e 3  $C_a = 12,25 \times A_{471} - 2,79 \times A_{645}$ , respectivamente, conforme as recomendações de cálculo de Lichtenthaler e Buschmann (2001), quando utilizado acetona 80% como solvente da extração.

$$C_a = 12,25 \times A_{471} - 2,79 \times A_{645} \quad (1)$$

$$C_b = 21,5 \times A_{645} - 5,1 \times A_{663} \quad (2)$$

$$C_{x+c} = \frac{1000 \times A_{470} - 1.82 \times C_a - 85.02 \times C_b}{198} \quad (3)$$

#### 3.5.4 Determinação de índices de germinação

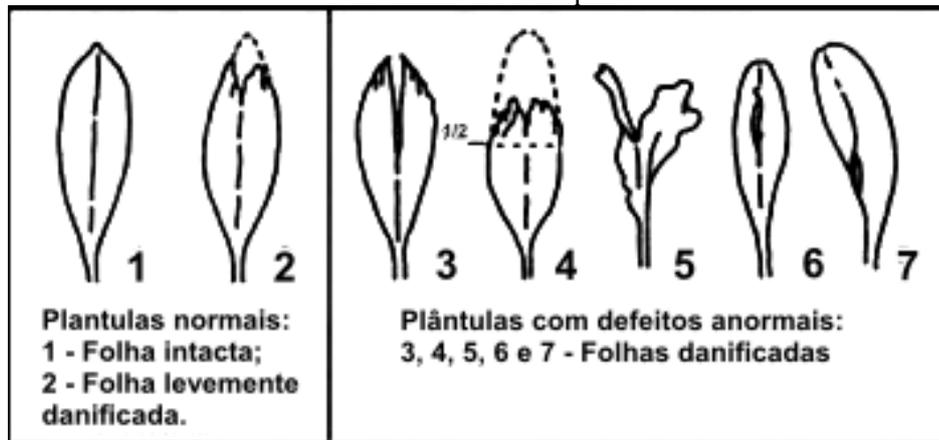
##### a) Critério de germinação

A semente do coentro é dicotiledônea sendo uma unidade de semente múltipla (USM), podendo produzir mais de uma plântula, nos testes de germinação, pois possui unidades contendo mais de uma semente verdadeira (esquizocarpos não separados de Apiaceae - Umbelliferae). Nesse caso, quando uma USM produz mais de uma plântula normal, somente uma é contada para a determinação da porcentagem de germinação.

A identidade das plântulas provenientes de uma mesma USM, foi mantida por meio de contagens, utilizando uma bandeja de germinação (Figura 11), que possibilita manter as USM separadas durante todo o teste. Permitindo a determinação do número de plântulas normais produzidas por cem sementes ou, o número de sementes que tenham produzido nenhuma, uma ou duas plântulas normais (MAPA, 2009).

Plântulas normais são aquelas que mostram potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem a plantas normais. Para serem classificadas como normais, as plântulas devem estar de acordo com uma das seguintes categorias: intactas ou com pequenos defeitos (Figura 12). Plântulas anormais são aquelas que não mostram potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem a plantas normais, mesmo crescendo em condições favoráveis (MAPA, 2009).

Figura 12 – Folha primária intacta, levemente danificada e danificadas, para avaliação de plântulas com defeito no coleóptilo.



Fonte: Adaptado de MAPA, 2019.

b) Características avaliadas

Foram avaliados os tempos para a primeira ( $t_0$ ) e última ( $t_f$ ) emergência de plântula normal, sendo o tempo final determinado após estabilização dos eventos de emergência (2 dias sem novos eventos). Foram ainda calculadas as medidas de processo de germinação descritas a seguir, com suas respectivas equações, de acordo com Ranal, *et al.*, (2009):

- Capacidade de emergência de plântulas ( $E$ ; Equação 4), expressa em porcentagem, informa a quantidade de sementes que germinam emergindo uma plantula normal nas condições do ensaio.

$$E (\%) = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{n} \times 100 \quad (4)$$

Onde:  $n$ : Total de sementes utilizadas no teste;

$n_i$ : número de sementes germinadas no tempo de observação (não o número acumulado, mas o número registrado na  $i$ -ésima observação);

Sabendo que a germinação e emergência de plântulas é um resultado de um complexo metabólico, medido por uma série de enzimas, há uma preocupação em medir a velocidade desse processo (SANTANA e RANAL, 2000).

- Tempo médio de emergência da plântula ( $MT$ ; Equação 5), é uma média ponderada onde o número de plantulas emergidas é o peso de ponderação do tempo.

$$MT (dia) = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (5)$$

Onde:  $t_i$ : tempo entre a semeadura e a  $i$ -ésima observação (dia);

$k$ : último tempo de germinação;

- Velocidade (VME; Equação 6), é velocidade média de emergência das plântulas.

$$VME (dia^{-1}) = \frac{1}{MT} \quad (6)$$

- Homogeneidade (CVt; Equação 8), é o coeficiente de variação do tempo de emergência, utilizado para medir o grau de dispersão da emergência ao redor do tempo médio.

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i (t_i - MT)^2}{\sum_{i=1}^k n_i - 1}} \quad (7)$$

$$CV_t(\%) = \frac{s_t(\text{Equação 7})}{MT} \times 100 \quad (8)$$

- Velocidade de emergência (VE; Equação 9), prediz o vigor relativo das amostras de sementes. Esse parâmetro é influenciado pelo tempo médio de emergência, pela emergência e pela uniformidade da emergência.

É uma medida relativa importante, pois ao se comparar a variabilidade de duas amostras usando o desvio padrão ou a variância, pode-se concluir que uma é mais variável que a outra, quando o resultado diferenciado pode ser devido ao fato das amostras possuírem médias ou grandezas diferentes. (SANTANA e RANAL, 2000, p 208).

$$VE (sement. dia^{-1}) = \frac{\text{numero plantas emergidas}}{\text{dias até a primeira contagem}} + \dots + \frac{\text{numero plantas emergidas}}{\text{dias até a contagem final}} \quad (9)$$

- Incerteza (U; Equação 10), analisa a incerteza associada à distribuição da frequência relativa de emergência das plântulas. Expresso em bits, sendo bit uma medida binária que conta emergência ou não emergência das plântulas.

$$U (bit) = \sum_{i=1}^k f_i \cdot \log_2 f_i \quad (10)$$

Onde:  $f_i$ : frequência relativa

- Sincronia (Z; Equação 11), forma de medir a sincronia dos processos de emergência.

$$Z = \sum \frac{C_{n_i;2}}{C_{(\sum n_i;2)}} \quad (11)$$

Onde:  $C$ : Combinação.

### 3.5.5 Análise estatística do teste de emergência

A análise estatística das medidas de germinação para a normalidade dos dados foi verificada a partir do teste Komolgoronov-Smirnov já que esse teste não apresenta restrições quanto ao tamanho da amostra. Atendendo a pressuposição do teste de normalidade, foi

aplicada a análise de variância pelo teste de T-student a 0,05 de significância. O software usado para as análises estatísticas foi o *Statistica 8*.

### 3.6 Experimento de cultivo de *Coriandrum sativum* em vasos – Experimento 2

O cultivo de *Coriandrum sativum* foi conduzido em casa de vegetação localizada no Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, com coordenadas de latitude e longitude de 8° 3' 27"S e 34° 57' 21,5"W, respectivamente, e altitude da região de 10 m acima do nível do mar (Dados retirado do Google Earth pro, Acesso em 2019).

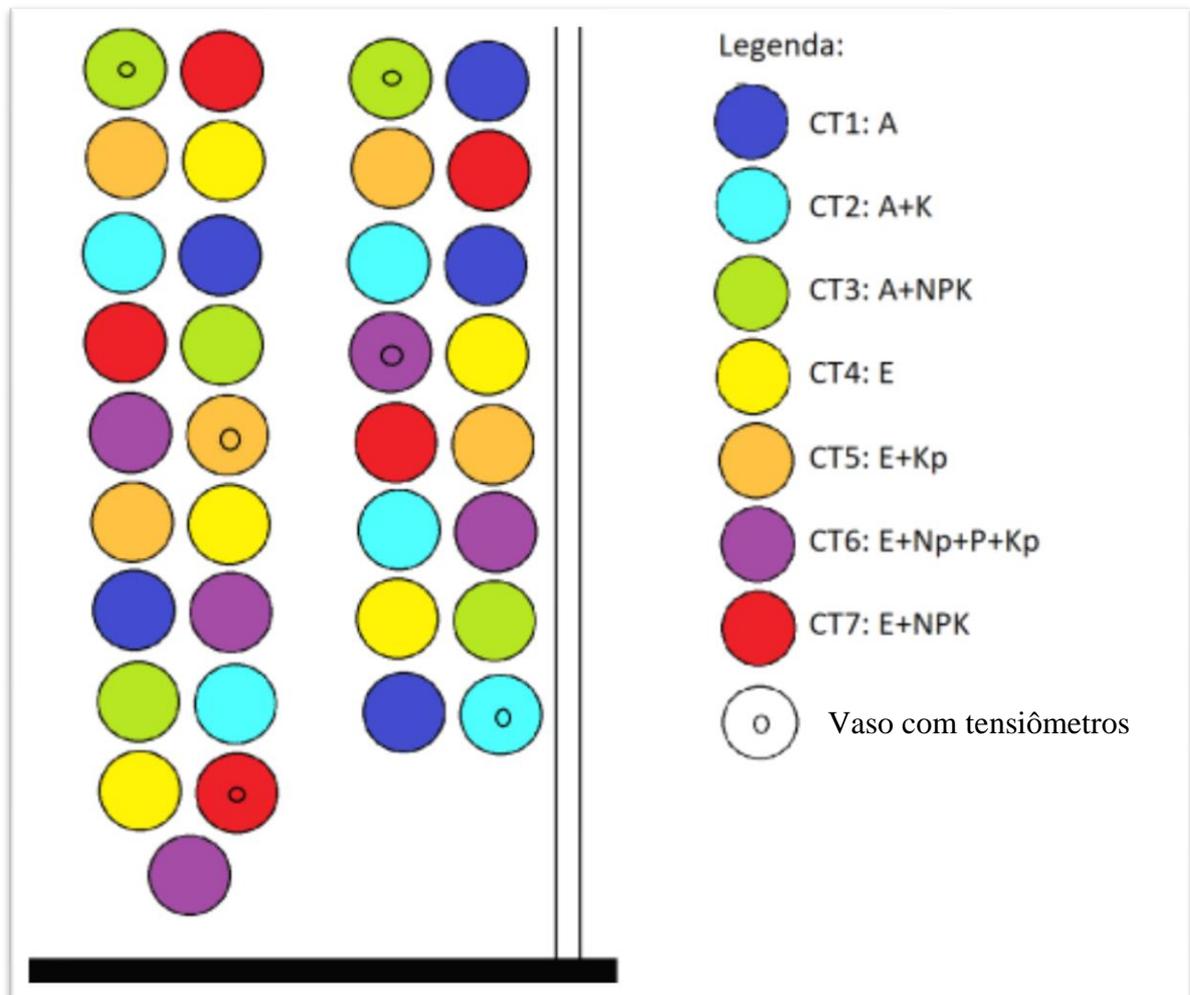
Os vasos utilizados possuíam diâmetro de 45 cm, profundidade de 20 cm e volume aproximado de 32 L. Os vasos foram previamente perfurados no fundo, onde também foi instalado um sistema drenante composto por manta geossintética sobreposta a camada de 3 cm de brita N° 1. Cada vaso foi preenchido com aproximadamente 22 kg de solo e 3,0 g de sementes (aproximadamente 300 sementes) foram semeadas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 7 tratamentos com 5 repetições (Tabela 6), totalizando 35 unidades de plantio (vasos), distribuídos casualizadamente na casa de vegetação em 4 linhas, sendo 3 linhas com 9 colunas e 1 linha com 8 colunas (Figura 14).

Figura 13 - Vasos na casa de vegetação



Fonte: A Autora (2019).

Figura 14 – Esquema do posicionamento dos tratamentos na cada de vegetação



Fonte: A Autora (2019).

Tabela 6 – Irrigação das plantas e adubação química do solo por tratamento no experimento 2

Tratamento	Irrigação	DAS <sup>1</sup>			DPS <sup>2</sup>
		N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	N (kg/ha)
CT1 (A)	Água de abastecimento	0	0	0	0
CT2 (A+K)	Água de abastecimento	0	0	60	40
CT3 <sup>3</sup> (A+NPK)	Água de abastecimento	30	60	60	40
CT4 (E)	Esgoto tratado	0	0	0	0
CT5 <sup>4</sup> (E+K <sub>PSE</sub> )	Esgoto tratado	0	0	48	40
CT6 <sup>5</sup> (E+N <sub>PE</sub> +P+K <sub>PE</sub> )	Esgoto tratado	23	60	54	40
CT7 <sup>3</sup> (E+NPK)	Esgoto tratado	30	60	60	40

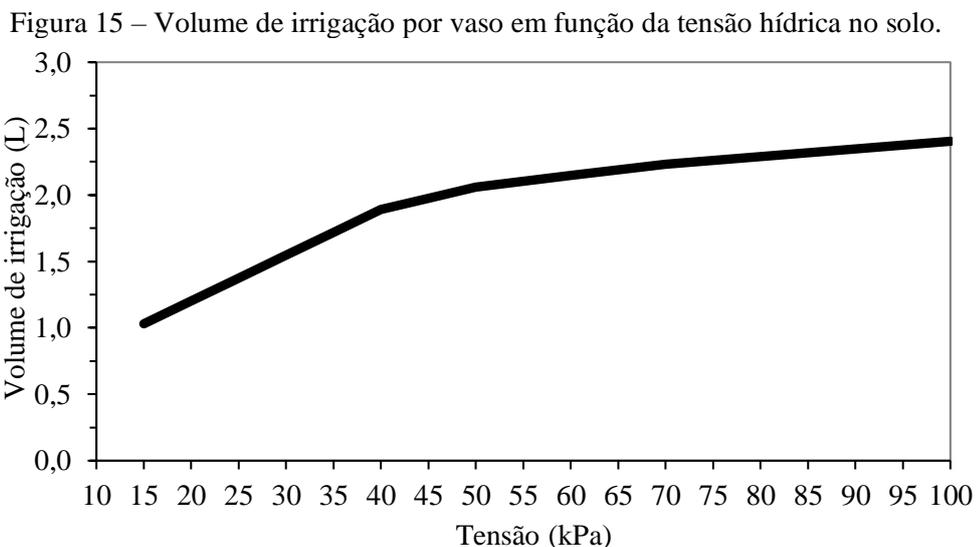
Fonte: A Autora (2019).

E – Esgoto tratado; A – Água de abastecimento; <sup>1</sup>DAS – Adubação química adicionada aos 7 dias antes da semeadura; <sup>2</sup>DPS – Adubação química adicionada após a semeadura; <sup>3</sup>Tratamentos com adição de 100% da adubação química com N, P e K, essa sugerida pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA, 2008), para o solo utilizado; <sup>4</sup> Os valores parciais (<sub>PSE</sub>) de K foram calculados em função da diferença entre os valores aplicados no solo correspondentes às concentrações existentes no E e no solo e dos valores de 100% recomendados pelo IPA; <sup>5</sup> Os valores parciais (<sub>PE</sub>) de N e K calculados em função da diferença entre os valores aplicados no solo correspondentes às concentrações existentes no E e dos valores de 100% recomendados pelo IPA.

A determinação da quantidade de fertilizante mineral necessário para cada tratamento considerou o aporte de nutrientes existentes no solo (Tabela 5) e das águas de irrigação (Tabela 4) para atingir a demanda nutricional para o *Coriandrum sativum* conforme recomendado pela (IPA, 2008). Salienta-se que a adubação presente na Tabela 6 se refere a adubação de química adicionada aos 7 dias antes da semeadura (DAS) e a adubação de cobertura adicionada 15 dias pós-semeadura (DPS).

A irrigação foi feita com água da torneira da casa de vegetação (proveniente da estação de tratamento de água da UFPE e da companhia de saneamento local) (3 tratamentos – CT1, CT2, CT3) e esgoto tratado (4 tratamentos, CT4, CT5, CT6, CT7), Tabela 6. A irrigação era feita de forma a evitar estresse hídrico, medido através de tensiômetros de punção instalados em 6 vasos distribuídos nos vasos de forma uniforme na área do experimento, permitindo controlar regiões (extremidades das fileiras, centro e lado direito/esquerdo). O controle de pragas foi feito através de borrifação foliar de uma solução de caldo de fumo com sabão de coco, conforme recomendação de Barbosa, Silva, e Carvalho (2006).

As leituras dos tensiômetros eram feitas diariamente e a irrigação era feita manualmente para cada vaso, sendo o volume de irrigação dependente da tensão medida no tensiômetros da região de influência (proximidade). Caso a leitura do tensiômetros acusasse uma pressão inferior a 15 kPa não seria feita irrigação. A quantidade da lâmina (volume) de irrigação, Figura 15, foi determinada conforme recomendação de Marouelll (2008), levando em consideração a granulometria do solo e a cultura a ser irrigada, ajustada para uma eficiência de irrigação de 90% (irrigação manual), tendo os valores arredondados com significância de 0,1 L.



Fonte: A Autora (2019).

### **3.7 Determinação dos parâmetros analisados na planta**

A determinação dos parâmetros analisados na planta desta pesquisa foi estruturada em quatro tópicos, a saber: altura e diâmetro do caule; pré-preparo das amostras das plantas; análises químicas das plantas; e análise estatística dos parâmetros das plantas.

#### **3.7.1 Altura e diâmetro do caule**

O desenvolvimento das plantas foi monitorado nos dias 10, 26 e 60 pós-semeadura (DPS), através da medição das alturas das plantas (AP), utilizando fitas métricas com precisão de 1 mm. Aos 60 DPS (último dia do cultivo), foi medido o diâmetro do caule (DC), a 3 cm do nível do solo com paquímetro digital (Modelo 100.176BL, Digimess).

#### **3.7.2 Pré-preparo das amostras das plantas**

O pré-preparo das amostras das plantas foi realizado no LSA. As plantas foram colhidas aos 60 DPS. As colheitas foram organizadas por vasos (1 vaso equivalendo a uma amostra composta por aproximadamente 30 plantas), tratamentos (7 tratamentos; 5 vasos por tratamento) e separadas em folhas superiores (FS; folhas dos 20 primeiros centímetros da planta), folhas inferiores (FI; folhas que não são classificadas como superiores), caules (CL) e raízes (RZ). Em seguida as partes foram pesadas em balança semianalítica (Mark S 5201, Bel Equipamentos), lavadas com água deionizada e postas para secar em estufa de circulação forçada a 65° C (TE-394/2, Tecnal Equipamentos) até peso constante. As amostras secas foram moídas em moinho de facas tipo Willey, peneiradas a 1 mm, e armazenadas em recipientes herméticos na geladeira, a 5 °C, até o momento da utilização para análise.

#### **3.7.3 Análises químicas das plantas**

Ressalta-se que para minimizar os desvios foram selecionados para análise os 3 vasos que apresentaram maior produtividade de biomassa produzida, altura e quantidade de sementes por tratamento. Assim a análise química das plantas foi feita em triplicata para cada vaso selecionado (3 vasos de cada tratamento (9 amostras por tratamento); 7 tratamentos) totalizando 21 vasos e para cada vaso foi feita análise em triplicata.

As análises químicas e bioquímicas das amostras, previamente secas e pulverizadas (item 3.7.2 acima), dos tecidos foliar superior e inferior, caule e raízes foram realizadas com base na metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011), para determinar as concentrações de resíduo mineral (Digestão seca), nitrogênio total (Método de Kjeldahl).

A análise de resíduo mineral foi realizada 1 vez, com amostra mista, contendo os 3 vasos selecionados de cada tratamento.

#### 3.7.4 Análise estatística dos parâmetros das plantas

A análise estatística dos resultados de cultivo foi feita após verificação da normalidade dos dados a partir do teste Komolgoronov-Smirnov, já que esse teste não apresenta restrições quanto ao tamanho da amostra. Atendendo a pressuposição do teste de normalidade, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Turkey a 0,05 de significância. Os softwares usados para as análises estatísticas foram o *Statistica 8* e o *IBM SPSS Statistics 20*.

### 3.8 Extração de óleo essencial

Os óleos essenciais (OE) foram extraídos a partir das sementes colhidas manualmente das plantas de coentro, aos 60 DPS, cultivadas no experimento 2 em casa de vegetação (Figura 13), organizadas em separado conforme tratamentos definidos na Tabela 6.

As sementes colhidas foram lavadas com água deionizada e postas para secar durante 48 horas, a 38°C em estufa com circulação interna; após esse procedimento, as sementes foram pesadas, acondicionadas em frascos de plástico fechados, esse foi armazenado em freezer, a -4°C, até o momento da extração.

Devido às condições operacionais limitadas de extração e de peso de sementes disponíveis por tratamento, foi realizada 1 extração por tratamento utilizando todas as sementes produzidas, dos 5 vasos desse tratamento.

No momento da extração, as sementes foram homogeneizadas em equipamento Turrax (Nova Técnica 138), adicionando-se 10 mL de água Mili-q para cada grama de semente a ser triturada (homogeneizada). Em seguida foram colocadas em um balão de 1 L, o qual foi acoplado ao aparato de destilação tipo Clevenger e uma manta aquecedora.

A hidro destilação teve duração de 2 horas, contadas a partir do início da condensação do vapor no Clevenger. O aquecimento foi ajustado para proporcionar uma velocidade relativa de destilação de 3 a 5 mL.min<sup>-1</sup>. O rendimento do óleo foi calculado pela razão do peso de óleo extraído pelo peso de sementes (biomassa seca) utilizadas na extração (BEYZI, *et al.* 2017). As frações voláteis foram armazenadas e congeladas a -4 °C ao escuro, para posterior análise em CG-MS.

### 3.9 Cromatografia gasosa e espectrometria de massa (CG-MS)

As amostras de OE foram pesadas e diluídas com n-hexano para o volume de 0,5 mL e posterior análise por cromatografia a gás acoplada a espectrometria de massas por ionização de elétrons (GC/MS-EI).

#### 3.9.1 Análise de linalol

A análise de linalol, considerado o principal componente do OE de sementes de coentro, foi realizada em um cromatógrafo 7890A acoplado a um espectrômetro de massas 7975C, ambos da Agilent Technologies (EUA). O sistema era configurado com injeção automática de amostras e injetor *split/splitless*. A coluna analítica foi uma do tipo HP-5 de 30 m x 0,32 mm (I.D.) x 0,25  $\mu\text{m}$  (J e W Scientific.).

Como padrão analítico para a quantificação do linalol foi utilizado o composto comercializado pela Sigma Aldrich-Merck com percentual de pureza de 97%. As devidas correções, em termos das concentrações requeridas para a construção da curva analítica (100 a 1000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), foram realizadas normalizando a massa utilizada do padrão para 100%.

As condições cromatográficas e espectrométricas foram baseadas no trabalho de (SHELLIE, *et al.* 2000), as quais são descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Condições cromatográficas para a separação dos componentes essenciais do OE de coentro por GC/MS-EI

Parâmetros GC	Valor	
Temperatura do injetor	250°C	
Modo de injeção	<i>Split</i> na razão de 60:1	
Volume de amostra injetada	1 $\mu\text{L}$	
Gás de arraste	Hélio a 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	
Parâmetros MS-EI	Valor	
Temperatura da linha de transferência	250°C	
Temperatura da fonte de íons	230°C	
Temperatura do quadrupolo	200°C	
Delay	2 minutos	
Varredura de íons no modo SCAN <sup>1</sup>	40 a 500 $m/z$ <sup>4</sup>	
Quantificação do linalol no modo SIM <sup>2</sup>	71 u.m.a. <sup>3</sup>	
Íons para a qualificação do linalol	41, 55 e 93 u.m.a. <sup>3</sup>	
Gradiente de temperatura		
Taxa de aquecimento ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tempo (min)
-	45	6
3	250	0

Fonte: A Autora (2019).

<sup>1</sup>SCAN: Análise no modo de varredura de íons; <sup>2</sup>SIM: Monitoramento de íon seletivo; <sup>3</sup>u.m.a.: unidade de massa atômica; <sup>4</sup> $m/z$ : razão massa/carga.

### 3.9.2 Análise para quantificação dos compostos presentes no OE

Os voláteis isolados foram analisados no Centro de Apoio à Pesquisa (CENAPESQ) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), usando um cromatógrafo Perkin Elmer Autosystem XL (Perkin Elmer, Shelton, CT) equipado com uma coluna DB-5 de sílica fundida, de fase imobilizada em metilsilicone (diâmetro interno de 30 m × 0,25 mm, espessura de filme 0,25 µm; J e W Scientific Inc.) ligado a um espectrômetro de massa Perkin Elmer Turbomass (versão do software 4.1).

A temperatura do forno foi programada para começar em 45 °C e ir aumentando até 175 °C, com incrementos de 3 °C/min, e subsequentemente a 15 °C/min até 300 °C. Atingidos os 300 °C, a temperatura foi mantida durante 10 min. As temperaturas do injetor e dos detectores foram programadas para 280 °C e 300 °C, respectivamente. Foram injetados volumes de amostras na ordem de 0.1 µL. Foi utilizado o hélio como gás de arrastamento, ajustado para uma velocidade linear de 30 cm/s.

A identidade dos compostos foi determinada por comparação dos seus índices de retenção (Equação 12; ZHANG, *et al.* 2011), relativos ao C7-C21 n-alcenos e espectros de massa, com os padrões comerciais e compostos de referência presentes em óleos essenciais existentes no CENAPESQ; e por comparação com uma biblioteca de espectros de massa desenvolvida no laboratório.

$$I = 100 \times \left[ n + \frac{t'_{r(\text{unknown})} - t'_{r(n)}}{t'_{r(N)} - t'_{r(n)}} \right] \quad (12)$$

Onde:

I = Índice de Kovats,

n = o número de átomos de carbono do n-alceno de menor cadeia,

N = o número de átomos de carbono do n-alceno de maior cadeia,

$t'_{r(\text{unknown})}$  = tempo de retenção do composto a ser identificado,

$t'_{r(n)}$  = tempo de retenção do composto com o menor número de átomos de carbono,

$t'_{r(N)}$  = tempo de retenção do composto com o maior número de átomos de carbono.

A composição percentual dos OE foi determinada pela integração das áreas dos picos sem utilização de fatores de correção e, embora seja influenciada pela concentração do composto, não corresponde a esta.

As análises de composição para os óleos essenciais foram realizadas para 4 dos 7 tratamentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão do presente trabalho foi estruturado em dois tópicos, a saber: experimento de emergência das plântulas – experimento 1; e cultivo em casa de vegetação e sua produtividade – experimento 2.

### 4.1 Experimento de emergência das plântulas – experimento 1

Os resultados e discussão da emergência das plântulas referentes ao experimento 1 foi dividido em dois tópicos, a saber: medidas de emergência das plântulas; e medidas de clorofila e proteína solúvel nas plântulas.

#### 4.1.1 Medidas de emergência das plântulas

Os tempos de emergência iniciais ( $t_i$ ) e finais ( $t_f$ ) não apresentaram diferenças estatísticas entre os cultivos com água destilada (T1) e com esgoto tratado (T2). De fato, em ambos os tratamentos, o  $t_i$  ocorreu entre 6 e 7 dias pós-semeadura (DPS) e o  $t_f$  ocorreu entre o 10 e 16 DPS (Tabela 8). Considerando-se o valor médio do tempo de germinação (TM) obtido nas 3 réplicas, o uso de esgoto tratado (T2) diminuiu o TM de 8,8 DPS (plântulas germinadas com água, T1) para 7,4 DPS (redução de 16%). A diferença entre os valores de TM foi significativa ao nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 8 – Índices de emergência de plântulas – experimento 1

Medida	Tratamento <sup>1</sup>		D máx <sup>2</sup>		Limites teóricos	Amplitude
	T1	T2	T1	T2		
E (%)	39,3±15,2 a	58,0±13,0 a	0,346	0,313	[0;100]	[18,0;70,0]
$t_i$ (dia)	6,7±0,5 a	6,3±0,5 a	0,384	0,384	[0;21]	[6,0;7,0]
$t_f$ (dia)	13,3±1,9 a	10,3±0,5 a	0,384	0,384	[0;21]	[10,0;16,0]
TM (dia)	8,77±0,28 b	7,37±0,45 a	0,300	0,382	[0;21]	[7,05;9,04]
CVt (%)	35,6±15,0 a	20,6±5,9 a	0,192	0,214	(0;∞)	[13,8;54,5]
VE (plântula.dia <sup>-1</sup> )	2,48±0,99 a	4,06±0,93 a	0,384	0,175	[0;50]	[1,08;5,19]
VME (dia <sup>-1</sup> )	0,114±0,004 b	0,136±0,008 a	0,305	0,382	[0,04;1]	[0,111;0,142]
U(bit)	2,216±0,259 a	1,871±0,015 a	0,219	0,384	[0,5;648]	[1,850;2,510]
Z	0,243±0,027 a	0,307±0,024 a	0,214	0,305	[0;1]	[0,212;0,339]

. Fonte: A Autora (2019).

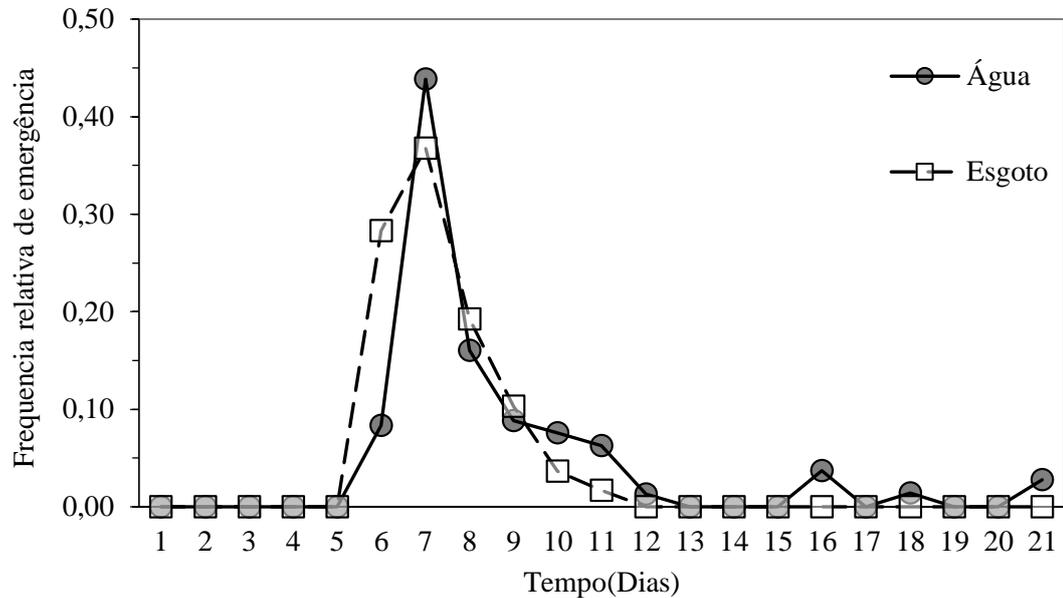
<sup>1</sup>Dados representam média ± desvio padrão; médias seguidas de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de T-Student a 0,05 de probabilidade; <sup>2</sup>estatística de Kolgomoronov-sminov,  $D_{\text{tabelado}}=0,708$  ( $n=3$ ,  $\alpha=0,05$ ), distribuição normal se  $D_{\text{max}} < D_{\text{tabelado}}$ ; E: emergênciabilidade;  $t_0$ : tempo para a primeira germinação;  $t_f$ : tempo para a última germinação; TM: tempo médio de germinação; CVt: coeficiente de variação no tempo; VE: velocidade de emergência; VME: velocidade média de germinação; U: incerteza; Z: sincronia; T1: água destilada; T2: esgoto tratado

O coeficiente de variação do tempo médio (CVt) variou de 13,8 a 54,5 %, caracterizando o processo de emergência nesse teste como heterogêneo em relação ao tempo (valores dispersos mais de 400 % de variação percentual entre o menor, 13,8 %, e o maior, 54,5 % valor obtido). Os testes com esgoto apresentaram menor média de CVt (20,6 %), em relação aos testes com água destilada (35,6 %), Tabela 8. Isto demonstra que o uso de T2 diminuiu a heterogeneidade do tempo médio de emergência, o que é desejável para se obter uma colheita mais rápida e com plantas mais uniformes.

A emergenciabilidade (E) das sementes de *Coriandrum sativum* nesse experimento se manteve entre 18 e 70 %. Embora a E tenha sido estatisticamente igual entre os tratamentos, o tratamento com esgoto (T2) apresentou uma E média 47,5 % maior, comparado ao tratamento irrigado com água (T1). A emergenciabilidade e o tempo médio de emergência influenciam na velocidade de emergência, assim como na uniformidade. A velocidade de emergência (VE) foi mais rápida para os testes com esgoto tratado (em T2 a VE de 4,06 plântula. dia<sup>-1</sup>) comparado aos testes com água (T1 a VE de 2,48 plântula.dia<sup>-1</sup>), embora os valores não tenham sido diferentes estatisticamente ( $p > 0,05$ ), a variação entre os tratamentos para a VE foi de 63 %, menos espalhada no tempo e com maior sincronia para os tratamentos com T2, já que os testes com T2 apresentou menor valor de incerteza ( $U_{T2} = 1,871$  bits) comparado aos testes com T1 (2,216 bits); e maiores valores de sincronia ( $Z_{T2} = 0,307 > Z_{T1} = 0,243$ ), Tabela 8.

Os valores de incerteza variaram de 1,850 a 2,510 bits, sendo o maior valor mais próximos do limite teórico inferior (0,000 bits) do que do superior (5,648 bits); Tabela 8. Esses valores baixos de incerteza demonstram que houve registros de alta frequência de emergência de plântulas (Figura 16) num mesmo intervalo de tempo. A sincronia do processo, expressa pelo Z, apresentou valores baixos ( $0,212 \leq Z \leq 0,339$ ) e próximos de zero, o que indica falta de sobreposição da emergência das plântulas no tempo.

Figura 16 - Frequência relativa de emergência de plântula valores médios para os tratamentos irrigados com água e com esgoto tratado.

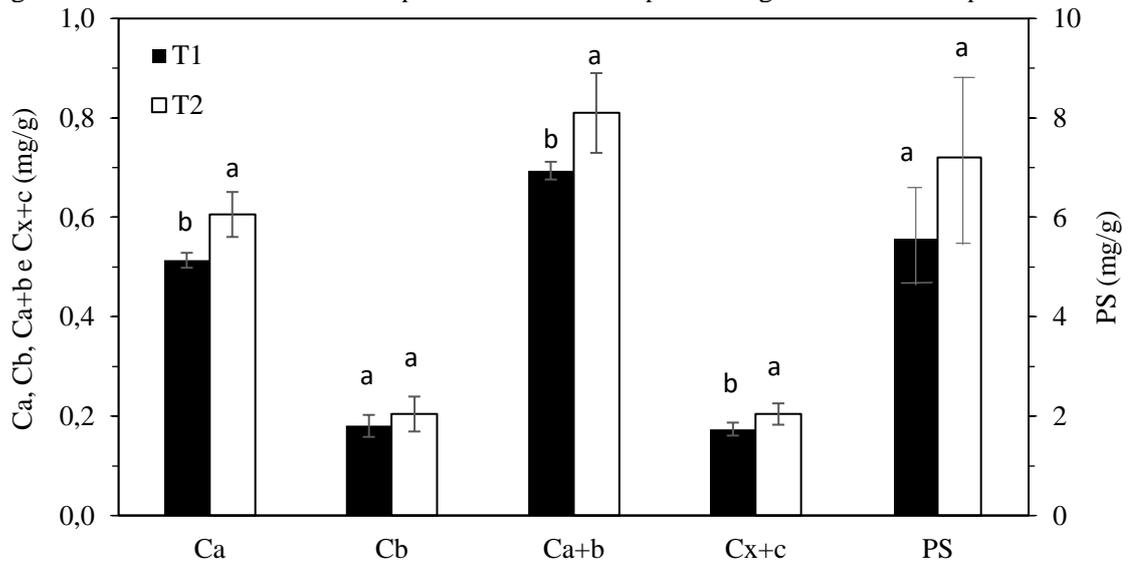


Fonte: A Autora (2019).

#### 4.1.2 Medidas de clorofila e proteína solúvel nas plântulas

O tratamento T2 apresentou maior concentração ( $P < 0,05$ ) nos pigmentos de clorofila a (Ca;  $0,61 \text{ mg.g}^{-1}$ ), clorofila total (Ca+b;  $0,81 \text{ mg.g}^{-1}$ ) e de carotenoides totais (Cx+c;  $0,20 \text{ mg.g}^{-1}$ ), em relação aos do tratamento T1, que apresentou valores de Ca, Ca+b e Cx+c de  $0,51$ ,  $0,69$  e  $0,17 \text{ mg.g}^{-1}$ , respectivamente (Figura 17). A concentração de Ca+b nas plântulas ficaram próximas aos valores ditos como comuns por Bezerra Neto e Barreto (2011), entre  $0,9$  e  $1,9 \text{ mg.g}^{-1}$ . Uma possível justificativa para os valores um pouco abaixo dos recomendados é que essa análise foi feita com as folhas primárias da plântula.

Figura 17 – Medidas de clorofila e proteína solúvel das plântulas germinadas do experimento 1.



Fonte: A Autora (2019).

Dados representam média  $\pm$  desvio padrão; médias seguidas de letras iguais nas colunas de um mesmo parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; PS: proteína solúvel total; Ca: clorofila a; Cb: clorofila b; Cx+c: carotenoide; T1: água destilada; T2: esgoto tratado;

As proteínas são compostos nitrogenados, ditas como macromoléculas formadas da união de vários aminoácidos entre si. Uma das classificações empregadas para as proteínas é dividi-las em proteínas solúveis (PS) e proteínas estruturais. As proteínas estruturais geralmente encontram-se ligadas a outros compostos e são constituintes das membranas celulares, enquanto que as proteínas solúveis participam diretamente do metabolismo vegetal, notadamente como enzimas (BEZERRA NETO e BARRETO 2011).

A concentração de PS não foi diferente estatisticamente entre os tratamentos. Entretanto, o coentro cultivado com esgoto (T2) apresentou PS de  $7,20 \text{ mg.g}^{-1}$ , o que representa uma variação percentual de 29 % maior que a PS de T1 ( $5,58 \text{ mg.g}^{-1}$ ). Há trabalhos que relatam a ocorrência de um aumento na concentração de PS com o aumento da disponibilidade de nitrogênio para a planta (GUIMARÃES, *et al.* 2013; REKIK, *et al.* 2017). O resultado de PS obtido pode indicar que a diferença da concentração de N no meio não fora grande o suficiente para gerar diferença estatística na concentração de PS. O tempo de cultivo possivelmente também não foi o suficiente para permitir tal diferença, ou seja, a idade da planta não permitiu grandes diferenças de PS.

O efeito de maior valor médio na concentração de PS, Ca, Cb, Ca+b e Cx+c observado com uso de esgoto tratado (Figura 17) em relação ao uso de água, foi observado em outros estudos e tem sido reportado como um efeito benéfico, devido ao conteúdo nutricional

presente no esgoto tratado na germinação de sementes (REKIK, *et al.* 2017; ZAYNEB, *et al.*, 2015).

A aplicação de nutrientes como N, K, Ca e Mg, que estão em maior concentração no esgoto doméstico tratado (tratamento T2) do que na água destilada (tratamento T1), proporcionou maior disponibilidade de nutrientes para as plântulas. Consequentemente, proporcionou a ocorrência dos seguintes benefícios descritos por Waraic (2012):

A sobrevivência e a produtividade das plantas expostas a estresses ambientais dependem de sua capacidade de desenvolver mecanismos adaptativos para evitar ou tolerar o estresse. Evidências acumuladas sugerem que o estado nutricional mineral das plantas afeta muito sua capacidade de se adaptar a condições ambientais adversas.

A aplicação de nutrientes como N, K, Ca e Mg reduz a toxicidade das espécies reativas à oxigênio (ERO), aumentando a concentração de antioxidantes como a superóxido dismutase; catalase (CAT) e peroxidação (POD) nas células vegetais. Esses antioxidantes eliminam as EROs e reduzem a foto-oxidação e mantêm a integridade da membrana dos cloroplastos e aumentam a taxa fotossintética nas plantas cultivadas. Nutrientes como K e Ca melhoram a ingestão de água, o que ajuda na regulação estomática e melhora a tolerância ao estresse de temperatura, mantendo a temperatura corporal da planta. A aplicação de K e Ca ajuda no ajuste osmótico. Esses nutrientes ajudam a manter o alto potencial hídrico tecidual sob condições de estresse de temperatura. Os micronutrientes como B, Mn e Se atenuam os efeitos adversos do estresse por temperatura, ativando os processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicos nas plantas. A aplicação de selênio (Se) e ácido salicílico (SA) pode aumentar a tolerância ao estresse de temperatura, aumentando a atividade da enzima antioxidante e diminuindo os danos à membrana por ERO.

Espera-se que uma planta bem nutrida produza mais biomassa por unidade de água transpirada do que uma planta não nutrida (WARAIC, *et al.* 2012). De fato, os efeitos dos nutrientes presentes no esgoto tratado em T2 proporcionaram maior altura média ( $p < 0,05$ ) de plântulas (7,8 cm) em relação ao da água destilada (T1; 7,5 cm). O T2 também proporcionou maior média do peso biomassa fresca das plântulas em relação a T1 (Tabela 9).

Tabela 9 - Altura e peso das plântulas do teste de emergência

	Água destilada (T1)	Esgoto tratado (T2)
Altura (cm)	7,5±1,4 b	7,8±1,3 a
Peso de 10 plantas (g)	0,55±0,07 b	0,80±0,18 a

Fonte: A Autora (2019).

\*Dados representam média ± desvio padrão; médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney a 0,05 de probabilidade;

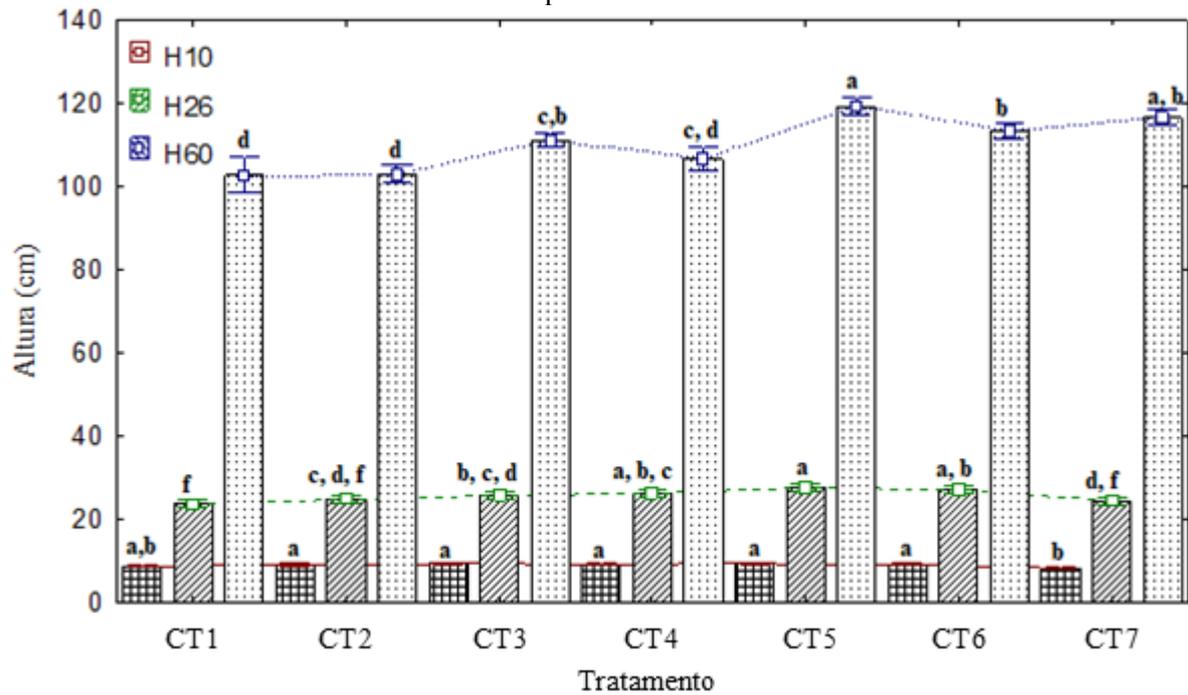
## 4.2 Cultivo em casa de vegetação e sua produtividade – experimento 2

Os resultados e discussão do cultivo em casa de vegetação e sua produtividade referentes ao experimento 2 foi dividido em quatro tópicos, a saber: altura e diâmetro do caule; resíduo mineral; análise de nitrogênio e óleo essencial das sementes colhidas.

### 4.2.1 Altura e diâmetro do caule

As alturas foram estatisticamente diferentes em todas as medições, mostrando maior gradiente de crescimento com o passar do tempo para as plantas irrigadas com esgoto do que nas plantas irrigadas com água. Isso pode ter acontecido devido à maior disponibilidade de nutrientes proporcionada pelo uso de esgoto tratado (E). No 10º dia pós-semeadura (DPS), o tratamento CT7 (E+NPK) teve o menor desempenho de crescimento, significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) dos tratamentos CT3 (A+NPK), CT4 (E), e CT5 (E+K<sub>p</sub>), os quais apresentaram as maiores alturas (Figura 18). Os efeitos da adubação química na altura das plantas no 10º DPS é baixo, devido ao fato que as plântulas emergiram em sua maioria no 7º e 8º DPS, efeito observado no Experimento 1 (Figura 16). O pouco tempo para o desenvolvimento das raízes, dificultou a sua influência para absorção de nutrientes por interceptação dos nutrientes minerais adicionados. O que influenciou a diferença entre as alturas das plantas nesse período podem ser atribuídos à efeitos aleatórios não controlados que deveriam ter influenciado igualmente nos tratamentos.

Figura 18 - Altura média das plantas por tratamento nos 10°, 26° e 60° dia pós-semeadura – experimento 2



Fonte: A Autora (2019).

Dados significam média  $\pm$  desvio padrão; letras iguais entre barras com leitura do mesmo dia, não diferem entre si para o teste de Turkey ( $p > 0,05$ ); H10: altura medida no 10° dia pós-semeadura (DPS); H26: altura medida no 26° DPS; H60: altura medida no 60° DPS; CT1 – A, CT2 – A + K, CT3 – A + NPK, CT4 – E, CT5 – E+K<sub>p</sub>, CT6 – E+N<sub>p</sub>PK<sub>p</sub> e CT7 – E+NPK.

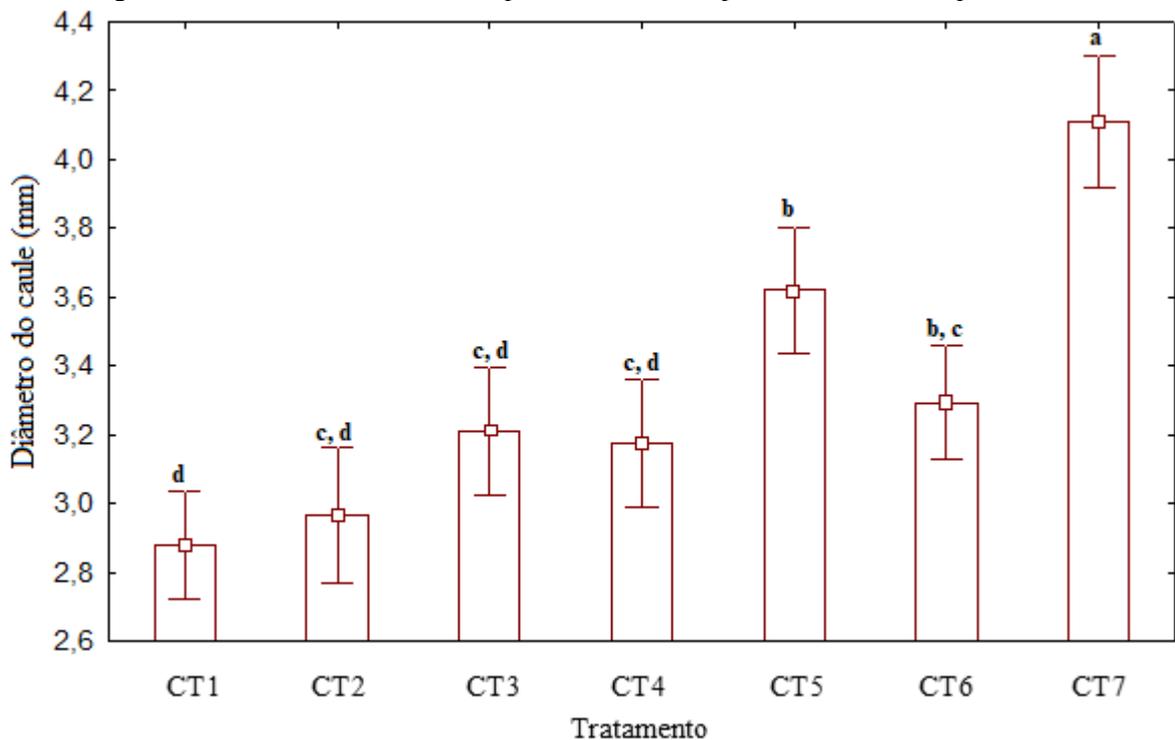
O tratamento CT1 (A) foi o que teve pior desempenho de crescimento no 26° e 60° DPS, o que pode ser um indicador da ausência de adição de nutrientes, tanto no solo quanto na água de irrigação. No 60° DPS dos tratamentos irrigados com água de abastecimento (AA), que recebeu 100% da adubação recomendada (CT3), apresentou melhor desempenho do que os outros dos tratamentos que receberam adubação parcial (CT2) ou nenhuma adubação (CT1).

No 60° DPS, todos os tratamentos irrigados com esgoto tratado (CT4, CT5, CT6 e CT7) apresentaram a altura média da planta estatisticamente igual ou superior à maior altura dos tratamentos irrigados com água, o CT3. Esses resultados confirmam e corroboram com os resultados obtidos no Experimento 1 (Tabela 9 - Altura e peso das plântulas do teste de emergência), confirmando que o uso de esgoto tratado influenciou favoravelmente a nutrição das plantas, que consequentemente produziram mais biomassa, aqui expressas através da altura, do que uma planta menos nutrida, representadas pelas plantas irrigadas com água de abastecimento da casa de vegetação.

Os resultados de diâmetro do caule das plantas, medido no 60° DPS, apresentaram semelhanças com os da altura medida no mesmo dia, Figura 18 e Figura 19, o que era de se

esperar. Para sustentar uma planta mais alta, é preciso uma área de caule maior, o que resulta em seu maior diâmetro, considerando que a resistência do material do caule é a mesma. Isso é necessário para suportar os esforços de vento, peso próprio da planta, entre outras solicitações eventuais, que são maiores em uma planta mais alta do que uma planta mais baixa. O CT1 foi o tratamento com menor diâmetro dentre todos os tratamentos e o CT3 o melhor tratamentos dentre os tratamentos irrigados com AA. Dos tratamentos irrigados com E, todos apresentaram o diâmetro do caule estatisticamente igual ou superior ao do tratamento irrigados com água e NPK (CT3).

Figura 19 – Diâmetro do caule das plantas no 60º dia pós-semeadura – experimento 2



Fonte: A Autora (2019).

\*Dados significam média  $\pm$  desvio padrão; letras iguais entre barras não diferem entre si para o teste de Turkey ( $p > 0,05$ ); CT1 – A, CT2 – A + K, CT3 - A + NPK, CT4 - E, CT5 - E+K<sub>p</sub>, CT6 - E+N<sub>p</sub>PK<sub>p</sub> e CT7 - E+NPK.

#### 4.2.2 Resíduo mineral

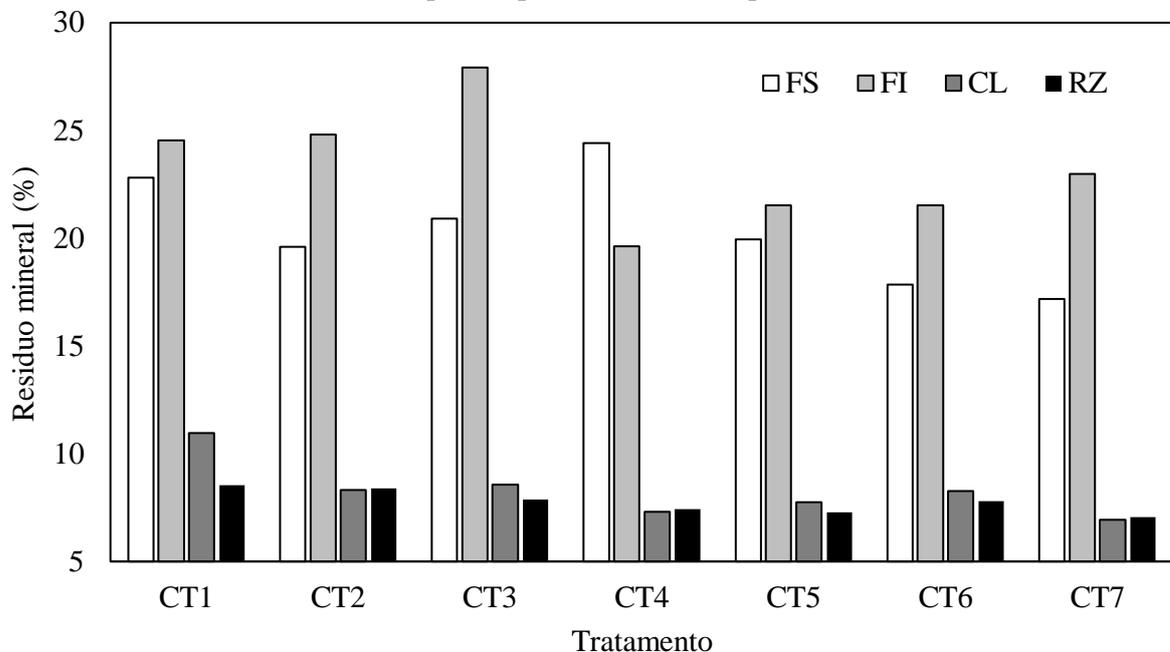
Bezerra Neto e Barreto (2011) descrevem a importância da análise de resíduos minerais:

Os elementos minerais que as plantas absorvem, seja pelas raízes, seja pela parte aérea, são classificados em elementos essenciais, elementos úteis (ou benéficos) e elementos tóxicos; portanto, a cinza corresponde ao resíduo inorgânico resultante da oxidação (através da queima) completa da matéria orgânica, e representa o total de elementos minerais. Durante a digestão por via seca, além de água, gases como CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, e outros são eliminados, permanecendo no cadinho apenas o resíduo mineral, o qual é formado de

cátions como:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ , etc. e ânions como silicato, fosfato e sulfato e dos respectivos óxidos. O conteúdo de resíduo mineral varia de espécie para espécie vegetal. Dentro da mesma espécie vegetal varia com o órgão e idade da planta. O teor de cinzas está diretamente relacionado com a atividade metabólica. Desta forma, as folhas contêm muito mais cinzas de que as sementes. O lenho (madeira) contém pouca cinza.

De fato, o resultado da análise de resíduos minerais nas partes das plantas demonstrou menor concentração nas raízes (RZ) e caules (CL), variando entre os tratamentos de 7,0 a 8,5 % e 6,9 a 11,0 %, respectivamente, Figura 20. As maiores concentrações, de forma geral, do maior para o menor, ocorreram para as folhas inferiores (FI), seguida das folhas superiores (FS), variando de 19,6 a 27,9% e 17,2 a 24,4% respectivamente.

Figura 20 – Resultados das análises de resíduos minerais nas folhas superiores, folhas inferiores, caule e raízes das plantas por tratamento – experimento 2



Fonte: A Autora (2019).

\*Valores expressos em relação à amostra pré-preparada; FS – folhas superiores; FI – folhas inferiores; CL – Caule; RZ – raízes; CT1 – A, CT2 – A + K, CT3 – A + NPK, CT4 – E, CT5 – E+K<sub>p</sub>, CT6 – E+N<sub>p</sub>PK<sub>p</sub> e CT7 – E+NPK.

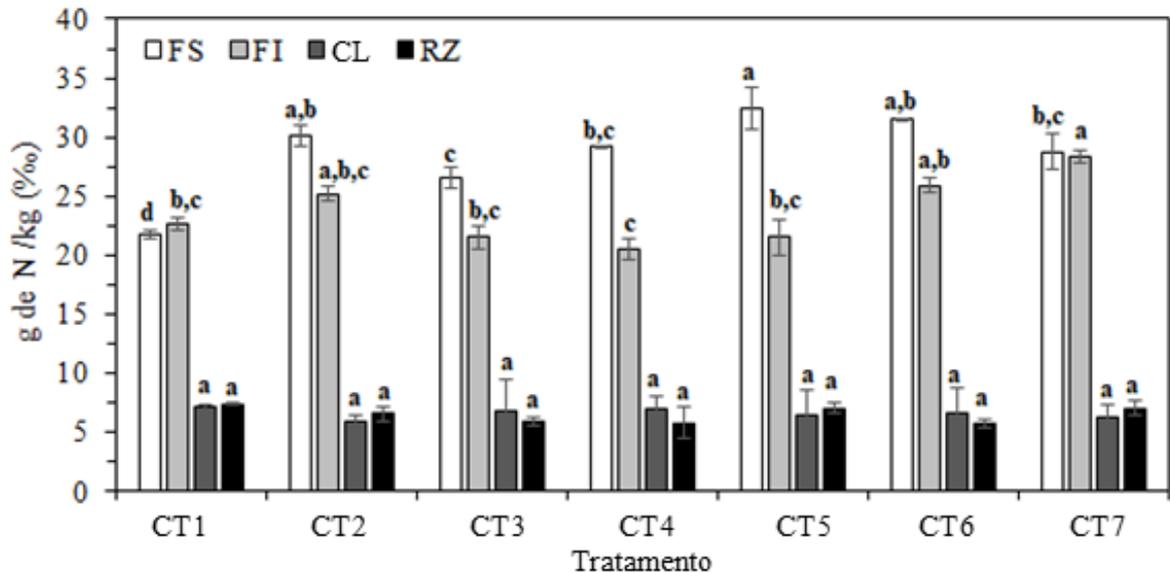
Os tratamentos que não receberam adição de adubação química mineral CT1 (água de abastecimento - A) e CT4 (esgoto tratado - E), apresentaram maiores concentrações de resíduos mineral nas FS do que as dos tratamentos que receberam esse tipo de adubação. Entretanto, nas FI foi observado uma tendência de se obter maior concentração de resíduos minerais, quanto maior a concentração da adubação química (Figura 20). Além disso, os tratamentos irrigados com E (CT4, CT5, CT6 e CT7) apresentaram menor concentrações de resíduo mineral nas FI do que as dos tratamentos irrigados com A (CT1, CT2 e CT3). Essa

ocorrência na concentração dos resíduos minerais pode ter ocorrido porque os nutrientes disponibilizados pelo esgoto e/ou pela adubação química proporcionaram produção de certos compostos, como as proteínas, que são volatilizados durante a digestão seca. Já a diferença entre o comportamento dos resíduos minerais nas FS e nas FI, pode ser explicado pelas necessidades da planta nas FS e FI. Na fase de produção de sementes, as folhas superiores do coentro são distintas das folhas inferiores não apenas esteticamente, mas também em funcionalidade.

#### 4.2.3 Análise de nitrogênio

As concentrações de N foram maiores em partes com maior atividade metabólica, nas folhas, ficando o talo e as raízes com pouca concentração de N, Figura 21. Neste último aspecto, o comportamento da concentração de N foi similar ao comportamento da concentração de resíduos minerais (item 4.4.2 acima). Já o comportamento da concentração de N nas folhas das plantas, foi diferente do de resíduos minerais, tendo em vista que, de forma geral, N foi maior nas FS do que nas FI, enquanto que o resíduo mineral ocorreu de forma contrária, com maior concentração nas FI do que nas FS, Figura 20.

Figura 21 – Concentração de nitrogênio nas partes das plantas por tratamento – experimento 2



Fonte: A Autora (2019).

\*Dados significam média  $\pm$  desvio padrão; letras iguais entre barras da mesma parte da planta (FS, FI, TL ou RZ), não diferem entre si para o teste de Turkey ( $p > 0,05$ ); FS – folhas superiores; FI – folhas inferiores; CL – Caule; RZ – raízes; CT1 – A, CT2 – A + K, CT3 – A + NPK, CT4 – E, CT5 – E+K<sub>p</sub>, CT6 – E+N<sub>p</sub>PK<sub>p</sub> e CT7 – E+NPK.

Nas folhas superiores todos os tratamentos irrigados com esgoto tratado (CT4, CT5, CT6 e CT7) apresentaram concentração estatisticamente igual ou superior aos tratamentos

irrigados com água de abastecimento (CT1, CT2 e CT3). Isso ocorreu devido à maior concentração de nitrogênio no esgoto tratado do que na água de abastecimento da casa de vegetação, Tabela 4, que proporcionou maior disponibilidade de N para a planta.

Os tratamentos CT1 -A e CT4 -E foram os únicos que não receberam adubação dias antes da semeadura (DAS) e de cobertura com N. A ausência da adubação química de N pode ter influenciado em baixas concentrações de N nas FI, que são as folhas mais velhas, nos tratamentos CT1 e CT4 comparado aos outros tratamentos. Entretanto nas FS, folhas novas, a ausência de adubação com N repercutiu apenas no CT1, demonstrando que a irrigação com esgoto em CT4 proporcionou maior concentração de N na planta.

Nos tratamentos irrigados com esgoto que receberam adubação de N de cobertura (CT5, CT6 e CT7), foi observado que a diferença entre as concentrações de N nas FS e FI foi reduzindo à medida que foi aumentando as concentrações de N aplicadas nos DAS. O que pode significar que, com o aumento da concentração de N pela adubação química, as plantas sentiram menor necessidade de deslocar o N das FI para atender necessidades das FS.

#### 4.2.4 Óleo essencial das sementes colhidas

A análise do óleo essencial das sementes colhidas foi estruturada em dois tópicos, a saber: rendimento e concentração de linalol; e composição e concentração relativa dos compostos identificados.

##### a) Rendimento e concentração de linalol

A concentração de óleo essencial ( $C_{OE}$ ) nas sementes secas de coentro variou de 0,43 a 0,55 % e se encontra dentro dos valores citados em outros trabalhos, Tabela 2. A  $C_{OE}$ , de forma geral, foi maior nos tratamentos irrigados com esgoto (0,51 a 0,55 %), comparado aos tratamentos irrigados com água de abastecimento (0,43 a 0,52 %), Tabela 10.

Tabela 10 – Rendimento dos óleos essenciais das sementes colhidas por tratamento – experimento 2

Tratamento	g de semente/ 100g de biomassa <sup>4</sup>	$C_{OE}$ /sementes (%) <sup>1</sup>	$C_{linalol/OE}$ (%) <sup>2</sup>	mg de linalol / kg de sementes <sup>3</sup>
<b>CT1 - A</b>	11,7±1,7	0,52	32,4	167,83
<b>CT2 -A +K</b>	16,3±1,6	0,50	44,4	223,51
<b>CT3 – A+NPK</b>	13,2±4,4	0,43	52,9	226,87
<b>CT4 - E</b>	16,2±3,8	0,55	39,3	214,77
<b>CT5 – E+K<sub>p</sub></b>	16,2±5,3	0,52	55,9	288,11
<b>CT6 - E+N<sub>p</sub>PK<sub>p</sub></b>	17,4±6,3	0,52	52,4	273,62
<b>CT7 - E+NPK</b>	22,3±5,5	0,51	46,0	236,78

Fonte: A Autora (2019).

A - água de abastecimento; E - esgoto tratado; N - nitrogênio; P - fósforo; K - potássio; <sub>p</sub> – parcial.  
<sup>1</sup>Concentração, g/100g, de óleo essencial nas sementes secas; <sup>2</sup> Concentração, g/100g, de linalol no óleo essencial; <sup>3</sup>Estimativa da produção de linalol, em mg, obtidos ao extrair o óleo essencial de 1 kg

de sementes secas; <sup>4</sup> Produtividade média±desvio padrão do peso de sementes secas em g por 100 g de biomassa de planta seca.

A concentração de linalol no óleo essencial ( $C_{\text{linalol/OE}}$ ) foi menor no tratamento CT1-A (32,4 %) do que nos outros tratamentos, o que era de se esperar, visto que esse não recebeu adubação química nem nutrientes na água de irrigação, Tabela 10. A baixa disponibilidade de nutrientes no tratamento CT1 comparado aos outros tratamentos, não estimulou o metabolismo secundário resultando em menor concentração de óleo essencial na semente e de linalol no óleo essencial.

Embora deva ser razoavelmente esperada uma certa reatividade das vias metabólicas das plantas com o aumento da disponibilidade de nutrientes, a maior concentração foi obtida para o tratamento CT5 – E+K<sub>p</sub> (55,9 %). O esperado seria o tratamento CT7-NPK, já que recebera maior concentração de nitrogênio (N) e fósforo (P). As justificativas podem ser explicadas conforme Chrysargyris, *et al.* (2017), Carrubba (2009), Hani, *et al.* (2015) e Hossain e Pariari (2018).

A melhoria no rendimento de óleo essencial e de compostos de interesse associadas a adubação com K foram relatadas por (CHRYSARGYRIS, *et al.* 2017)

A aplicação de K elevado aumentou o conteúdo de polifenóis da hortelã e a atividade antioxidante (DPPH, FRAP), enquanto K > 325 mg.L<sup>-1</sup> revelou estresse oxidativo (aumento de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), seguido pela ativação de enzimas antioxidantes (SOD, APX, CAT), fornecendo ação protetora ao plantar. Os principais componentes do óleo essencial foram carvona, limoneno, 1,8-cineol, germacreno D, β-pineno e β-cariofileno. Considerando um maior teor de carvona, o tratamento com 325 mg.L<sup>-1</sup> K pode ser apropriado para o cultivo e produção de hortelã para uso de óleo essencial, melhorando sua atividade antioxidante e antibacteriana contra patógenos transmitidos por alimentos.[DPPH - 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; FRAP - poder antioxidante redutor férrico; SOD - superoxide dismutase activity; APX - activity of ascorbate peroxidase; CAT - catalase activity; K – concentração de potássio].

Os efeitos da fertilização com nitrogênio foram relatados como inconclusivos por Carrubba (2009):

Embora deva ser razoavelmente esperada uma certa reatividade das vias metabólicas das plantas à fertilização com N, as informações sobre o efeito dessa prática no rendimento e composição do óleo essencial no coentro são escassas.[...] uma forte diferenciação é evidente para dados de diferentes experiências, enquanto em cada conjunto de dados uma homogeneidade substancial entre os tratamentos aparece mesmo quando a diferença no suprimento de N é muito alta. Gil et al. (2002) relataram variações significativas no conteúdo de óleo essencial quando a fertilização com N foi aumentada de 0 a 135 kg.ha<sup>-1</sup>, mas a direção e a amplitude dessas variações também foram afetadas pelas condições de crescimento (ano e local de cultivo) e pelo genótipo, cujos efeitos eram às vezes tão fortes que

escondiam completamente o da fertilização com N. Nos mesmos experimentos, a taxa de N também mostrou alguma influência no teor de linalol das sementes, mas tal ocorrência foi declarada apenas em uma raça européia, enquanto um genótipo argentino não estava preocupado. Resultados semelhantes foram obtidos por Hornok (1983), cujos experimentos não mostraram variação significativa no conteúdo de linalol e carvona no óleo essencial de coentro, mesmo sob um suprimento de N variando de 0 a 240 kg.ha<sup>-1</sup>.

Carrubba (2009) também relata que a fertilização com N parece promover a produção de sementes; logo, um dos ganhos do uso de N para produção de OE, pode se dar indiretamente através do aumento da produção de sementes (insumo).

Mudança no rendimento de óleo essencial e de compostos de interesse associadas a adubação com P foram relatadas por Hani, *et al.* (2015):

Os tratamentos consistiram em 3 regimes hídricos controle, (100 % da evapotranspiração), 75 % e 50 % do controle (tratamentos de seca) e três doses de P (0, 12 e 24 kg.ha<sup>-1</sup>) [pág 83].

Plantas de coentro irrigadas com 100% evapotranspiração e fertilizadas com superfosfato 24 kg.ha<sup>-1</sup> P, resultaram em componentes de alto rendimento e teor de óleo essencial de plantas estressadas pela água, sem aplicação de P. Os menores valores de eficiência de uso da água para o rendimento de óleo de coentro [calculado pela razão da produção de sementes e de óleo de coentro; g.m<sup>-3</sup> e ml.m<sup>-3</sup> respectivamente, por água de irrigação aplicada (m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>); e tem a finalidade de indicar a produtividade da unidade de água de irrigação] foram obtidos quando nenhum fertilizante fosfato foi adicionado nos três regimes de água. Este estudo mostra claramente a eficácia da adição de superfosfato, sob diferentes necessidades de água, como suficiente para melhorar a produtividade das sementes e da produção de óleo essencial no coentro. [pág. 90]

Hani, *et al.* (2015) também relata sobre o aumento da biomassa do coentro com o aumento da concentração de fertilização com P:

A aplicação de fertilizante com P a 12 e 24 kg.ha<sup>-1</sup> aumentou significativamente a altura da planta, número de galhos, número de umbelas e produção de sementes em relação à ausência de fertilizante. Os maiores valores médios de altura da planta, número de galhos, número de umbelas e peso das sementes foram obtidos na aplicação de 24 kg.ha<sup>-1</sup> P. [pág. 85]

Entretanto, a concentração de linalol, no trabalho de Hani, *et al.* (2015) não seguiu a mesma tendência da biomassa e da concentração de óleo nas sementes, de ter o maior rendimento para 100 % da evapotranspiração e 24 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante, como o autor descreveu a seguir:

O percentual máximo de linalol (65,58 %) foi obtido a partir da irrigação com 50 % do controle e fertilizada com 24 kg.ha<sup>-1</sup> de P. Enquanto que as plantas que receberam 100% das necessidades de água da lavoura sem fertilizante com P apresentaram o menor percentual de linalol (35,13%). Pelo contrário, verificou-se que a irrigação com 100% da evapotranspiração e 24 kg.ha<sup>-1</sup> de P deu a maior porcentagem de nerol,  $\alpha$ -terpineol, anetol e  $\alpha$ -pineno, e a menor porcentagem de linalol, cânfora e carvacrol. Além disso, a

irrigação em 50% das necessidades de água da colheita com 12 kg-ha<sup>-1</sup> de P deu a menor porcentagem de limoneno,  $\gamma$ -terpineno, borneol e geraniol e a maior porcentagem de  $\alpha$ -terpineno, p-cimeno e geraniol. [pág. 87]

A concentração de P no solo utilizado nos experimentos foi de 554 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 5, pág. 31), muito maior do que a maior concentração usada no trabalho de Hani (2015), que foi de 24 kg.ha<sup>-1</sup>. Isso pode ter ocasionado que a adição de P, conforme recomendação do IPA (2008), tenha ocasionado efeitos contrários aos relatados pelo autor. O trabalho de Hossain e Pariari (2018) relata que há um limite ótimo para combinação de altas taxas de N e de P, indicando que os parâmetros de rendimento diminuíram com uma taxa muito alta de combinação de ambos; melhor produtividade de sementes e de óleo essencial por hectare seria com aplicação de 60 e 40 kg.ha<sup>-1</sup> de N e P, respectivamente. Nesse contexto, se explicam as concentrações reduzidas de óleo essencial na semente e de linalol no óleo no tratamento CT3 em relação aos tratamentos CT1 e CT2; e dos tratamentos CT6 e CT7 em relação ao CT1 são justificadas pela alta concentração de N e P que podem ter causado o efeito rebote.

b) Composição e concentração relativa dos compostos identificados

Dos compostos identificados analisados nos óleos essenciais extraídos de 4 tratamentos selecionados (CT1, CT3, CT4 e CT7), foi observado nos cromatogramas que nos tratamentos com esgoto, CT4, aumentou o percentual de área relativa para os compostos de linalol, terpineol e geraniol (73,84, 6,66 e 3,05 % respectivamente) e ocorreu redução na de decanal (2,07 %) em relação ao tratamento com água, CT1, que apresentou os valores de 71,89, 1,29 e 1,03 %, respectivamente, Tabela 11. Esse comportamento também foi observado entre os tratamentos que receberam 100 % da adubação mineral; CT7 apresentou valores de 74,73, 5,77, 5,39 e 2,50 % para linalol, terpineol, geraniol e decanal, respectivamente; e CT3 apresentou, os valores de 74,43, 2,92, 2,17 e 3,07 respectivamente. Isso significa que o linalol, terpineol e geraniol são estimulados a estarem em maior concentração na presença do esgoto tratado utilizado enquanto que o decanal é “desestimulado”.

Tabela 11 – Composição percentual da área dos picos para os compostos que foram identificados nos óleos essenciais extraídos das sementes em 4 tratamentos selecionados

Pico	Composto	CT3 - A-NPK	CT7 - E-NPK	CT1 - A	CT4 - E
		% <sup>1</sup>			
1	<i>Oxime-, methoxy-phenyl</i>	9,95	1,63	0,40	2,37
2	<i>Limonene</i>	0,01	1,76	5,37	1,25
3	<i>Linalool</i>	74,43	74,73	71,89	73,84
4	<i>Camphor</i>	4,79	4,47	4,03	6,08
5	<i>Borneol</i>	1,68	1,35	1,47	4,00
6	<i>Terpineol</i>	2,92	5,77	1,29	6,66
7	<i>Decanal</i>	3,07	2,50	9,73	2,07
8	<i>Geraniol</i>	2,17	5,39	1,03	3,05
9	<i>Geranyl acetate</i>	0,97	2,39	4,79	0,68

Fonte: A Autora (2019).

<sup>1</sup>Área % relativa à área dos 9 compostos identificados em todos os tratamentos; Coloração em escala cromática do verde ao vermelho para maior e menor valor em cada tratamento.

A presença de adubação química aumentou a concentração de linalol no tratamento com água, CT1 e CT3 apresentaram os valores de 71,89 e 74,43% respectivamente, Tabela 11. Esse efeito da adubação química no linalol também foi observado nos tratamentos irrigados com esgoto tratado, CT4 e CT7 apresentaram os valores de 73,84 e 74,43 % respectivamente. Além disso, foi observado na análise com padrão (Tabela 10) que o uso de esgoto aumentou a concentração de linalol, visto que CT1 e CT3 apresentaram valores de 32,4 e 52,9 %, respectivamente; e CT4 e CT7 apresentaram valores de 39,3 e 46,0 % respectivamente. Demonstrando assim coerência entre as análises, essas que já são coesas por se tratar da mesma amostra.

A diferença entre os resultados da composição percentual por área relativa dos picos que foram identificados e o da concentração calculada por padrão para a concentração de linalol, ocorre devido à falta de identificação de alguns compostos; e também devido ao fato que, embora a área relativa seja influenciada pela concentração dos compostos, elas não representam essa concentração. Mesmo assim, em ambas as análises, calculada por padrão e por área relativa, Tabela 10 e 11 respectivamente.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso de esgoto tratado na irrigação das plantas de coentro beneficiou a germinação das sementes, resultando em valores favoráveis dos índices germinativos e conseqüentemente, na produção de óleo essencial. No experimento 1, o uso de esgoto proporcionou valor significativamente menor ( $p>0,05$ ) para o tempo médio de germinação (7,37 dias), em relação à utilização de água destilada (8,77 dias). Além dos benefícios germinativos, essas plântulas apresentaram maior altura (8,77 cm), peso (0,80 g.10plantulas<sup>-1</sup>), concentração de proteína solúvel (7,20 mg.g<sup>-1</sup>) e clorofila total ( $C_{a+b}$ ; 0,81 mg.g<sup>-1</sup>) com o uso de esgoto, em relação ao de água destilada que apresentou os valores de 7,5 cm, 0,55 g.10plantulas<sup>-1</sup>, 5,58 mg.g<sup>-1</sup> e 0,69 mg.g<sup>-1</sup>, respectivamente; essas características são importantes para o desenvolvimento da planta e desejáveis pelos agricultores.

Os tratamentos que usaram esgoto tratado na irrigação CT4 (E), CT5 (E+K<sub>p</sub>) 16,2, CT6 (E+N<sub>p</sub>PK<sub>p</sub>) 17,4 e CT7 (E+NPK), no experimento 2, demonstraram maior produção de sementes por biomassa de planta seca (16,2, 16,2, 17,4 e 22,3 g de semente/100 g de biomassa, respectivamente), proporcionou maior rendimento de óleo essencial extraído das sementes (0,55, 0,52, 0,52, 0,51 %, respectivamente) e maior concentração de linalol no óleo essencial (39,3, 55,9, 52,4, 46,0 %, respectivamente), comparado aos tratamentos irrigados com água de abastecimento da casa de vegetação CT1 (A), CT2 (A+K) e CT3 (A+NPK) que apresentaram, respectivamente, os valores de 11,7, 16,3 e 13,2 g de semente/100 g de biomassa; de 0,52, 0,50 e 0,43 % de concentração de óleo essencial; e de 32,4, 44,4 e 52,9 % de concentração de linalol no óleo essencial. Assim o uso de esgoto tratado foi considerado satisfatório, sendo o tratamento CT5 o melhor, nas condições experimentais aplicadas, para a produção de linalol devido ao aumento do potencial de produção observado.

Entretanto, ainda se faz necessário aprofundar os estudos nessa área, de modo a otimizar as técnicas de reuso para tal cultivar, bem como abrir caminho para pesquisas futuras envolvendo outras espécies vegetais. Outro ponto a ser trabalhado também está nas repetições dos experimentos em campo com análises mais completas dos óleos obtidos para avaliar a sua qualidade; e assim entender quais as possibilidades e quais os benefícios econômicos que o reuso agrícola pode proporcionar dentro dos setores agroindustriais de interesse.

## REFERÊNCIAS

- ABIDO, S. **Além de aromatizantes: óleos essenciais e vegetais podem ajudar na saúde.** Publicado no jornal O Estado de São Paulo, em 27 dez. 2017. Disponível em: <https://emails.estadao.com.br/noticias/bem-estar,alem-de-aromatizantes-oleos-essenciais-e-vegetais-podem-ajudar-na-saude,70002131954>. Acesso em: 20 set. 2019.
- ANGELAKIS, A. N., ASANO, T., BAHRI, A., JIMENEZ, B. E., e TCHOBANOGLOUS, G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers in Environmental Science**, 6:26 (2018).
- ANWAR, F., SULMAN, M., HUSSAIN, A., SAARI, N., IQBAL, S., e RASHID, U. Physicochemical composition of hydro-distilled essential oil from coriander (*Coriandrum sativum L.*) seeds cultivated in Pakistan. **Journal of Medicinal Plants Research**, 2011: 3537-3544.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington, D.C, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: solo - análise granulométrica.** ABNT, 2018
- AZAMBUJA, W. Physicochemical composition of hydro-distilled essential oil from coriander (*Coriandrum sativum L.*) seeds cultivated in Pakistan. **Journal of Medicinal Plants Research**, 2011: 3537-3544.
- BARBOSA, F. R., SILVA, C. S., e CARVALHO, G. K. **Uso de inseticidas alternativos no controle de pragas agrícolas.** (Documentos, 191). Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2006.
- BARROS, K. K. Nematode suppression and growth stimulation in corn plants (*Zea mays L.*) irrigated with domestic effluente. **Water Science & Technology**, 2012.
- BASTOS, R. **Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) como ferramenta de tomada de decisão para o reúso de água.** Trabalho apresentado no 2º Seminário INCT ETEs Sustentáveis, Fortaleza – CE, 2019
- BEYZI, E., KARAMAN, K., GUNES, A., e BEYZI, S. Change in some biochemical and bioactive properties and essential oil composition of coriander seed (*Coriandrum sativum L.*) varieties from Turkey. **Industrial Crops & Products**, 2017: 74-78.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas.** UFRPE, 2011
- BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 1976.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Semiarido brasileiro.** 2017. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 10 abr. 2018.

CARRUBBA, A. Nitrogen fertilisation in coriander (*Coriandrum sativum* L.): a review and meta-analysis. **Journal of the Science Food and Agriculture**, 2009: DOI: 10.1002/jsfa.3535.

CHRYSARGYRIS, A., XYLIA, P., BOTSARIS, G., e TZORTZAKIS, N. Antioxidant and antibacterial activities, mineral and essential oil composition of spearmint (*Mentha spicata* L.) affected by the potassium levels. **Industrial Crops & Products**, 2017: 202-212. DOI:10.1016/j.indcrop.2017.04.010.

CSEKE, L., LU, C., KORNFELD, A., KAUFMAN, P., e KIRAKOSYAN, A. "2 - How and Why These Compounds Are Synthesized by Plants. *In: Natural Products from Plants*, por L. J. Cseke, A. Kirakosyan, P. B. Kaufman, S. L. Waber, J. A. Duke e H. L. Briemann, 569. Taylor & Francis Group, LLC, 2006.

DIAS, M., FERREIRA, I., SOUSA, M., e DONATO, M. **Caracterização química e molecular de amostras de *Coriandrum sativum* L. obtidas in vivo e in vitro**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2011.

DIEDERICHSEN, A. Coriander: *Coriandrum sativum* L. **Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 3**. IPGRI, 1996.

DINIZ, F. Parceria entre Embrapa e Givaudan buscará essências aromáticas no Cerrado. **Embrapa**. Última atualização em 10 de nov. de 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7011154/parceria-entre-embrapa-e-givaudan-buscar-essencias-aromaticas-no-cerrado>. Acesso em jan. de 2019.

EMBRAPA. **Levantamento exploratório** - reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Recife, 1973.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Catálogo brasileiro de hortaliças**: saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país. 2010. Disponível em: [www.sebrae.com.br/setor/horticultura](http://www.sebrae.com.br/setor/horticultura). Acesso em: mai. de 2018.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Apostila do Curso de pós-graduação "lato sensu" a distância de solos e meio ambiente. Lavras – MG: UFLA / FAEPE, 2005.

FELIPE, L.; BICAS, J. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. **Química Nova na Escola**, 2017. DOI:10.21577/0104-8899.20160068.

FILGUEIRA, F. A. **Novo manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV, 2003.

GUIMARÃES, D.; SOUZA, M.; HIRANO, R.; PEREIRA, P.; BARACAT-PEREIRA, M. Concentração de proteína solúvel por Bradford revela diferenças no metabolismo de plantas de ora-pro-nobis em diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, 2013, 40-44.

HANI, M., HUSSEIN, H., MURSY, M., NGEZIMANA, W., e MUDAU, F. Yield and Essential Oil Response in Coriander to Water Stress and Phosphorus Fertilizer Application. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, 2015, 82-92. DOI:10.1080/0972060X.2014.974080.

HOSSAIN, M., e PARIARI, A. Effect of different levels of nitrogen and phosphorus on growth and seed yield of coriander (*Coriandrum Sativum L.*) cv. Ajmer coriander-1. **International Journal of Chemical Studies**, 2018, 2181-2185.

HUZAR, E., DZIĘCIOŁ, M., WODNICKA, A., ÖRÜN, H., İÇÖZ, A., e ÇIÇEK, E. (). Influence of Hydrodistillation Conditions on Yield and Composition of Coriander (*Coriandrum sativum L.*) **Essential Oil**. 2018, Volume 68.

IBGE. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2011.

PERNAMBUCO. Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária. Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 2008.

KARUPPANAPANDIAN, T., MOON, J., KIM, C., MANOHARAN, K., e KIM, W. (). Reactive Oxygen Species in Plants: Their Generation, Signal Transduction, and Scavenging Mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, 2010, 709-725.

KIRAKOSYAN, A. 7 - Plant Biotechnology for the Production of Natural Products. *In*: KIRAKOSYAN, A. **Natural Products from Plants**. 2006

KROYMANN, J. Natural diversity and adaptation in plant secondary metabolism. **Current Opinion in Plant Biology**, 2011, 246-251.

LARIBI, B., KOUKI, K., M'HAMDI, M., e BETTAIEB, T.). Coriander (*Coriandrum sativum L.*) and its bioactive constituents. **Fitoterapia**, 2015.

LICHTENTHALER, H., e BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, 2001.

MANDAL, S., e MANDAL, M. Coriander (*Coriandrum sativum L.*) essential oil: Chemistry and biological activity. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, 2015, 421-428.

MAPA, M. **Regra para análise de sementes**. Brasília – DF, 2009.

MÁRIO FLÁVIO. Rio Ipojuca agoniza e expõe descaso com meio ambiente em Caruaru, PE.” **G1 Caruaru**. Em 22 de março de 2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2017/03/rio-ipojuca-agoniza-e-expoe-descaso-com-meio-ambiente-em-caruaru-pe.html>. Acesso em: jul. de 2018

MAROUELL, W. A. Tensiômetro para o controle de irrigação em hortaliças. **Circular Técnica 57**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008.

MARSLIN, G., SHEEBA, C., e FRANKLIN, G. Nanoparticles Alter Secondary Metabolism in Plants via ROS Burst. **Frontiers in Plant Science**, 2017, DOI: 10.3389/fpls.2017.00832.

MATOS, A. T. Potencial de aproveitamento de nutrientes e matéria orgânica presentes no esgoto em atividades agrossilvipastoris. Fortaleza – CE. *In: 2º Seminário INCT ETES Sustentáveis*, 2019.

MELO, A. **Produção de óleo essencial em duas espécies de manjeriço (*Ocimum basilicum*) irrigadas com efluente doméstico tratado**. 2018. Dissertação (mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.

MONTEIRO, T. L. **Efeito da aplicação de lodo e de efluente de reator UASB no cultivo de feijão CAUPI (*Vigna unguiculata (L.) Walp*)**. 2009 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

MOTA, S., e VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Em P. 5, Uso racional da água e energia. PROSAB 5. 2009.

NADEEM, M., ANJUM, F., KHAN, M., e TEHSEEN, S. Nutritional and medicinal aspects of coriander (*Coriandrum sativum*L.) A review. **British Food Journal**, 2013: 743-755.

NAGUIB, N. Y. M. Organic Vs Chemical Fertilization of Medicinal Plants: A Concise Review of researches. **Advances in Environmental Biology**, 2011, 394-400.

NASSIF, S., VIEIRA, I., e FERNANDES, G. Fatores Externos (ambientais) que Influenciam na Germinação de Sementes. **Informativo Sementes - IPEF**. Publicado em: abril de 1998. Disponível em: <https://www.ipef.br/tecsementes/germinacao.asp>. Acesso em: nov.de 2019.

OLIVEIRA, A., WANDERLEY JÚNIOR, L., MELO, P., e ALVES, A. Desempenho de genótipos de coentro em Areia. **Horticultura Brasileira**, 2007, 252-255.

PAVLIC, B., VIDOVIC, S., VLADIC, J., RADOSAVLJEVIC, R., e ZEKOVIC, Z. Isolation of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil by green extractions versus traditional techniques. **The Journal of Supercritical Fluids**, 99, 2015.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008.

RANAL, M., SANTANA, D. G., FERREIRA, W. R., e RODRIGUES, C. M. Calculating germination measurements and organizing spreadsheets. **Revista Brasileira de Botânica**, 32, 2009, 849-855.

REKIK, I., CHAABANE, Z., MISSAOUI, A., BOUKET, A. C., LUPTAKOVA, L., ELLEUCH, A., e BELBAHRI, L. Effects of untreated and treated wastewater at the morphological, physiological and biochemical levels on seed germination and development of sorghum (*Sorghum bicolor (L.) Moench*), alfalfa (*Medicago sativa L.*) and fescue (*Festuca arundinacea Schreb.*). **Journal of Hazardous Materials**, 2017, 165-176.

SANTANA, D. G., e RANAL, M. A. Análise estatística na Germinação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, nº 12 (Especial), 2000, 205-237.

SHELLIE, R., MONDELLO, L., MARRIOTTA, P., e DUGOB, G. Characterisation of lavender essential oils by using gas chromatography–mass spectrometry with correlation of linear retention indices and comparison with comprehensive two-dimensional gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, 2000.

SILVA, R. J. **Caracterização do esgoto tratado na ETE Mangueira e a viabilidade de seu uso em mudas de eucalipto**. Tese de doutorado. 2011.

SOUZA FILHO, E. J. Níveis de adubação no cultivo de melancia irrigado com esgoto. **Revista DAE**. 2017.

SUDENE. **Delimitação do Semiárido**. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: Dez. de 2018.

TEIXERA, P., BONAGEMMA, G., e TEIXEIRA, W. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA, 2017.

WARAIC, E. A., AHMAD, R., HALIM, A., e AZIZ, T. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2012, 221-244.

ZHANG, J., FANG, A., WANG, B., HO KIM, S., BOGDANOV, B., e ZHOU, Z. iMatch: A retention index tool for analysis of gas chromatography–mass spectrometry data. **Journal of Chromatography A**, 2011, 6522-6530.