



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

MARCOS HENRIQUE GOMES RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE CULTURAS DE *Capsicum chinense*  
Jacq. E *Vigna unguiculata* (L.) Walp. SUBMETIDAS A DIFERENTES  
CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO  
SANITÁRIO TRATADO**

Recife

2020

MARCOS HENRIQUE GOMES RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE CULTURAS DE *Capsicum chinense*  
Jacq. E *Vigna unguiculata* (L.) Walp. SUBMETIDAS A DIFERENTES  
CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO  
SANITÁRIO TRATADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a 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

2020

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

R484a Ribeiro, Marcos Henrique Gomes.  
Avaliação do rendimento de culturas de *Capsicum chinense* Jacq. e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. submetidas a diferentes condições de adubação e lâminas de irrigação com esgoto sanitário tratado / Marcos Henrique Gomes Ribeiro. - 2020.  
62 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato.  
Coorientador: Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.  
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Pimenta. 3. Feijão. 4. Irrigação. 5. Esgoto sanitário. 6. Adubação. 7. Rendimento. I. Kato, Mario Takayuki (Orientador). II. Leite, Wanderli Rogério Moreira (Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-55

MARCOS HENRIQUE GOMES RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE CULTURAS DE *Capsicum chinense*  
Jacq. E *Vigna unguiculata* (L.) Walp. SUBMETIDAS A DIFERENTES  
CONDIÇÕES DE ADUBAÇÃO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO  
SANITÁRIO TRATADO**

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

Aprovada em: 26/10 /2020

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato – Universidade Federal de Pernambuco

Coorientador: Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite – Universidade Federal de Pernambuco

**BANCA EXAMINADORA**

participação por videoconferência  
Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite (coorientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência  
Prof<sup>o</sup>. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes (examinador externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência  
Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Shyrlane Torres Soares Veras (examinadora externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, à divindade superior, que nos deu a vida e nos concedeu a dádiva do conhecimento e a oportunidade de aprender. Agradeço à minha família, especialmente a minha mãe, Lourdinha Rocha, ao meu irmão, Lucas Ribeiro, e ao meu avô, Luís Gomes Ribeiro, pelo apoio e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço aos amigos que fiz durante o mestrado, que foram essenciais para a realização desse trabalho, através da troca de experiências, conselhos acadêmicos e pessoais, que me motivaram, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos Professores Mario Kato e Wanderli Leite pela orientação durante o desenvolvimento da pesquisa que gerou este trabalho de dissertação. Agradeço às Professoras Lourdinha Florencio e Sália Gavazza pelo apoio, incentivo e orientação durante minha jornada no mestrado. Agradeço às Professoras do Laboratório de Engenharia Ambiental, LEA-UFPE, Elizabeth (Beth) Pastich, Kênia Barros e Simone Machado, por me apresentarem o saneamento, pelo incentivo e apoio para seguir na área. Agradecimento especial à Prof. Beth Pastich por todos os conselhos e orientações, desde a minha graduação até este momento da minha vida acadêmica, e por ter apostado em mim desde o começo. Agradeço aos técnicos e colegas de IC e pós-graduação do LSA-UFPE, pelo apoio na parte experimental e analítica.

Agradeço à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pelo apoio financeiro (auxílio e bolsas) para realização desta pesquisa. Ao INCT-ETEs Sustentáveis (CNPq/FAPEMIG) pelo apoio financeiro e bolsa DTI. Ao Departamento de Energia Nuclear (UFPE) pela casa de vegetação utilizada para o experimento. Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) pelas análises de fertilidade de solo. Ao Laboratório de Engenharia Ambiental (UFPE) pelas análises para caracterização física do solo. À Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA) e BRK Ambiental, pelo suporte aos trabalhos experimentais e coleta de amostras nas estações de tratamento de esgotos Rendeiras (Caruaru) e Mangueira (Recife).

“Somos assim. Sonhamos o voo, mas tememos a altura. Para voar é preciso ter coragem para enfrentar o terror do vazio. Porque é só no vazio que o voo acontece. O vazio é o espaço da liberdade, a ausência de certezas. Mas é isso que tememos: o não ter certezas. Por isso, trocamos o voo por gaiolas. Às gaiolas são o lugar onde as certezas moram” Interpretação dos Irmãos Kamarazoov por Rubem Alves em *Religião e repressão*, 2005.

## RESUMO

A atividade agrícola, apesar de essencial, é responsável por grande impacto no meio ambiente. O uso excessivo de fertilizantes minerais interfere nos fluxos biogeoquímicos dos elementos. Além disso, a alta demanda de água para irrigação, pode constituir um fator limitante em regiões com escassez deste recurso. Sendo, assim, necessárias soluções que otimizem o uso de adubação mineral e o consumo de água na agricultura. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o rendimento de pimenta-de-cheiro, *Capsicum chinense* Jacq. e feijão caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., ambas importantes para a agricultura familiar na região semiárida do Brasil, submetidas a diferentes níveis de adubação mineral e lâminas de irrigação com esgoto sanitário tratado. Para a cultura de pimenta-de-cheiro foram analisadas características físicas (biomassa, altura e diâmetro caulinar) e bioquímicas (nitrogênio total, fósforo, potássio, enxofre, sódio e clorofila total em tecido foliar) das plantas, além do rendimento na produção dos frutos. Cinco combinações de águas de irrigação e adubação mineral foram investigadas, tratamentos. Plantas cultivadas sob os tratamentos que receberam irrigação com esgoto sanitário tratado e complementação com adubação mineral, apresentaram maiores concentrações de N e S. A irrigação com esgoto proporcionou os maiores rendimentos de frutos, 1,45 ton.ha<sup>-1</sup> e 1,38 ton.ha<sup>-1</sup>, nos tratamentos T4 e T3, os quais receberam irrigação com esgoto sanitário tratado e, 75 e 100% da adubação mineral recomendada, respectivamente. Em relação a cultura de feijão caupi, seis diferentes combinações de fontes de água e lâminas de irrigação foram analisadas, tratamentos. O feijão caupi foi avaliado quanto à biomassa, altura e diâmetro caulinar) além da produtividade dos grãos. As características físicas das plantas não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. Plantas irrigadas com esgoto sanitário tratado (T1), alcançaram maior valor (621,07 kg.ha<sup>-1</sup>). Em síntese, a irrigação com esgoto sanitário tratado foi satisfatória para o cultivo de pimenta-de-cheiro e feijão caupi uma vez que foi verificado rendimento de frutos e grãos igual ou superior ao alcançado pelas plantas irrigadas com água e adubadas com fertilização mineral. Verificou-se, portanto, que o esgoto sanitário pode substituir a água para irrigação agrícola das culturas estudadas, contribuindo com parcela significativa da demanda nutricional.

Palavras-chave: Pimenta. Feijão. Irrigação. Esgoto sanitário. Adubação. Rendimento.

## ABSTRACT

Agriculture, although essential, is responsible for a great impact on the environment. The excessive use of mineral fertilizers interferes with the biogeochemical flows of elements. In addition, the high demand for irrigation water may be a limiting factor in regions with scarcity of this resource. Therefore, solutions are needed to optimize the use of mineral fertilizers and water consumption in agriculture. The aim of this research was to evaluate crop yield of pepper plants, *Capsicum chinense* Jacq. and cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., both important for family farming in the semiarid region of Brazil, submitted to different levels of mineral fertilization and irrigation levels with treated sanitary sewage. For the cultivation of pepper plants, physical characteristics (biomass, height and stem diameter), biochemical characteristics (total nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur, sodium and total chlorophyll in leaf tissue) and productivity of fruits were analyzed. Five combinations of irrigation water and mineral fertilizer were investigated, treatments. Plants grown under treatments that received irrigation with treated sanitary sewage and supplemented with mineral fertilizer, showed higher concentrations of N and S. Irrigation with sewage provided the highest fruit yields, 1.45 ton.ha<sup>-1</sup> and 1.38 ton .ha<sup>-1</sup>, in treatments T4 and T3, which received irrigation with treated sanitary sewage and 75 and 100% of the recommended mineral fertilization, respectively. Regarding cowpea, six different combinations of water sources and irrigation depths were analyzed, treatments. Cowpea plants were evaluated for biomass, height and stem diameter) in addition to grain yield. The physical characteristics of the plants did not differ statistically between treatments. Plants, irrigated with treated sanitary sewage (T1), reached a higher value (621.07 kg.ha<sup>-1</sup>). In summary, irrigation with treated sanitary sewage was satisfactory for the cultivation of pepper plants and cowpea since fruit and grain yields were verified equal to or greater than that achieved by plants irrigated with water and fertilized with mineral fertilization. It was found, therefore, that sanitary sewage can replace water for agricultural irrigation of the studied crops, contributing with a significant portion of the nutritional demand.

Keywords: Pepper. Cowpea. Irrigation. Sanitary sewage. Fertilization. Crop yield.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Deslocamento dos minerais entre o sistema solo-planta.....	30
Figura 2 -	Semeadura (A) e floração (B) da pimenta.....	36
Figura 3 -	Semeadura (A) e desbaste (B) do feijão caupi.....	39
Figura 4 –	Caracterização bioquímica das plantas. Letras diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: T0 (A), T1 (E), T2 (A+NPK), T3 (E+NPK), T4 (E+0,75NPK).....	43
Figura 5 -	Correlação de Pearson entre o número de frutos por tratamento e os demais parâmetros analisados no estudo. Correlação positiva ou direta para valores de $r > 0$ ; Correlação negativa ou inversa para valores de $r < 0$ .....	47
Figura 6 -	Caracterização física das plantas. Letras diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: T0 (A), T1 (E), T2 (0,5A+0,5E), T3 (0,75A+0,25E), T4 (A+NPK), T5 (0,6E).....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Diretrizes para reúso de água na agricultura.....	20
Quadro 2 –	Condicionantes microbiológicos para reúso agrícola.....	21
Quadro 3 –	Métodos de irrigação e características.....	21
Quadro 4 –	Panorama de aplicações de efluentes na área de reúso agrícola.....	23
Quadro 5 –	Teses e dissertações produzidas pelo Grupo de Saneamento Ambiental na área de reúso agrícola de subprodutos do saneamento.....	26
Quadro 6 –	Panorama de estudos com reúso na cultura de pimenta.....	28
Quadro 7 –	Panorama de estudos com reúso na cultura de feijão-caupi...	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Distribuição entre as modalidades de reúso de água na Califórnia e na Flórida nos anos de 2009 e 2010, respectivamente.....	18
Tabela 2 –	Caracterização física do solo usado para cultivo.....	33
Tabela 3 –	Caracterização química do solo usado para cultivo.....	34
Tabela 4 –	Caracterização físico-química das águas de irrigação.....	35
Tabela 5 –	Tratamentos adotados para o Experimento I.....	35
Tabela 6 –	Recomendações de adubação seguidas no Experimento I...	36
Tabela 7 –	Métodos utilizados para análises bioquímicas nas plantas.....	37
Tabela 8 –	Tratamentos adotados para o Experimento II.....	38
Tabela 9 –	Recomendações de adubação seguidas no Experimento II..	38
Tabela 10 –	Aporte de nutrientes aplicados ao solo via irrigação.....	40
Tabela 11 –	Resultados para parâmetros físicos do Experimento I. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferiram significativamente a 95% de nível de confiança.....	41
Tabela 12 –	Resultados de produtividade para rendimento de grãos no Experimento II.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a. C.	antes de Cristo
Ca	Cálcio
Ca <sup>2+</sup>	Íon cálcio
CE	Condutividade elétrica
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agricultural Organization
Fe	Ferro
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ácido fosfórico
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
K	Potássio
K <sup>+</sup>	Íon potássio
m%	Saturação por alumínio
Mg	Magnésio
Mg <sup>2+</sup>	Íon magnésio
N	Nitrogênio
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Nitrogênio na forma amoniacal
N-NTK	Nitrogênio total Kjeldahl
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Íon nitrato
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Íon Fosfato
S	Enxofre
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Íon sulfato
SST	Sólidos suspensos totais
STHs	Helminhos transmitidos do solo
USEPA	United States Environmental Protection Agency
V%	Saturação por bases
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	16
1.1.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>16</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. ....</b>	<b>17</b>
2.1	REÚSO DE ÁGUAS E SUBPRODUTOS DO SANEAMENTO..	17
2.2	REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTES.....	18
2.3	REÚSO E CULTURA DE PIMENTA ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.).....	26
2.4	REÚSO E CULTURA DE FEIJÃO CAUPI ( <i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp.).....	28
2.5	NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO VEGETAL.....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO USADO NO EXPERIMENTO.	33
3.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO.....	34
3.3	DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO I ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.).....	35
<b>3.3.1</b>	<b>Caracterização física e bioquímica das plantas e dos frutos.....</b>	<b>37</b>
3.4	DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO II ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.....	38
<b>3.4.1</b>	<b>Caracterização física das plantas e dos grãos.....</b>	<b>39</b>
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>41</b>
4.1	EXPERIMENTO I ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.).....	41
<b>4.1.1</b>	<b>Efeito da irrigação e adubação nas características físicas das plantas.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Efeito da irrigação e adubação nas características bioquímicas das plantas.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Influência da irrigação no rendimento dos frutos.....</b>	<b>45</b>

4.2	EXPERIMENTO II ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.....	48
4.2.1	<b>Influência da lâmina de irrigação nas características físicas das plantas.....</b>	<b>48</b>
4.2.2	<b>Influência da lâmina de irrigação no rendimento dos grãos.....</b>	<b>50</b>
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
6	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo se encontra na era do Antropoceno, na qual as atividades humanas causam impacto significativo no funcionamento dos sistemas terrestres. Devido a isto, Rockstrom et al. (2009) propuseram o conceito de limites planetários, que representam níveis seguros para os quais processos e sistemas terrestres podem ser explorados sem causar dano irreversível ao meio ambiente e prejuízo as atividades humanas. Ao mesmo tempo que a produção agrícola é essencial para a sobrevivência humana, sua atividade resulta em pressões nos sistemas terrestres, afetando e excedendo limites planetários, entre eles os fluxos biogeoquímicos de fósforo e nitrogênio. A diminuição do uso de fertilizantes minerais a base de fósforo e nitrogênio ou seu aproveitamento a partir da reciclagem desses elementos presentes em esgotos, efluentes e demais compostos orgânicos, é uma alternativa para construir uma atividade agrícola que cause menos pressão e interferência aos ciclos naturais do meio ambiente (CAMPBELL, 2017).

A prática de reúso de água é antiga, no entanto, esta técnica ainda constitui uma excelente alternativa para suprir demandas hídricas, especialmente em regiões que apresentam escassez deste recurso. O reúso de efluentes e lodos tem por finalidade principal a valorização de subprodutos do tratamento de esgoto de modo a minimizar seu impacto negativo no meio ambiente e, assim, a geração de lucros, não só ambientais, mas também econômicos. Segundo Florêncio et al. (2006), apesar das oportunidades de natureza econômica, ambiental e social, em situações de escassez acentuado de recursos hídricos, a utilização de esgotos sanitários pode constituir uma necessidade.

A região Nordeste do Brasil apresenta condições climáticas que favorecem a escassez de água, como balanço hídrico negativo, situação que compromete o desenvolvimento econômico e social da região, limitando a atividade agrícola. Segundo Guanziroli (2014), o Nordeste é a região brasileira que possui um setor de agricultura familiar mais significativo dentro do contexto da sua agricultura em comparação com o resto do país. O autor ainda afirma que os agricultores familiares conseguem produzir 50,2% da produção total agrícola da região numa área menor, e com financiamento menor, que a dos não familiares. Apesar do razoável rendimento alcançado pela agricultura familiar, esta prática ainda apresenta condições adversas para sua expansão, especialmente no que se refere ao de suprimento de água para irrigação.

Para Mendes et al. (2007), o cultivo do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp., apresenta importância socioeconômica para a região semiárida brasileira, no entanto seu cultivo ainda é feito de modo rudimentar com produtividade muito baixa, especialmente devido à deficiência hídrica apresentada na região Nordeste. Segundo Rufino & Penteado (2006), o cultivo de pimenta no Brasil apresenta importância tanto em termos econômicos quanto sociais, pois se adequa diretamente aos modelos de agricultura familiar e a integração entre o agricultor e a indústria. Dessa forma, é interessante a busca por alternativas capazes de amenizar as demandas por água para irrigação agrícola preservando os recursos hídricos para outros fins e aumentando a produtividade dos agricultores, familiares ou não, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico da região.

Além de suprir as necessidades agrícolas para irrigação, o efluente ainda contém elementos que adicionados ao solo são utilizados com nutrientes pelas culturas para suprimento de suas demandas metabólicas, reverberando na sua produtividade. Assim, o uso de efluentes também constitui uma alternativa ao uso de adubação mineral convencional ao solo, acarretando ganhos econômicos para os agricultores (FLORÊNCIO et al., 2006)

Portanto, este trabalho visa o estudo do uso de efluente sanitário tratado para irrigação de dois cultivos agrícolas, *Capsicum chinense* Jacq. e *Vigna unguiculata* (L) Walp., associados com diferentes doses de adubação mineral e lâminas de irrigação, com o intuito de avaliar os rendimentos alcançados pelas culturas e possíveis influências sobre as características físicas e bioquímicas das plantas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o rendimento de culturas irrigadas com esgoto sanitário tratado, através de experimentos com variação de adubação mineral em cultura de *Capsicum chinense* Jacq. e variação de lâminas de irrigação em cultura de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da irrigação com esgoto sanitário tratado e adubação mineral nas plantas de *Capsicum chinense* Jacq. através da análise de características físicas e bioquímicas.
- Avaliar o rendimento dos frutos de *Capsicum chinense* Jacq. das plantas irrigados com esgoto sanitário tratado e adubação mineral.
- Avaliar a influência da lâmina de lâmina de irrigação com esgoto sanitário tratado no cultivo de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. através da avaliação de características físicas das plantas.
- Avaliar o rendimento do número de grãos produzidos pelo cultivo de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. irrigados com esgoto sanitário tratado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 REÚSO DE ÁGUA E SUBPRODUTOS DO SANEAMENTO

De forma geral, o reúso consiste no aproveitamento de água ou efluentes, tratados ou não, que deixam de ser descartados no meio ambiente e passam a ser utilizados para outros fins de acordo com suas características físico-químicas e biológicas (FLORÊNCIO et al., 2006). O reúso se insere no conceito de eco saneamento, ou saneamento ecológico, cujo principal objetivo é o fechamento do ciclo dos esgotos com a agricultura através do aproveitamento de subprodutos como lodos, efluentes e, até mesmo, excrementos. Dessa forma, ocorre a valorização dos subprodutos do saneamento, que a princípio seriam descartados no ambiente, e consequente adição de nutrientes ao solo.

O reúso pode ser dividido, ou categorizado, em modalidades segundo o tipo e a intenção de uso. De forma geral e simplificada, o reúso pode ser classificado como planejado e não-planejado, sendo o reúso planejado chamado também de reúso intencional. Segundo Florêncio et al. (2006), ultimamente na literatura internacional, o termo reúso potável e não potável tem sido mais utilizado, o que também já apresenta indicativo do seu grau de restrição. O uso restrito ou irrestrito, leva em consideração aspectos como acesso ao público, áreas e técnicas de aplicação dos esgotos ou plantas irrigadas, exigências de tratamento e padrão de qualidade dos efluentes. Os termos formal e informal também são utilizados, sendo a classificação formal empregada para práticas com algum nível de controle por parte das autoridades (MANCUSO & SANTOS, 2003).

De acordo com Hespanhol (2003), no Brasil ainda há poucos instrumentos para ordenação das diretrizes da atividade de reúso de água a nível político, institucional ou legal, de cunho regulatório. Ainda de acordo com o mesmo autor, não é dever da Agência Nacional de Águas regulamentar ou promover ações e atividades de reúso de água no país, tendo sua função mais voltada para a coordenação do setor, podendo permitir a elaboração e projetos de reúso com foco na sustentabilidade. Como exemplos de diretrizes brasileiras pode-se citar o projeto de Lei nº 5296/2005 que institui diretrizes para serviços públicos de saneamento básico e a política nacional de saneamento básico, o qual se refere diretamente ao reúso de água. Além disso, existe a Resolução 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece as modalidades, diretrizes e critérios gerais da prática de reúso direto não potável, colocando esta prática como parte integrante das políticas de gestão de recursos hídricos do país (FLORÊNCIO et al., 2006).

Angelakis & Gikas (2014) apontam que, de forma geral, na Europa, baseados em parâmetros, os critérios para reúso de água podem ser divididos em três principais categorias: a) o critério francês, que é baseado nos parâmetros estipulados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2014) e guias australianos; b) os critérios adotados no Chipre, Grécia e Itália, que são baseados na regulação da Califórnia; c) o critério adotado em Portugal e Espanha, o qual segue uma linha intermediária em relação aos anteriores. Ainda segundo o mesmo autor, existe diferença entre o status de uso de água para reúso entre Norte e Sul da Europa. Sendo no Sul o objetivo do reúso mais voltado para irrigação agrícola e usos urbano e ambiental, e no Norte mais voltado para usos urbano e industrial.

A Tabela 1 apresenta um panorama do reúso de água nos estados norte-americanos da Califórnia e da Flórida de acordo com a modalidade de uso segundo a USEPA (2012).

Tabela 1 - Distribuição entre as modalidades de reúso de água na Califórnia e na Flórida nos anos de 2009 e 2010, respectivamente

<b>Modalidade de reúso</b>	<b>Califórnia (% de uso em 2009)</b>	<b>Flórida (% de uso em 2010)</b>
Irrigação agrícola	29	11
Usos urbanos (paisagismo)	19	55
Recarga subterrânea	5	14
Reúso Industrial	7	13
Reúso para fins recreativos	7	-
Reúso para fins energéticos	2	-
Outros usos	31	7

Fonte: Adaptado de USEPA (2012).

## 2.2 REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTES

Segundo Angelakis e Gikas (2014), as primeiras evidências do reúso de efluentes para irrigação aconteceram entre 3200-1100 a.C. na região de Creta, Grécia, e entre 2600-1900 a.C. na região de Mohenjo-Daro, atual Paquistão, durante a civilização do Vale do Indo, na Idade do Bronze. De acordo com Trentin (2005), as primeiras cidades europeias a utilizarem as práticas de reúso foram Bunzlau na Alemanha e Edimburgo na Escócia em 1531 e 1650, respectivamente. O mesmo autor ainda fala que, os primeiros projetos de reúso não intencional em larga escala foram desenvolvidos durante o período entre 1500 e 1800 quando foram criadas as chamadas “fazendas de esgoto”. Essas fazendas, criadas

ao redor de grandes cidades da Europa Central, tinham por objetivo proteger a saúde pública e controlar a poluição.

Apesar de antiga, a prática do reúso para fins agrícolas é bastante difundida atualmente. No México, o Vale do Mezquital, é uma grande área agrícola conectada com a Cidade do México por canais, responsáveis por receber a maior parte da geração de esgotos produzidos, prática que já dura cerca de 100 anos (CONTRERAS et al., 2017). Segundo Declercq et al. (2020), o maior projeto de reúso agrícola da França fica em Clermont-Ferrand e conta com uma estação de tratamento de esgoto seguida de reúso. Funciona desde 1996 e possui 1400 ha equipados com sistema de irrigação, dos quais metade é irrigado todos os anos.

A escassez de água para o cultivo agrícola e os benefícios trazidos pelo uso do esgoto na irrigação das culturas foi o fator chave para a expansão da prática do reúso. Em 1918, o governo do estado americano da Califórnia foi o primeiro a nível mundial a implementar regulamentação dessa prática, levando em consideração aspectos ambientais, econômicos e riscos à saúde, com o intuito de implementar projetos de reúso intencional (ANGELAKIS & GIKAS, 2014). O reúso é considerado uma forma inovadora para lidar com problemas relacionados a baixa disponibilidade hídrica causada ou acentuada por questões ligadas, por exemplo, ao crescimento populacional, urbanização e/ou variabilidade climática.

A elevada quantidade de esgotos produzidos pelos sistemas de tratamento oferece um grande potencial para o reúso agrícola, promovendo uma menor utilização de água própria para outros consumos e servindo como uma forma de pós-tratamento dos efluentes pelo sistema solo-planta (FLORÊNCIO et al., 2006). O uso de esgoto doméstico tratado com o intuito de fornecer nutrientes ao solo e favorecer práticas agrícolas é bastante utilizado no Brasil, sobretudo de forma não planejada. Bastos et al. (2008) afirmam que existe a necessidade de que a quantidade de nutrientes proveniente do efluente seja equilibrada, pois quantidades excessivas podem trazer prejuízos para as culturas e para o meio. De acordo com Obayomi et al. (2019), o contato direto do esgoto tratado com a cultura pode causar contaminação, sendo assim, necessárias, barreiras físicas que evitem o contato direta das plantas com a fonte de irrigação. Angelakis & Gikas (2014) dizem que águas de reúso com altas concentrações de sais podem reduzir a produtividade agrícola e deteriorar a qualidade do solo para cultivo.

O Quadro 1 apresenta diretrizes pra reúso agrícola segundo o tipo de cultura de acordo com critérios da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 1985) presentes no *Guidelines for Water Reuse*, USEPA (2012).

Quadro 1 - Diretrizes para reúso de água na agricultura

Tipo de cultura	Tratamento indicado	Parâmetros
Culturas alimentícias consumidas crua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secundário</li> <li>• Filtração</li> <li>• Desinfecção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH = 6,0-9,0</li> <li>• DBO <math>\leq 10 \text{ mg.L}^{-1}</math></li> <li>• Turbidez <math>\leq 2 \text{ UNT}</math></li> <li>• Coliformes fecais não detectáveis</li> </ul>
Culturas alimentícias consumidas processadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secundário</li> <li>• Desinfecção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH = 6,0-9,0</li> <li>• DBO <math>\leq 30 \text{ mg.L}^{-1}</math></li> <li>• SST <math>\leq 30 \text{ mg/L}</math></li> <li>• Coliformes fecais <math>\leq 200/100 \text{ mL}</math></li> </ul>
Culturas não-alimentícias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secundário</li> <li>• Desinfecção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH = 6,0-9,0</li> <li>• DBO <math>\leq 30 \text{ mg.L}^{-1}</math></li> <li>• SST <math>\leq 30 \text{ mg.L}^{-1}</math></li> <li>• Coliformes fecais <math>\leq 200/100 \text{ mL}</math></li> </ul>

Fonte: Adaptado de USEPA (2012).

Apesar do amplo uso, a nível mundial, do efluente tratado para irrigação de acordo com Florêncio et al. (2006), há a necessidade, em termos gerais, de uma elevada remoção de patógenos em qualquer modalidade de reúso da água. Segundo os mesmos autores, a questão microbiológica para o reúso na agricultura devem seguir as recomendações descritas no Quadro 2. De acordo com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989), as lagoas de estabilização são os sistemas de tratamento biológico mais apropriados de tratamento de efluentes para reúso agrícola, pois possuem alta eficiência na remoção de matéria orgânica e patógenos. Segundo Florêncio et al. (2006), com o uso de lagoas de maturação e polimento, é possível a redução da densidade de coliforme termotolerantes abaixo de  $10^3 \text{ org./100 mL}$ , induzindo a constatação da eficaz consorciação lagoas-reúso.

Quadro 2 - Condicionantes microbiológicos para reúso agrícola

<b>Categoria</b>	<b>Coliformes Termotolerantes (org.100 mL<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ovos de Helmintos (número de ovos.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Observações</b>
Irrigação irrestrita	$\leq 1 \times 10^3$	$\leq 1$	$\leq 1 \times 10^4$ para coliformes termotolerantes no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas.
Irrigação restrita	$\leq 1 \times 10^4$	$\leq 1$	$\leq 1 \times 10^5$ coliformes termotolerantes no caso de existência de barreiras adicionais de proteção ao trabalhador.

Fonte: Adaptado de BASTOS *et al.* (2008).

De acordo com a FAO (2003), a irrigação atua como componente vital no crescimento e produção de culturas alimentícias, sendo essencial para a viabilidade econômica agrícola em regiões áridas e semiáridas. A seleção do sistema de irrigação apropriado depende além da qualidade do efluente (características físico-químicas e biológicas), do tipo de cultura, e das habilidades dos agricultores para aplicar os diferentes métodos sem causar potencial risco à saúde, ao público consumidor ou ao ambiente. Florêncio *et al.* (2006) ainda afirmam que os efeitos da qualidade da água de irrigação sobre o solo e as plantas são influenciados pelas condições climáticas locais. O Quadro 3 apresenta os principais métodos de irrigação e suas características.

Quadro 3 - Métodos de irrigação e características

<b>Tipo de Irrigação</b>	<b>Característica</b>
Irrigação de superfície (irrigação manual, mangueira, sulcos ou inundação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo custo e simples implementação.</li> <li>Usado por aproximadamente 95% da área irrigada mundial.</li> <li>Apropriado para situação onde água não é fator limitante.</li> </ul>
Irrigação pressurizada por aspersão	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporciona o contato direto da água de irrigação com a cultura e o agricultor.</li> <li>Pode induzir a depósito e acúmulo de agentes patogênicos nas folhas a depender do nível de tratamento do efluente.</li> </ul>
Irrigação pressurizada por gotejamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altamente eficiente, sendo o melhor para regiões com problemas de escassez hídrica.</li> <li>Método promissor, pois, minimiza o contato do agricultor e das culturas com o esgoto.</li> </ul>
Irrigação pressurizada de subsuperfície	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método eficiente para irrigação com efluente de baixa qualidade e alto risco sanitário.</li> <li>Proporciona baixo contato com o agricultor e a cultura.</li> </ul>

Fonte: Adaptado da FAO (2003).

Amplios estudos de nível mundial na área de reúso agrícola têm sido realizados. O Quadro 4 apresenta um panorama de aplicações de esgotos sanitários em diferentes culturas, que foram utilizados como bibliografia de referência e/ou consulta para a elaboração deste trabalho.

Quadro 4 - Panorama de aplicações de efluentes na área de reúso agrícola

Cultura	Objetivos	Principais resultados	Referência
Alface	Analisar os efeitos da irrigação com esgoto tratado nas propriedades do solo e cultura de alface	<ul style="list-style-type: none"> <li>A água residuária foi eficiente para cultivo de alface, diminuindo a demanda por água de irrigação e aumentando a produtividade.</li> </ul>	Urbano et al. (2017)
Alface	Avaliar, os efeitos que diferentes tipos e métodos de irrigação têm sob qualidades físicas, químicas e microbiológicas de alface.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentrações de carbono na alface apresentaram diferenças significativas entre águas e métodos de irrigação.</li> <li>Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações em tecido foliar para N, P, Fe e Cu, entre os diferentes métodos de irrigação.</li> </ul>	Intriago et al. (2018)
Alface	Determinação e avaliação da concentração de helmintos transmitidos do solo (STHs) em lodo seco usado para cultivo de alface.	<ul style="list-style-type: none"> <li>A concentração de ovos de helmintos no lodo foi alta.</li> <li>O consumo de alface cultivado com lodo apresentou alto risco de infecção, no entanto reduzido após 40 dias.</li> <li>Os lodos necessitam tratamento posterior, como compostagem, para garantir proteção à saúde pública.</li> </ul>	Amoah et al. (2018)
Alface e pepino	Avaliar a fitotoxicidade de efluentes brutos e tratados oriundos de matadouros suínos em sementes de alface e pepino.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ambos efluentes apresentaram fitotoxicidade nas sementes de pepino e alface, não podendo, portanto, ser utilizados para reúso na agricultura.</li> </ul>	Gerber et al. (2017)
Alface, tomate e rabanete	Investigar os efeitos a curto prazo no solo usado para culturas alimentícias de efluentes tratados sobrecarregados com metais pesados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Foi observado impacto negativo no solo, sendo o reúso agrícola não recomendado, podendo causar prejuízo à saúde humana, após o consumo das culturas</li> </ul>	Belhaj et al. (2016)

Batata e cenoura	Investigar a absorção de fármacos nos vegetais (cenoura e batata) através da irrigação com efluente tratado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Foi observada a absorção de fármacos pelas raízes das plantas irrigadas com efluente tratado.</li> <li>No entanto, o consumo diário de plantações irrigadas com efluentes tratados não constituem ameaça à saúde</li> </ul>	Malchi et al. (2014)
Brócolis	Avaliar as limitações para o uso de lodo compostado para o cultivo de brócolis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>O lodo compostado apresentou propriedades adequadas para o cultivo com conteúdo notável de nutrientes apesar da incorporação de elementos tóxicos.</li> <li>A maior produtividade foi observada para o tratamento com 30% de lodo.</li> </ul>	Perez-Murcia. et al. (2006)
Pimentão	Avaliar os efeitos de substâncias húmicas extraídas de lodo de esgoto compostado, no crescimento de <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Piquillo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Houve aumento significativo no crescimento e nos estágios de florescimento para o tratamento com substâncias húmicas derivadas de compostagem de lodo de esgoto.</li> <li>Houve atenuação do aumento após o início da maturidade e aumento da atividade fotossintética durante os primeiros estágios de desenvolvimento.</li> </ul>	Azcona et al. (2011)
Pimentão e rabanete	Avaliar a possibilidade de substituição de fertilizante mineral pela adição de composto de resíduo sólido municipal e co-composto formado por resíduo sólido municipal e lodo fecal desidratado	<ul style="list-style-type: none"> <li>A hipótese que o co-composto pode substituir o fertilizante mineral foi confirmada.</li> <li>O rabanete foi o mais beneficiado pelo alto conteúdo inicial de matéria orgânica e nutrientes durante o período de seca.</li> </ul>	Grau et al. (2017)
Pimentão	Avaliar o sucesso de cultivo de sementes obtidas de <i>Capsicum annuum</i> em cultivadas com efluente de wetlands.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os valores para nitrogênio amoniacal, fósforo, potássio e coliformes totais excederam os limites para irrigação.</li> <li>O excesso de nutrientes nas plantas produtoras das sementes resultou em frutos de maior peso e dimensão.</li> </ul>	Almuktar & Scholz, (2017)
Pimentão	Avaliar a contaminação mineral e biológica do solo e da pimenta irrigada com esgoto tratado proveniente de wetlands.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não foi observada contaminação mineral substancial no solo irrigado com efluente.</li> <li>Contaminação moderada de zinco nas frutas segundo comparação com o padrão.</li> <li>Não foi detectada contaminação bacteriológica para nenhum fruto colhida de planta com altura &gt;50 cm</li> </ul>	Almuktar & Scholz (2016)

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resultados indicam que a concentração suprida de nutrientes pela combinação de composto e efluente foi geralmente muito alta para produzir boa colheita.</li> </ul>	
Tomate	Avaliar os impactos do reúso para irrigação de tomate nas propriedades geoquímicas do solo, segurança do fruto e produtividade da cultura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nenhum impacto negativo em relação a acumulação de metais pesados foi observado no tomate.</li> <li>• Houve baixa transferência de metais do solo para os frutos e folhas.</li> <li>• A irrigação com efluente não afetou o peso e o número de frutos.</li> </ul>	Christou et al. (2014)

Fonte: O Autor (2020).

Ao longo do tempo, várias pesquisas, também na área de reúso de efluentes e demais subprodutos do tratamento de esgoto sanitário, têm sido desenvolvidas pelo Grupo de Saneamento Ambiental no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-UFPE). O Quadro 5, apresenta exemplos de pesquisas que geraram teses e dissertações.

Quadro 5 - Teses e dissertações produzidas pelo Grupo de Saneamento Ambiental na área de reúso agrícola de subprodutos do saneamento

Referência	Título
Silva (2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo na produção de feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp).</li> </ul>
Monteiro (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudo da aplicação de lodo e efluente de reator UASB no cultivo de feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp)</li> </ul>
Silva (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre o sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides</li> </ul>
Silva (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caracterização do Esgoto Tratado na ETE Mangueira e a Viabilidade de seu Uso em mudas de Eucalipto.</li> </ul>
Salgado (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliação de diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado no cultivo de melancia (<i>Citrullus lanatus</i> Schrad) no Sertão Pernambucano</li> </ul>
Souza Filho (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reuso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido Pernambucano</li> </ul>
Moraes (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lodo biológico anaeróbico caleado como condicionador de neossolo regolítico para cultivo de feijão caupi</li> </ul>
Bomfim (2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliação quantitativa e qualitativa de óleo essencial extraído do <i>Coriandrum sativum</i> cultivado com subproduto de estação de tratamento de esgoto sanitário</li> </ul>

Fonte: O Autor (2020).

### 2.3 REÚSO E CULTURA DE PIMENTA (*Capsicum chinense* Jacq.)

Segundo Reifschneider (2000), o gênero *Capsicum* é originário da América, e sua associação ao homem data entre 10 ou 12 mil anos atrás (NUEZ et al., 1996). As

pimentas e pimentões foram possivelmente os primeiros aditivos alimentares usados pelas civilizações antigas da América do Sul e México, e eram usadas para tornar a ingestão de carnes e cereais mais atraentes. Além disso, ajudavam a preservar alimentos contra a contaminação por fungos e bactérias. Tornando-se, dessa forma, característica da culinária da América Tropical (REIFSCHNEIDER, 2000).

De acordo com Martin et al. (1979), a América Tropical foi o centro de origem da espécie *Capsicum chinense*, sendo a espécie mais comum encontrada na Amazônia. Segundo Domenico (2011), a grande variação de forma, tamanho e cor dos frutos e demais componentes morfológicos do gênero favorece a organização e agrupamento em espécie, variedade e cultivar. Além da divisão por espécies, as pimentas também podem ser agrupadas em complexos de espécies, os quais englobam aquelas passíveis de cruzamento entre si.

Segundo Menichini (2009), o conteúdo fitoquímico da planta é influenciado por fatores climáticos, tempo de amadurecimento dos frutos, genótipo e técnicas de cultivo. Conforme exposto por Bosland & Votava (1999), os frutos da pimenta apresentam alto valor nutricional, contendo quantidade significativa de água, além de óleos fixos e voláteis, proteínas, fibras, carotenoides e elementos minerais. Além disso, as pimentas também são fonte de vitaminas do complexo A e B (REIFSCHNEIDER, 2000). São definidos os seguintes complexos de espécies (DOMENICO, 2011):

1. *C. annuum* (*C. annuum*, *C. frutescens* e *C. chinense*)
2. *C. baccatum* (*C. baccatum* var. *pendulum*)
3. *C. pubescens* (*C. pubescens*)

A espécie *Capsicum chinense* tem seu cultivo e consumo predominante na região Norte do Brasil, sendo denominada *Capsicum chinense* Jacq. devido ao botânico holandês Nikolaus Joseph von Jacquin responsável pelo seu registro em 1776. As plantas se caracterizam como arbustivas, com altura entre 0,45 e 0,76 m, hábito de crescimento ereto, prostrado ou compacto, folhas ovadas de 10,5 cm, largas, macias ou rugosas de tonalidade verde claro a escuro, 3 a 5 flores por nó, pedicelo pendente, raramente ereto e relativamente curto e grosso na antese, cálice sem dentes com forte constrição na base, corola verde-amarelada ou esbranquiçada, anteras azuis, púrpuras ou amareladas (SMITH & HEISER, 1957; DOMENICO, 2011).

De acordo com a EMBRAPA (2008), os principais produtores de pimenta no país são os estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Ceará e Rio Grande do Sul, com a atividade gerando uma renda bruta em torno de R\$ 4 a 12 mil/ha/ano. No entanto, especialmente no Nordeste brasileiro, a agricultura familiar apresenta importante parcela, sendo a pimenta, umas das culturas utilizadas, não só para comercialização da própria fruta, mas também sob a forma de molho, geleias e derivados (REIFSCHNEIDER, 2000; RIBEIRO, 2012).

Tendo em vista a importância da cultura de pimenta sob o aspecto nutricional, econômico e social, estudos a nível mundial e nacional com a espécie vêm sendo desenvolvidos. Com o objetivo de avaliar o rendimento e analisar a influência nas características das plantas e dos frutos, experimentos usando subprodutos da indústria do tratamento de esgotos sanitários, como o efluente tratado e o lodo, estão sendo incorporados aos experimentos. O Quadro 6 apresenta um panorama de estudos utilizando pimenta cultivada com o uso de subprodutos da indústria do saneamento, e outros compostos.

Quadro 6 - Panorama de estudos com reúso na cultura de pimenta

<b>Cultivo</b>	<b>Subproduto ou elemento usado no estudo</b>	<b>Local de cultivo</b>	<b>Referência</b>
<i>Capsicum chinense</i>	Doses crescentes de N e K	Vasos em casa de vegetação	Medina-Lara et al. (2008)
<i>Capsicum chinense</i>	Composto de lodo de esgoto sanitário de tanque séptico.	Sacos em casa de vegetação.	Rodríguez-Canché et al. (2010)
<i>Capsicum frutescens</i>	Doses crescentes de fertilizante líquido.	Vasos em laboratório.	Pagliarini, et al. (2012)
<i>Capsicum chinense</i>	Efluente doméstico.	Área experimental em vasos.	Silva et al. (2014)
<i>Capsicum chinense</i>	Biofertilizante à base de esterco bovino.	Casa de vegetação em vasos.	Da Costa Weckner et al. (2018)

Fonte: O Autor (2020).

#### 2.4 REÚSO E CULTURA DE FEIJÃO CAUPI (*Vigna unguiculata* (L) Walp)

De acordo com a Embrapa (2006), o feijão caupi, que também é conhecido como feijão de corda, feijão vigna ou feijão macáçar, é uma cultura importante para o sertão, semiárido, porque se desenvolve bem em clima seco. Além disso, é um importante alimento para a saúde humana, fornecendo nutrientes e, especialmente,

proteínas ao organismo. É um dos alimentos básicos do povo brasileiro, apresentando elevado valor energético (MENEZES et al., 2001).

Segundo Mendes et al. (2007), o feijão de corda é uma planta rústica que se adapta a diferentes condições de clima e solo, sendo dessa forma possível o seu cultivo em regiões de clima úmido, sub úmido e semiárido. O autor ainda afirma que apesar de apresenta excelente capacidade de adaptação à seca, esta capacidade é variável de acordo com os cultivares e estágios de desenvolvimento. De acordo com Silva (2007), a faixa de temperatura ideal para bom desenvolvimento da cultura é entre 18 e 34 °C, sendo que temperaturas maiores prejudicam o desenvolvimento da planta.

Segundo Dourado Neto et al. (1997), para um bom desenvolvimento do ciclo fenológico, sendo necessárias lâminas pluviométricas anuais bem distribuídas entre 250 e 500 mm. Inicialmente o feijoeiro se desenvolve de forma lenta, tendo sua taxa de crescimento mais intensa após o vigésimo dia após o plantio. É considerada uma planta com boa capacidade moduladora, como excelente sistema de fixação, dispensando, assim, adubação nitrogenada (SILVA, 2007).

As regiões Norte e Nordeste do Brasil o cultivo de feijão caupi predomina em relação ao cultivo do feijão comum, devido a sua resistência ao calor e ao déficit hídrico. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB (2019), o valor da receita bruta da produção de feijão caupi cultivado pelos produtores rurais alcançou valor de 1,02 milhões de reais para a safra de 2018. Ainda segundo a CONAB (2019) a região Nordeste apresentou crescimento de 34% na produção de feijão caupi no ano de 2018 em relação ao ano de 2017, sendo o estado do Ceará o maior produtor da região.

Devido a condições socioeconômicas presentes na região semiárida brasileira, o cultivo do feijão de corda ainda é feito, na sua maioria, de forma rudimentar, apresentando produtividade média muito baixa. Entre os fatores que usualmente limitam a produtividade na região, está a deficiência hídrica (MENDES et al., 2007). Segundo Silva (2007), no estado de Pernambuco as regiões do Agreste e Zona da Mata, são os principais responsáveis pela maior parte do cultivo do feijão caupi.

O Quadro 7 apresenta um panorama de estudos no cultivo de feijão envolvendo situações onde a irrigação efluente sanitário poderia ser aplicada, como condições de estresse hídrico e/ou salino e aplicações de diferentes doses de nitrogênio e matéria orgânica.

Quadro 7 - Panorama de estudos com reúso na cultura de feijão-caupi

Cultivo	Fator estudado	Local de cultivo	Referência
Feijão-vagem ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Aplicação de diferentes fontes de doses de matéria orgânica	Cultivo realizado em campo	Santos et al. (2001).
Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.).	Doses e formas de aplicação de nitrogênio	Cultivo realizado em área experimental	Oliveira et al. (2003).
Feijão-de-corda ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.).	Estresse hídrico	Casa de vegetação	Mendes et al. (2007)
Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.)	Aplicação de diferentes doses de nitrogênio	Cultivo realizado em campo	Smiderle & Schwengber (2010).
Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)	Estresse hídrico e salinidade	Realizado em vasos à céu aberto	Pereira Filho et al. (2017)

Fonte: O Autor (2020).

## 2.5 NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO VEGETAL

De acordo com Faquin (2005), o sistema solo-planta é aberto, onde os minerais são constantemente removidos de um lado, o solo, são direcionados a uma fase sólida que funciona como reservatório, e acumulados no outro lado, na planta. Na fase sólida, encontram-se os minerais presentes no solo e na matéria orgânica, no entanto, para que ocorra a absorção radicular, é necessário que os minerais passem da fase sólida para a solução do solo. A Figura 1 apresenta o fluxograma representando o caminho percorrido pelos minerais do solo até a planta.

Figura 1 - Deslocamento dos minerais entre o sistema solo-planta



Fonte: O Autor (2020).

O deslocamento dos minerais entre as diferentes etapas ocorre por meio de reações de transferência. Entre a fase sólida e a solução do solo a transferência se dá por disponibilidade, dessorção ou mineralização da matéria orgânica. No entanto, o deslocamento não ocorre apenas de forma unidirecional, podendo também ocorrer da solução para a fase sólida por reações de adsorção, fixação ou imobilização (FAQUIN, 2005). O esquema apresentado anteriormente também exemplifica as demais reações de transferência possíveis.

O termo nutrição, de acordo com Malavolta (1997), implica em nutriente, o qual é definido como elemento essencial para o crescimento e produção da biomassa da planta, não podendo ser substituído por nenhum outro. As plantas necessitam de dezesseis nutrientes, ou elementos químicos, essenciais para sua alimentação, os quais são subdivididos em macro e micronutrientes. Os macronutrientes são assim definidos pois são absorvidos em grande quantidade pelas plantas: oxigênio, hidrogênio, carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Os micronutrientes são aqueles exigidos pelos vegetais em pequenas quantidades, tornando-se tóxicos em altas concentrações: ferro, cobre, manganês, zinco, boro, molibdênio e cloro. Para os microrganismos no solo exercerem simbiose com as plantas, há a necessidade de outros micronutrientes como o vanádio, cobalto e o sódio.

De acordo com Chapin (1980), nitrogênio é o elemento que mais limita o crescimento vegetal, e a sua baixa disponibilidade é associada à redução da divisão e expansão celular, da área foliar e da fotossíntese. Ou seja, elemento essencial, pois sua ausência impede uma planta de completar seu ciclo de vida (ARNON & STOUT, 1939). O nitrogênio é fundamental no metabolismo das plantas, participando da síntese de proteínas e outros compostos orgânicos e geralmente encontra-se combinado a outros elementos como carbono, hidrogênio ou oxigênio, constituindo, também, aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila e alcalóides. Segundo Taiz & Zeiger (2004), o nitrogênio possui alta mobilidade que é causada pela liberação de compostos nitrogenados no floema por parte de proteínas, conferindo a este elemento uma ótima redistribuição na planta.

A maioria das espécies vegetais é capaz de absorver e assimilar nitrato, amônio, ureia e aminoácidos como fonte de nitrogênio (CRAWFORD & GLASS, 1998). Entre as fontes minerais de nitrogênio, o nitrato é a mais importante para o crescimento das plantas (FORDE, 2000). Logo após a redução do nitrato ou seu

armazenamento nos vacúolos para posterior utilização, o nitrito é transferido para os cloroplastos, ou plastídeos nas raízes e reduzido a amônio pela redutase do nitrito (TISCHINER,2000). O amônio então é convertido a aminoácidos por enzimas localizadas no citosol e nos plastídeos das raízes ou dos cloroplastos. O amônio e o nitrato presentes no solo devido à fixação ou liberação durante a decomposição da matéria orgânica tornam-se elementos de competição entre as plantas e os microrganismos presentes no solo. Sendo necessário o desenvolvimento por parte das plantas de mecanismos de captura rápida desses íons na solução do solo.

Entre os macronutrientes, o fósforo (P), é um dos menos exigidos pelas plantas. Geralmente sua exigência é menor do que elementos como N, K, Ca e Mg, igualando-se ao S. O fósforo é absorvido pelas plantas sob a forma de fosfato,  $H_2PO_4^-$ , a qual é predominante na faixa de pH do solo entre 4 e 7. Segundo consta em Almuktar & Scholz (2016), altos níveis de fósforo interferem no metabolismo normal das plantas, além de promoverem a absorção de manganês. Nos solos brasileiros, é comum a carência de fósforo, no entanto, o elemento apresenta forte interação com o solo (fixação), o que reduz a eficiência da adubação fosfatada (FAQUIN, 2005)

O potássio (K), é o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, sendo o mais consumido como fertilizante pela agricultura brasileira depois do fósforo. O nutriente se encontra no solo na forma estrutural dos minerais e na forma de cátion solúvel disponível para as plantas. O potássio na solução do solo se apresenta na forma iônica,  $K^+$ , a qual é absorvida pelas raízes. Esta absorção pode ter inibição competitiva pelas concentrações de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  presentes no meio.

Os nutrientes presentes no solo são frutos de ganhos e perdas. Os ganhos são geralmente causados por adição de fertilizantes, adubos, orgânicos e/ou minerais. Além da contribuição dos minerais do solo que liberam elementos essenciais às plantas. As perdas são decorrentes de fatores entre os quais a remoção realizada pelas colheitas, as perdas por lavagem das águas de chuva ou irrigação, perdas por erosão e por volatilização, especialmente no caso do nitrogênio (MALAVOLTA, 1997). Dessa forma, a adubação tem por objetivo cobrir a diferença entre a quantidade do nutriente exigido pela planta e o fornecimento pelo solo, provocando o mínimo de perturbação no ambiente (FAQUIN, 2005).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO USADO NO EXPERIMENTO

A coleta do solo foi realizada em Caruaru-PE, município pertencente a Mesorregião do Agreste de Pernambuco e inserido na Microrregião do Vale do Ipojuca. A coleta foi feita em área pertencente à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Rendeiras (-8,283667; -35,936625). A estação possui capacidade para tratar 450 litros de esgoto por segundo, e utiliza reatores UASB em série, lagoa aerada, lagoa facultativa e lagoa de maturação. O emissário do sistema de tratamento é o rio Ipojuca.

Após a coleta foram realizados, no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-UFPE) e no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA-UFPE), ensaios de granulometria por peneiramento, densidade do solo e capacidade de campo (DONAGEMA, 2011; MORAES, 2018). Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 2. Com base nas frações granulométricas, o solo apresentou textura franca (BRADY & WEIL, 2002).

Tabela 2 - Caracterização física do solo usado para cultivo

Variável	Resultado
Densidade do solo	1,31 g.cm <sup>-3</sup>
Capacidade de campo	0,31 kg.kg <sup>-1</sup>
Fração de areia fina	16,30%
Fração de areia grossa	31,70%
Fração de areia total (fina + grossa)	48,0%
Fração de silte	32,0%
Fração de argila	20,0%

Fonte: O Autor (2020).

Segundo consta no mapa exploratório dos solos do município de Caruaru, Embrapa (2001), que relaciona as frações de areia, silte e argila, o solo coletado foi classificado, de forma pedogênica, como Planossolo Bt com incremento de argila do A (ou E) para B. O planossolo é caracterizado por cor acinzentada ou escurecida, refletindo em baixa permeabilidade, fertilidade baixa a alta, baixos teores de matéria orgânica e deficiência de fósforo (VALLADARES, 2002).

A análise de fertilidade do solo foi realizada no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Foi feita a determinação de pH; Al; P; K; Ca; H; Na; capacidade de troca de cátions (CTC); saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m),

(DONAGEMA, 2011). A Tabela 3 apresenta os dados obtidos para caracterização química, do solo usado para cultivo.

Tabela 3 - Caracterização química do solo usado para cultivo

$\text{mg.dm}^{-3}$		$\text{cmolc.dm}^{-3}$						CTC	V%	m%
P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H			
277	7,3	10,30	2,60	0,11	0,30	0,00	2,30	15,6	85	0,00

Fonte: O Autor (2020).

Os cálculos para a parcela de adubação foram feitos como descrito por Cavalcanti (1998), para os quais foram considerados os resultados obtidos sobre a análise de fertilidade do solo (P e K). O solo utilizado no experimento, apresentou altos valores de P, o que provavelmente indica que, também, possui condições adequadas de carbono e nitrogênio. Pelo valor da saturação por bases (V%), o solo pode ser categorizado como de boa fertilidade.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO

O efluente doméstico tratado utilizado para irrigação foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Mangueira, localizada em Recife-PE. A ETE Mangueira é uma estação de médio porte que utiliza sistema de tratamento com reatores do tipo UASB seguidos de lagoa de polimento. O efluente foi coletado da última etapa do tratamento, lagoa de polimento, no ponto de descarte para o emissário.

A água usada para irrigação durante o ciclo experimental, em ambas culturas, foi proveniente da torneira localizada dentro da casa de vegetação (Departamento de Energia Nuclear – UFPE), que utiliza, na maior parte do tempo, o abastecimento público de água com fonte de alimentação. Para o esgoto tratado, as coletas foram realizadas semanalmente assim como as análises físico-químicas para monitoramento e avaliação dos parâmetros (APHA, 2012). A Tabela 4 apresenta os dados obtidos para a caracterização físico-química das águas de irrigação e os métodos utilizados.

Tabela 4 - Caracterização físico-química das águas de irrigação

Variável	Unidade	Metodologia	Efluente tratado	Água
N-NTK	mg.L <sup>-1</sup>	Método de macro-digestão Kjeldahl	27,03	1,40
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	Método titulométrico	21,23	1,23
DQO	mg.L <sup>-1</sup>	Método colorimétrico	112,54	ND*
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	Molibdato-vanadato	3,27	0,34
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	Cromatografia de íons	39	19,79
pH		Método potenciométrico	7,36	6,80
CE	µS/cm	Método potenciométrico	871,93	316,14
Na	mg.L <sup>-1</sup>	Fotometria de chama	94,19	32,80
K	mg.L <sup>-1</sup>	Fotometria de chama	32,66	5,20
Ca	mg.L <sup>-1</sup>	Fotometria de chama	12,14	4,50

\*ND= valor obtido abaixo do limite de detecção do método

Fonte: O Autor (2020).

### 3.3 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO I (*Capsicum chinense* Jacq.)

O experimento I consistiu no cultivo de pimenta-de-cheiro, espécie *Capsicum chinense* Jacq., variedade Tupã Bode Vermelha, em casa de vegetação. Foram plantadas 5 sementes por vaso, sendo realizado o desbaste após a emergência, restando apenas 1 planta por vaso. Cada vaso recebeu uma camada de manta drenante no fundo, (com o objetivo de ajudar na drenagem), seguido de camada de pedra britada e 5 kg de solo. A quantidade de solo por vaso foi escolhida de modo a permitir o desenvolvimento suficiente das raízes da planta (EMBRAPA, 2007). Os vasos foram dispostos de forma inteiramente casualizadas, sendo 15 vasos ao todo. Cinco combinações de águas de irrigação e adubação mineral foram investigadas, denominadas tratamentos (Tabela 5). Cada tratamento foi constituído por 3 vasos, totalizando 15 vasos.

Tabela 5 - Tratamentos adotados para o Experimento I

Tratamento	Fonte de irrigação	Adubação mineral
T0 (A)	Água	-
T1 (E)	Esgoto sanitário tratado	-
T2 (A+NPK)	Água	100% da recomendação
T3 (E+NPK)	Esgoto sanitário tratado	100% da recomendação
T4 (E+0,75NPK)	Esgoto sanitário tratado	75% da recomendação

Fonte: O Autor (2020).

A adubação mineral foi realizada com fertilizante químico com nitrogênio, fósforo e potássio, NPK, para atender a demanda nutricional da cultura de acordo com as recomendações do IPA (CAVALCANTI, 2008). O cálculo da parcela de complementação de adubação mineral foi realizado a partir dos valores obtidos para as concentrações de P e K no solo. O valor obtido através deste cálculo corresponde

a 100% da recomendação de adubação necessária para atender as necessidades metabólicas da planta (485,13 mg de  $P_2O_5$  e 460,99 mg de  $K_2O$ , por vaso). Para o tratamento T4, com 75% da recomendação de adubação, foram adicionados 363,85 mg de  $P_2O_5$  e 345,74 mg de  $K_2O$ , por vaso. A Tabela 6 apresenta os parâmetros usados para o cálculo de adubação segundo os valores de P e K presentes no solo usado para o cultivo.

Tabela 6 - Recomendações de adubação seguidas no Experimento I

P (mg.dm <sup>-3</sup> )	Níveis no solo		Dosagem plantio			Dosagem cobertura		
	(cmol.dm <sup>-3</sup> )	(cmol.dm <sup>-3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N
<6		<0,08	160	40	-	-	120	-
6-12		0,08-0,15	120	40	30	-	80	120
13-25		0,16-0,30	80	40	-	-	40	-
>25		>0,30	40	-	-	-	40	-

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (1998).

A irrigação de cada vaso foi feita diariamente, com volume constante de 1 L de água de irrigação (Tabela 5), o que conferiu uma capacidade de campo  $\geq 50\%$ . O volume de água de irrigação foi escolhido de modo a atender as demandas hídricas da cultura (EMBRAPA, 2007). Foram usados 4 tensiômetros de punção (Hidrosense, modelo SKT690/20), distribuídos, de forma a cobrir toda área experimental, para verificação da umidade do solo. A quantidade de água ou esgoto tratado adicionada por meio da irrigação, permitiu a manutenção da tensão matricial limite do solo em  $\leq 70$  MPa, conferindo ao solo limitada condição de umidade e excelente aeração (MAROUELLI, 2008). A Figura 2 apresenta a semeadura e a floração, para o cultivo da pimenta-de-cheiro.

Figura 2 - Semeadura (A) e floração (B) da pimenta



Fonte: O Autor (2020).

### 3.3.1 Caracterização física e bioquímica das plantas e dos frutos

Após o final do ciclo (120 dias) as plantas foram colhidas sendo feita a separação da parte aérea (folhas e caule) e da raiz. Para a medição de altura das plantas foi utilizada trena métrica, para a medição do diâmetro do caule, paquímetro digital (100.176BL, Digimess). Foi feita a pesagem do material fresco e, em seguida, as amostras foram condicionadas em estufa para secagem por 48h a 60°C (BEZERRA NETO & BARRETO, 2011). Posteriormente foi realizada nova pesagem para quantificação da matéria seca e umidade das amostras. Em seguida as amostras foram moídas em moinho tipo Willey de rotor vertical, sendo o material resultante acondicionado para análises químicas.

As análises bioquímicas das plantas foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-UFPE), segundo metodologias específicas para análises de planta (BEZERRA NETO & BARRETO, 2011; SILVA, 2009). A Tabela 7 especifica as metodologias adotadas na análise bioquímica da biomassa seca.

Tabela 7 - Métodos utilizados para análises bioquímicas nas plantas

Análise	Metodologia
Nitrogênio total	Método de arraste de vapor Kjeldahl
Clorofila em tecido foliar	Método espectrofotométrico
Fósforo	Método colorimétrico do molibdo-vanadato
Enxofre	Método turbidimétrico do sulfato de bário
Sódio e potássio	Fotometria de chama

Fonte: O Autor (2020).

Em relação aos frutos, eles foram colhidos durante diferentes momentos ao longo do ciclo de cultivo a partir do amadurecimento. Os frutos colhidos foram pesados para avaliação do peso fresco em balança semi-analítica (MARK S 5201, Bel Equipamentos Analíticos Ltda). O valor de massa fresca por fruto foi o resultado do quociente entre a massa total de frutos por tratamento e o número total de frutos colhidos por tratamento. O rendimento foi calculado segundo a massa total de frutos por tratamento, em toneladas, e a área total dos vasos por tratamento (três vasos por tratamento), em hectare.

### 3.4 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO II (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

O experimento II consistiu no cultivo de feijão caupi, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp, cultivar IPA 206. As sementes foram doadas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Inicialmente foram semeadas, em casa de vegetação (Departamento de Energia Nuclear – UFPE), 5 sementes por vaso, após a emergência, foi realizado o desbaste, restando apenas 2 plantas por vaso. Cada vaso recebeu uma camada de manta drenante no fundo, seguido de camada de pedra britada e 6 kg de solo. A quantidade de solo por vaso foi escolhida de modo a permitir o desenvolvimento suficiente das raízes da planta (SILVA, 2007). Seis diferentes combinações de fontes de água e lâminas de irrigação foram investigadas, ou seja, seis tratamentos (Tabela 8). Os vasos foram dispostos de forma inteiramente casualizadas. O experimento foi constituído de 30 vasos ao todo, sendo 5 vasos por tratamento.

Tabela 8 - Tratamentos adotados para o Experimento II

Tratamento	Fonte de irrigação	Adubação mineral	Lâmina de irrigação (mm)
T0 (A)	Água	-	7,6
T1 (E)	Esgoto sanitário tratado	-	7,6
T2 (0,5A+0,5E)	Esgoto sanitário tratado diluído (50%)	-	7,6
T3 (0,75A+0,25E)	Esgoto sanitário tratado diluído (75%)	-	7,6
T4 (A+NPK)	Água	100% da recomendação	7,6
T5 (0,6E)	Esgoto sanitário tratado	-	4,6

Fonte: O Autor (2020).

Para o T4, a adubação mineral foi realizada com NPK para atender a demanda nutricional com 833,33;181,92 e 115,25 mg por vaso, respectivamente, de acordo com as recomendações do IPA (CAVALCANTI, 2008). O cálculo de adubação mineral foi realizado a partir dos valores obtidos para as concentrações de P e K no solo. O valor obtido através deste cálculo corresponde a 100% da recomendação de adubação necessária para atender as necessidades metabólicas da planta (Tabela 9).

Tabela 9 - Recomendações de adubação seguidas no Experimento II

Níveis no solo		Dosagem plantio			Dosagem cobertura		
(mg.dm <sup>-3</sup> )	(cmol.dm <sup>-3</sup> )	(kg.ha <sup>-1</sup> )			(kg.ha <sup>-1</sup> )		
P	K	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N
<11	<0,12	60	40	-	-	-	-
11-20	0,12-0,23	30	20	-	-	-	30
>20	>0,23	15	10	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (1998).

A irrigação dos vasos foi feita a cada dois dias por meio de rega manual. Os tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4 receberam lâmina constante de 7,6 mm (1,14 L) de água ou esgoto, ou combinação de ambos, segundo o tratamento, a cada irrigação. O tratamento T5 recebeu lâmina constante de 4,6 mm (0,70 L) com esgoto tratado a cada irrigação. Implicando em lâmina de irrigação de 37% enquanto este valor foi 60% para os demais tratamentos. Foram usados 4 tensiômetros de punção (Hidrosense, modelo SKT690/20), distribuídos, de forma a cobrir toda área experimental, para verificação da umidade do solo. A quantidade de água e/ou esgoto adicionada por meio da irrigação, permitiu a manutenção da tensão matricial limite do solo em  $\leq 20$  MPa para o T5, conferindo excelente condição de umidade e boa aeração, e 70 MPa para os demais tratamentos, acarretando limitada condição de umidade e excelente aeração (MAROUELLI, 2008). A lâminas de irrigação foram determinadas considerando a necessidade de água exigida pela cultura e condições de estresse hídrico (SILVA, 2007). A Figura 3 apresenta o experimento no momento de semeadura e após o desbaste.

Figura 3 - Semeadura (A) e desbaste (B) do feijão caupi



Fonte: O Autor (2020).

### 3.4.1 Caracterização física das plantas e dos grãos

Após 63 dias de cultivo foi realizada a colheita sendo feita a separação da parte aérea (folhas e caule) e da raiz. Foi feita a medição da altura das plantas com trena manual e o diâmetro do caule com paquímetro digital (100.176BL, Digimess). Em seguida foi realizada a pesagem do material fresco em balança semi-analítica (MARK S 5201, Bel Equipamentos Analíticos Ltda) e as amostras foram condicionadas em estufa para secagem por 48h a 60°C. Posteriormente foi realizada nova pesagem

para quantificação da matéria seca e umidade das amostras (BEZERRA NETO & BARRETO,2011). Foi realizada a medição e a contagem do número de grãos colhidos por tratamento afim de estimar o rendimento obtido.

Ao final do ciclo experimental foi possível estimar o aporte de nutrientes no solo segundo o tratamento adotado (Tabela 10). A carga aplicada por dia de irrigação foi calculada levando em consideração a fonte de irrigação adotada no tratamento (Tabela 8) e a respectiva concentração dos elementos N, P e K presentes (Tabela 4). A carga acumulada ao final da irrigação levou em consideração o tempo do ciclo de cultivo (63 dias).

Tabela 10 - Aporte de nutrientes aplicados ao solo via irrigação

Tratamento	Carga por dia de irrigação (mg.d <sup>-1</sup> )			Carga acumulada ao final do experimento (mg)		
	N	P	K	N	P	K
<b>T0 (A)</b>	1,60	0,39	5,93	47,88	11,63	177,84
<b>T1 (E)</b>	26,22	3,21	15,79	786,60	96,44	473,67
<b>T2 (0,5A+0,5E)</b>	13,91	1,80	10,86	417,24	54,04	325,75
<b>T3 (0,75A+0,25E)</b>	9,80	1,33	9,21	294,12	39,90	276,45
<b>T4 (A+NPK)</b>	1,60	0,39	5,93	881,21	193,55	293,09
<b>T5 (0,6E)</b>	15,87	1,94	9,56	476,10	58,37	286,69

Fonte: O Autor (2020).

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores médios obtidos para os tratamentos, nos experimentos I (características físicas e bioquímicas das plantas) e II (características físicas), foram comparados através da análise de variância pelo teste de Kruskal-Wallis seguido pelo teste de Student-Newman-Keuls, com nível de significância de 5%. Para a realização dos testes estatísticos foi utilizado o programa Bioestat versão 5.0, para ambos os experimentos.

Para o experimento I, com *Capsicum chinense* Jacq., foi realizada análise de correlação linear entre o número de frutos por tratamento e os demais parâmetros avaliados, no respectivo experimento, dentro das condições de contorno estabelecidas. Foi feita análise de correlação de Pearson, através do software estatístico r, versão 4.0.3, com nível de significância de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 EXPERIMENTO I (*Capsicum chinense* Jacq.)

#### 4.1.1 Efeito da irrigação e adubação nas características físicas das plantas

A Tabela 11 apresenta os resultados para a caracterização da biomassa fresca e seca, altura e diâmetro caulinar. O maior valor de biomassa fresca,  $257 \pm 15,60$  g, foi alcançado pelo tratamento T4 (E+0,75NPK), já o menor valor,  $170,05 \pm 2,74$  g, foi obtido para o tratamento T0 (A). De forma similar, o maior valor de biomassa seca foi observado para o T4(E+0,75NPK) com  $88,40 \pm 6,57$  g, enquanto T0 (A) registrou o menor valor com  $67,50 \pm 2,20$  g. Para a biomassa fresca, não houve diferenças significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). Por outro lado, a remoção da umidade da biomassa repercutiu em diferença entre os tratamentos. De acordo com Perez-Murcia et al. (2006), a absorção de nutrientes nas plantas influencia no aumento da biomassa, sendo em geral determinado pelo conteúdo da irrigação; entretanto, aparentemente não houve influência positiva para os tratamentos que receberam irrigação com esgoto sanitário tratado, mesmo com complementação com adubação mineral. Pelo resultado de T0, possivelmente os nutrientes no solo já eram suficientes para a produção de biomassa obtida.

Tabela 11 - Resultados para parâmetros físicos do Experimento I. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferiram significativamente a 95% de nível de confiança

Tratamento	Biomassa fresca (g)	Biomassa seca (g)	Altura (cm)	Diâmetro caulinar (cm)
T0 (A)	$170,05 \pm 2,74^a$	$67,50 \pm 2,20^a$	$54,50 \pm 2,04^a$	$1,09 \pm 0,04^a$
T1 (E)	$208,60 \pm 6,61^a$	$78,05 \pm 2,41^{ab}$	$52,00 \pm 3,27^a$	$1,04 \pm 0,07^a$
T2 (A+NPK)	$204,77 \pm 39,31^a$	$82,43 \pm 8,91^{ab}$	$59,00 \pm 0,82^a$	$1,18 \pm 0,02^a$
T3 (E+NPK)	$216,70 \pm 8,16^a$	$71,70 \pm 1,39^a$	$47,00 \pm 1,63^a$	$0,94 \pm 0,03^a$
T4 (E+0,75NPK)	$257,00 \pm 15,60^a$	$88,40 \pm 6,57^b$	$58,67 \pm 10,87^a$	$1,17 \pm 0,22^a$

Fonte: O Autor (2020).

Similarmente aos resultados de biomassa fresca, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si ( $p > 0,05$ ), tanto para a altura, como para o diâmetro de caule das plantas. De qualquer maneira, observa-se que, aparentemente o menor valor de altura e de diâmetro obtido com o tratamento T3

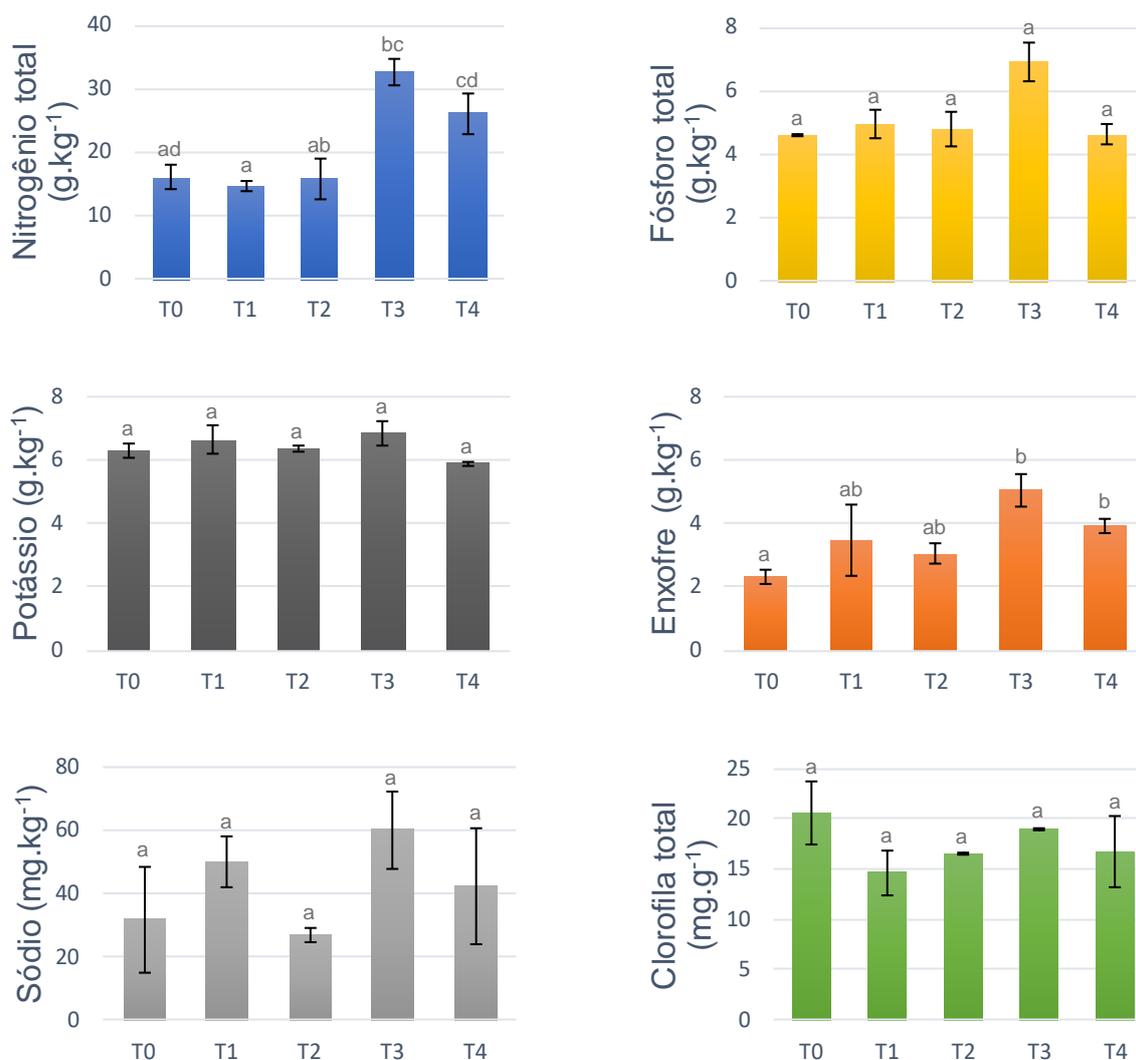
(E+NPK), são indícios de prejuízo ao seu crescimento vertical. Os maiores valores de biomassa observados para as plantas cultivadas com esgoto sanitário e complementos, T1(E), T3 (E+NPK) e T4(E+0,75NPK), são associados com o crescimento lateral, com maior número de galhos e folhas.

Segundo Lubello et al. (2004), a irrigação de culturas agrícolas com efluente tratado pode causar efeito negativo para o crescimento das raízes das plantas devido à alta concentração de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Além de causar danos às raízes, a toxicidade do amônio pode acarretar diminuição do crescimento da planta, diminuição na absorção de cátions no processo de fotossíntese (ESTEBAN, 2016). Dessa forma, os menores valores de altura das plantas observado nos tratamentos que receberam irrigação com efluente tratado (T1 e T3) provavelmente pode ter ocorrido pela maior contribuição de N-NTK, que acarretou maior absorção de  $\text{NH}_4^+$  pelas plantas e dano à sua altura. De qualquer maneira, estes resultados corroboram as informações obtidas por Silva et al. (2014) em cultivos de *Capsicum chinense* (cultivar tekila bode vermelha) irrigados com esgoto doméstico tratado. Os autores registraram similaridade ( $p>0,05$ ) entre as alturas das plantas os diâmetros caulinares, os quais variaram entre 1 e 1,15 cm após ciclo de 60 dias.

#### **4.1.2 Efeito da irrigação e adubação nas características bioquímicas das plantas**

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para caracterização bioquímica das plantas. As diferentes concentrações de elementos presentes nas fontes de irrigação (Tabela 6), na adubação mineral adicionada e presentes naturalmente no solo usado para cultivo (Tabela 3), influenciaram na disponibilidade e possível absorção dos nutrientes pela planta. No tecido foliar, a concentração observada em ordem decrescente foi:  $\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{S}$ . Contreras et al. (2013) afirmam que, além da quantidade fornecida, o padrão de captação de nutrientes pode se modificar de acordo com a variedade de pimenta cultivada e/ou das condições de crescimento aplicadas.

Figura 4 - Caracterização bioquímica das plantas. Letras diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: T0 (A), T1 (E), T2 (A+NPK), T3 (E+NPK), T4 (E+0,75NPK)



Fonte: O Autor (2020).

Plantas cultivadas com efluente tratado e complementação com adubação mineral, T3 (E+NPK) e T4(E+0,75NPK) apresentaram as maiores concentrações de nitrogênio total ( $32,82 \pm 2,03$  e  $26,24 \pm 3,26$  g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente), enquanto plantas cultivadas nos demais tratamentos, T0 (A), T2 (E) e mesmo em T1 (A+NPK) como complementação, apresentaram as menores concentrações ( $< 15$  g.kg<sup>-1</sup>). Os resultados de N obtidos em T3 e T4 estão associados à adubação nitrogenada, uma vez que ela promove aumento da assimilação de nitrogênio pelas culturas devido ao aumento das interações entre os microrganismos e as raízes (SARKER et al., 2017).

Da Costa Weckner et al. (2018), realizaram um experimento com pimenta de cheiro cultivada com diferentes concentrações de biofertilizante de esterco bovino rico

em P. Os autores obtiveram os melhores resultados para altura das plantas e massa dos frutos, para o tratamento com a maior concentração de esterco, atribuindo este fato com a maior quantidade de fósforo fornecida para as plantas. Entretanto, no presente experimento, os resultados de fósforo e de potássio não apresentaram diferenças significativas (Figura 4). Os resultados similares demonstram que independente da fonte de irrigação e da adubação mineral, não houve diferenças no nível de absorção desses nutrientes pelas plantas. O alto teor desses elementos presentes inicialmente no solo (Tabela 3), também, pode ter contribuído para este resultado.

Em relação ao enxofre, foi observada diferença significativa entre o tratamento T0 (A) em relação aos tratamentos T3 (E+NPK) e T4 (E+0,75NPK). Estes resultados, possivelmente, indicam um efeito sinérgico positivo na absorção de enxofre pelas plantas cultivadas sob os tratamentos que receberam irrigação com efluente e complementação com adubação mineral. A adubação com superfosfato simples ( $P_2O_5$ ) também é uma forma de aplicação indireta do enxofre às culturas pois ele é derivado da decomposição de rochas fosfatadas pela ação de ácido sulfúrico, sendo absorvido pelas plantas sob a forma de oxidada íon sulfato,  $SO_4^{2-}$  (BUSTAMANTE, 2016). Dessa forma, a maior quantidade observada de enxofre nos resultados dos tratamentos T3 e T4 provavelmente se deve à maior presença desse ânion no esgoto, e pela presença do superfosfato simples (adubo mineral).

O maior valor de clorofila total foi obtido para as plantas cultivadas sob o tratamento T0 (A) com  $20,56 \pm 3,16 \text{ g.mg}^{-1}$ . Plantas cultivadas sob o tratamento T1 (E) obtiveram os menores valores de clorofila total com  $14,62 \pm 2,23 \text{ g.mg}^{-1}$ . Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Esta ocorrência foi similar em relação ao sódio. De qualquer maneira, neste experimento os resultados de clorofila total sugerem que, possivelmente, não houve danos na produção de pigmentos fotossintéticos causados por eventual estresse salino. Reduções nos processos de síntese de moléculas de clorofila podem funcionar como mecanismo de aclimatação à atuação de agentes estressantes, como déficit hídrico ou salino. Dessa forma, existe por parte dos vegetais a tentativa de conservação de energia, captando menos energia luminosa e evitando possíveis estresses foto-oxidativos (CARLIN, 2012; STREIT, 2005).

Verificou-se que plantas com maior concentração de sódio no tecido foliar apresentaram os melhores resultados para biomassa fresca. Embora aparentemente

o sódio tenha favorecido o crescimento das plantas, as funções desempenhadas pelo sódio nas plantas não são ainda bem definidas, sendo que o seu papel pode ser considerado como essencial em algumas plantas superiores ou como substituto do K em funções metabólicas e osmóticas (FAQUIN, 2005). De acordo com Bojórquez-Quintal et al. (2014), a sua acumulação pode alcançar concentrações tóxicas nas plantas, ativando a produção de substâncias reativas em oxigênio e reduzindo crescimento e produtividade. Os mesmos autores também não obtiveram redução de biomassa em plantas de *Capsicum chinense* submetidas à diferentes condições de estresse salino, corroborando com os resultados alcançados no presente estudo.

#### 4.1.3 Influência da irrigação e adubação no rendimento dos frutos

Plantas cultivadas sob os tratamentos que receberam irrigação com efluente tratado (T4, T3 e T1) apresentaram a maior quantidade de frutos (60, 54 e 49, respectivamente). A menor quantidade de frutos colhidos foi observada para plantas cultivadas sob o tratamento T0 (45), as quais receberam irrigação com água sem adubação mineral. Este fato possivelmente ocorreu devido à maior absorção de nutrientes pelos tratamentos irrigados com efluente tratado, especialmente nitrogênio, (Figura 4), que causou o aumento na produção do número de frutos. Araújo et al. (2013), em cultivo de *Capsicum chinense*, com irrigação e adubação convencional, obteve número médio de frutos por planta entre 53 e 685,5, demonstrando a grande variação na produção do número de frutos alcançados pela cultura. De fato, esta variação também foi observada por Almuktar et al. (2015), os quais verificaram ainda que o maior número de frutos pra *Capsicum annum*, foi obtido a partir de plantas irrigadas com água. Os autores ressaltaram que a alta concentração de nutrientes presentes no esgoto tratado desfavoreceu o rendimento da cultura.

Plantas irrigadas com efluente tratado sob os tratamentos T4 (E+0,75NPK), T3 (E+NPK) e T1 (E), obtiveram os maiores valores para massa fresca total dos frutos (65,40; 62,32 e 60,76 g, respectivamente). Os valores estão de acordo com aqueles obtidos para a quantidade de frutos colhidos onde os mesmos tratamentos alcançaram os maiores resultados. O menor valor foi observado para os frutos das plantas cultivadas sob o tratamento T0 (A) com 45,9 g.

Assim como para os resultados de quantidade de frutos colhidos, plantas irrigadas com efluente tratado obtiveram maiores valores de rendimento, sendo o

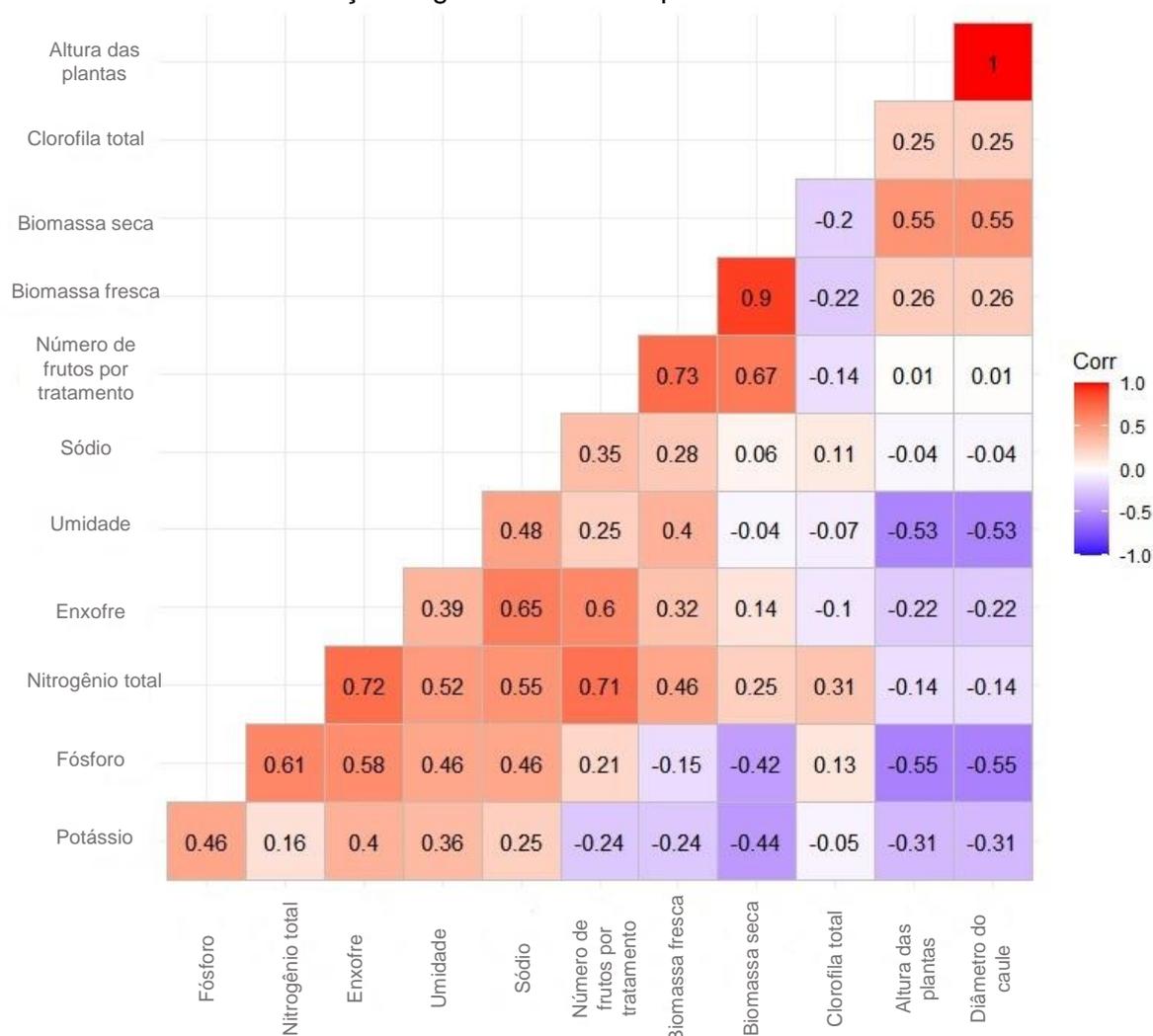
maior para o tratamento T4 (E+0,75NPK), de 1,45 ton.ha<sup>-1</sup>; e o menor valor, para T0 (A), de 1,02 ton.ha<sup>-1</sup>. Belhaj et al. (2016) apontam que o aumento no valor da biomassa seca é um importante precursor do aumento de produtividade em plantas, o que corroborou os resultados obtidos já que plantas cultivadas sob os tratamentos que resultaram em maior valor de biomassa seca (Tabela 11) também obtiveram os maiores valores para rendimento.

Plantas cultivadas sob o tratamento T1 alcançaram maior valor de massa fresca por fruto (1,24 g), enquanto o tratamento T2 resultou em menor massa fresca por fruto (0,98 g). Os valores obtidos corroboram com a hipótese do benefício causado pela irrigação com efluente ao rendimento dos frutos, além de estarem na faixa 0,99-19,15 observado por Lannes et al. (2007) em experimento com 49 linhagens genéticas de *Capsicum chinense*, cultivadas em casa de vegetação sob condições convencionais de cultivo em relação à irrigação e adubação.

Almuktar & Scholz (2016) em experimento com *Capsicum chinense*, obtiveram maior rendimento para a plantas cultivadas sob tratamento irrigado com efluente doméstico tratado e adição de composto orgânico, atribuindo este resultado à alta concentração de nutrientes, assim como no presente trabalho. Segundo dados da Embrapa (2007), o rendimento mundial da produção de *Capsicum chinense* no ano de 2009 foi de 15,2 ton.ha<sup>-1</sup> para frutos *in natura* e 1,61 ton.ha<sup>-1</sup> para frutos desidratados. Além disso, a empresa ressalta que a Índia, apesar de grande produtor mundial de pimentas, apresenta baixo rendimento em sua produção, que em 2003 foi de 4,7 ton.ha<sup>-1</sup> para frutos *in natura*. Miranda (2014), em experimento com duas linhagens genéticas de *Capsicum chinense* (BGH-433 e BGH-4285), cultivadas em campo sob condições convencionais de irrigação e adubação com 8 plantas por parcela, obteve rendimento de 8,32 ton.ha<sup>-1</sup> e 11,39 ton.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A Figura 5 apresenta os resultados da análise de correlação entre o número de frutos por tratamento e os demais parâmetros físicos e bioquímicos analisados no estudo. Foi possível observar que em relação à produtividade de frutos, por tratamento, os maiores valores foram observados para T4, T3 e T1, tratamentos fertirrigados com esgoto sanitário. Esses resultados, dentro das condições experimentais, tiveram alta correlação positiva ( $r > 0$ ) com as concentrações de N encontradas no tecido foliar das plantas e, também, com os valores de biomassa fresca e seca das plantas.

Figura 5 - Correlação de Pearson entre o número de frutos por tratamento e os demais parâmetros analisados no estudo. Correlação positiva ou direta para valores de  $r > 0$ ; Correlação negativa ou inversa para valores de  $r < 0$



Fonte: O Autor (2020).

Medina-Lara et al. (2008), em estudo com fertilização nitrogenada em *Capsicum chinense*, os autores encontraram maior produção de frutos para as plantas que receberam maiores doses de nitrogênio via fertilização. O nitrogênio foi apontado como responsável por estimular o desenvolvimento inicial e a floração das plantas e consequentemente pelo aumento na produção de frutos. Khan et al. (2014) associou o maior número de frutos de *Capsicum annum* ao maior valor de nitrogênio recebido por fertilização e ao maior número de folhas (biomassa) das plantas. Khan et al. (2010), em estudo com a influência do nitrogênio e fósforo no desenvolvimento de *Capsicum annum*, os autores encontraram relação positiva entre a produção de frutos e o aumento das doses de nitrogênio fornecidos as plantas. Já Zhu et al. (2005),

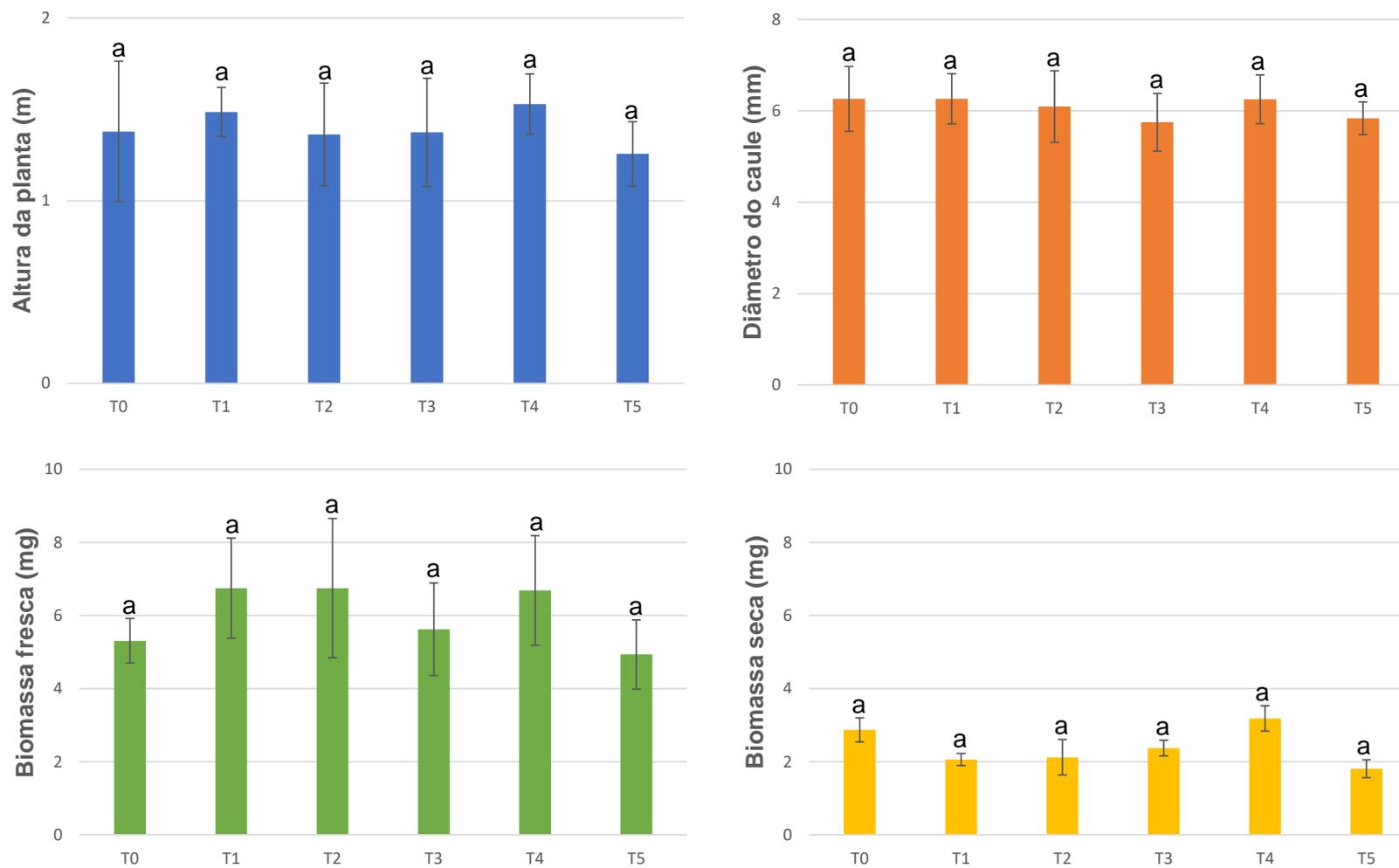
em estudo com *Capsicum frutescens*, observou maior valor para biomassa com o aumento das doses de nitrogênio, o que não foi observado para o número de frutos.

## 4.2 EXPERIMENTO II (*Vigna unguiculata* (L) Walp.)

### 4.2.1 Influência da lâmina de irrigação nas características físicas das plantas

A Figura 6 apresenta os resultados para características físicas das plantas de feijão caupi, biomassa fresca e seca, altura e diâmetro caulinar. O maior valor para altura foi obtido para as plantas cultivadas sob o tratamento T4 (A+NPK) com  $1,53 \pm 0,17$  m, já o menor para o cultivo realizado sob o tratamento T5 (0,6E) com  $1,26 \pm 0,18$  m. Não foram obtidas diferenças significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). O maior valor de diâmetro caulinar foi obtido para as plantas cultivadas sob o tratamento T1 (E) com  $6,27 \pm 0,55$  mm, e o menor para as plantas cultivadas sob o tratamento o T3 (0,75A+0,25E) com  $5,75 \pm 0,63$  mm. Assim como para os resultados de altura, não houve diferença significativa para os valores de diâmetro de caule. Foi observado padrão constante da razão entre altura e diâmetro caulinar para as plantas cultivadas sob todos os tratamentos, 0,23.

Figura 6 – Caracterização física das plantas. Letras diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: T0 (A), T1(E), T2(0,5A+0,5E), T3(0,75A+0,25E), T4(A+NPK), T5(0,6E)



Fonte: O Autor (2020).

Moraes (2018), em experimento com feijão caupi cultivado com lodo biológico anaeróbio caleado, também não obteve diferenças significativas entre os tratamentos para altura das plantas e diâmetro caulinar, alcançando maior altura de planta ( $1,36\pm 0,92$  m) sob condição de excesso de nitrogênio em relação ao exigido pela cultura (valor quatro vezes maior que o exigido). Para o diâmetro caulinar, a autora observou maior valor ( $10,0\pm 0,4$  mm) para o tratamento que utilizou o dobro da quantidade de N exigida. Assim como no presente estudo, plantas cultivadas sob os tratamentos que receberam maior quantidade de N por meio da irrigação, alcançaram maiores valores para altura e diâmetro caulinar.

Soureshjani et al. (2019) reporta que a redução na disponibilidade de umidade via fonte de irrigação, pode influenciar em processos metabólicos que acarretam inibição de crescimento. Dessa forma, a menor altura encontrada para as plantas cultivadas sob o tratamento T5 (0,6E), embora irrigada com esgoto tratado, pode ser efeito da menor lâmina de irrigação aplicada a este tratamento (4,6 mm) em relação aos demais (7,6 mm)

Plantas cultivadas sob os tratamentos T1 (E) e T2 (0,5A+0,5E) obtiveram os maiores valores de biomassa fresca com  $67,50\pm 1,37$  e  $67,50\pm 1,90$  g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. O menor valor foi obtido para as plantas cultivadas sob o tratamento T5 (0,6E) com  $49,40\pm 0,95$  g.planta<sup>-1</sup>. O menor resultado para biomassa fresca provavelmente ocorreu devido à lâmina de irrigação aplicada durante o período de cultivo (4,6 mm), já que em relação ao aporte de nutrientes, o tratamento T5, quantitativamente, se equipareou, ou superou, aos demais, dependendo do elemento analisado (Tabela 10). Não houve diferenças significativas entre os tratamentos para os resultados de biomassa fresca ou seca das plantas ( $p > 0,05$ ).

#### **4.2.2 Influência da lâmina de irrigação no rendimento dos grãos**

A Tabela 12 apresenta os resultados para os indicadores de produtividade de grãos, número de grãos por tratamento, peso de 100 grãos e rendimento. Para o número de grãos por tratamento, o cultivo realizado sob o tratamento T1 (E) obteve o maior valor com 137 grãos, já as plantas cultivadas sob T2 (0,5A+0,5E) alcançaram o menor valor com 59 grãos. O maior valor para o número de grãos para as plantas cultivadas sob o tratamento T1 pode ser associado ao aporte de nitrogênio fornecido (Tabela 16). Apesar da capacidade de fixação biológica do nitrogênio apresentada

por leguminosas, como o feijão caupi, o nitrogênio é o elemento que mais limita o crescimento e desenvolvimento de uma planta ao longo do seu ciclo de vida (CHAPIN,1980).

Entretanto, o menor valor no número de grãos (59 grãos) obtido para as plantas cultivadas sob T2 (0,5A+0,5E), pode ter ocorrido devido a diversos fatores. Uma hipótese é a perda do nitrogênio fornecido pela irrigação devido a mobilidade do elemento no solo. A toxicidade do amônio ainda pode ter acarretado diminuição na assimilação de  $K^+$  pela cultura como fator que resultou em perda na produção de grãos (ESTEBAN, 2016).

Plantas cultivadas sob o tratamento T3 (0,75A+0,25E), alcançaram o maior peso de cada 100 grãos com 39 g. Já o menor peso foi obtido pelas plantas cultivadas sob o tratamento T5 (0,6E) com 28 g. Estes resultados indicam que possivelmente o prejuízo na massa dos grãos para as plantas cultivadas sob T5 ocorreu devido à estresse provocado pela lâmina de irrigação, assim como observado nos valores de biomassa fresca. Para os resultados de rendimento dos grãos, plantas cultivadas sob o tratamento T1 (E) apresentaram o maior valor com  $621,07 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , já as plantas cultivadas sob o tratamento T2 (0,5A+0,5E) apresentaram os valores mais baixos ( $236,00 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

O menor valor de rendimento alcançado pelas plantas cultivadas sob T2 (0,5A+0,5E) pode ser explicado devido aos fatores anteriormente expostos para o número de grãos. Apesar do suprimento de N pela irrigação com esgoto sanitário tratado, ele pode ter sofrido processos de lixiviação no solo, perda por mobilidade, ou pode ter causado efeito tóxico sob a forma de amônio acarretando perda de produtividade. Smiderle & Schwengber (2010) afirmam que pouco se conhece ainda sobre a quantidade de nitrogênio que permite a obtenção de rendimentos satisfatórios no cultivo de feijão-caupi, sendo necessário o conhecimento do modo mais adequado de aplicação para evitar perdas no plantio devido a mobilidade do elemento no solo.

Tabela 12 - Resultados de produtividade para rendimento de grãos no Experimento II

Tratamento	Número de grãos por tratamento	Peso de 100 grãos (g)	Rendimento kg.ha <sup>-1</sup>
T0 (A)	64	31	264
T1 (E)	137	34	621
T2 (0,5A+0,5E)	59	30	236
T3 (0,75A+0,25E)	81	39	421
T4 (A+NPK)	104	33	458
T5 (0,6E)	68	28	254

Fonte: O Autor (2020).

Em experimento com feijão caupi, Moraes (2018) obteve maior produtividade (414,00 kg.ha<sup>-1</sup>) para as plantas cultivadas sob tratamento que utilizou maior quantidade de N fornecido a cultura. Assim como no presente experimento, a autora obteve produtividades abaixo da média esperada para a cultura segundo o IPA (entre 600 e 900 kg.ha<sup>-1</sup>) atribuindo este fato ao experimento ter sido realizado em casa de vegetação com condições diferentes do campo, em menor área de cultivo. Em contrapartida, Silva (2007), em experimento com feijão caupi cultivado em lisímetros de drenagem com diferentes lâminas de irrigação, obteve melhores valores de produtividade para os tratamentos com efluente em relação aqueles manejados com água e acima dos valores médios esperados para a cultura entre 1.200 a 2.500 kg.ha<sup>-1</sup>.

Como apresentado anteriormente (Tabela 10), plantas cultivadas sob o tratamento T1 (E) receberam aporte de N (786,60 mg) e K (473,67 mg), ao final do período de cultivo, sendo também as plantas que obtiveram o melhor resultado de rendimento de grãos (Tabela 16). As plantas sob o tratamento T2 (0,5A+0,5E), apesar também do alto aporte de N (417,24 mg) e K (325,75 mg), em relação a outros tratamentos, apresentaram o pior rendimento para a produção em kg.ha<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos indicam provavelmente o equilíbrio entre o fornecimento e a absorção de nutrientes proporcionem maiores rendimentos do que o fornecimento de maiores quantidades isoladas de N, P ou K (PRIMAVESI, 1985).

## 5 CONCLUSÃO

O uso de esgoto sanitário tratado se mostrou promissor para os cultivos de pimenta-de-cheiro e feijão caupi. Foram observados bons resultados para a fertirrigação com esgoto sanitário em termos de atributos físicos e bioquímicos das plantas de pimenta, bem como em produção de frutos. Isto demonstrou o benefício da fertirrigação com esgoto sanitário, devido ao maior aporte de nutrientes. Plantas com adubação mineral complementar e fertirrigação com esgoto tratado, T3 (E+NPK) e T4 (E+0,75NPK), apresentaram maiores impactos positivos na biomassa e, nas concentrações de nitrogênio e enxofre em tecido foliar. A irrigação com esgoto sanitário tratado resultou ainda nos maiores rendimentos de frutos para as plantas cultivadas nos tratamentos T4 (E+0,75NPK), T3 (E+NPK) e T1 (E) com 1,45; 1,38 e 1,35 ton.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O uso somente de esgoto tratado (T1), sem adubação complementar, pode, também, ser considerado promissor para o cultivo da pimenta-de-cheiro.

Para o cultivo de feijão caupi, o uso de esgoto tratado para fertirrigação também se mostrou favorável, alcançando o maior valor para rendimento na produção de grãos entre os tratamentos adotados. Plantas fertirrigadas com esgoto sanitário e sem adubação mineral (T1), obtiveram o maior rendimento (621,07 kg.ha<sup>-1</sup>). Isto possivelmente ocorreu devido ao maior fornecimento de nitrogênio às plantas durante o período de cultivo. O uso da menor lâmina de irrigação (equivalente à 37% da capacidade de campo, 4,6 mm, T5) se mostrou desfavorável ao cultivo. Concluiu-se, portanto, que o esgoto sanitário pode substituir a água para irrigação agrícola das culturas estudadas, contribuindo com parcela significativa do aporte de nutrientes para as plantas.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Dentre as recomendações para as futuras pesquisas na temática de reúso de esgoto tratado para fins agrícolas, estão:

- Avaliar o grau de estresse hídrico e/ou salino da planta a partir do monitoramento da concentração de aminoácidos e derivados em tecido foliar. A prolina livre é um aminoácido com função osmorreguladora que se acumula em plantas submetidas a condições de estresse hídrico. Já a glicinabetaína é um derivado do aminoácido glicina, que também atua como substância osmorreguladora e é encontrada em plantas sob condições de estresse hídrico e/ou salino.
- Avaliar o grau de estresse hídrico a partir do uso de parâmetros físicos referentes à planta como potencial hídrico foliar, condutância estomática, transpiração e temperatura da folha.
- Avaliar a assimilação de nitrogênio pela planta (e seu efeito) e condições de estresse a partir da concentração de enzimas em tecido foliar. O acompanhamento da atividade enzimática de nitrato redutase pode ser usado como indicativo da assimilação do nitrogênio pelas plantas. Já o aumento da atividade de peroxidase ocorre como resposta à produção de substâncias reativas em oxigênio ( $H_2O_2$ ), que ocorre em situações de estresse. Também ocorre aumento na concentração desta enzima como resposta ao ataque de patógenos.

## REFERÊNCIAS

ALMUKTAR, S. A. A. N., & SCHOLZ, M. Mineral and biological contamination of soil and *Capsicum annuum* irrigated with recycled domestic wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 167, p. 95-109, 2016.

ALMUKTAR, S. A. A. N., & SCHOLZ, M. Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigation of two consecutive *Capsicum annuum* generations. **Ecological Engineering**, v. 107, p. 82-98, 2017.

ALMUKTAR, S. A. A. N., SCHOLZ, M., AL-ISAWI, R. H. K., & SANI, A. Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigating chillies and sweet peppers. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 1-22, 2015.

AMOAHA, I. D., REDDY, P., SEIDU, R., & STENSTROM, T. A. Concentration of soil-transmitted helminth eggs in sludge from South Africa and Senegal: A probabilistic estimation of infection risks associated with agricultural application. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 1020-1027, 2018.

ANGELAKIS, A. N.; GIKAS, P. Water reuse: overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. **Water Utility Journal**, v. 8, n. 67, p. e78, 2014.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd.ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 2012.

ARAÚJO, C. M. M. et al. **Análise genética em variedades crioulas de pimenta murupi (*Capsicum chinense* Jacq.) da Amazônia**. Programa de Pós-graduação em agricultura no trópico úmido, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA. Manaus- AM, 2013.

ARF, O.; SILVA, L. S. D.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E. D.; RODRIGUES, R. A. F. & Hernandez, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2029-2036.1999.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 371, 1939.

AZCONA, I., PASCUAL, I., AGUIRREOLEA, J., FUENTES, M., GARCÍA-MINA, J. M., & SANCHEZ-DIAZ, M. Growth and development of pepper are affected by humic substances derived from composted sludge. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, n. 6, p. 916-924, 2011.

BASTOS, R.K.X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C.A.L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L.O.; SPERLING, M.V.; AISSE, M.M.; BEVILACQUA, P.D.; PIVELLI, R.P. Subsídios à Regulação do Reúso da Água no Brasil – Utilização de Esgotos Sanitários Tratados para Fins Agrícolas, Urbanos e Piscicultura. **Revista DAE**, v. 1, p. 50-62, 2008.

BELHAJ, D.; JERBI, B.; MEDHJOUR, M.; ZHOU, J.; KALLEL, M. & AYADI, H. Impact of treated urban wastewater for reuse in agriculture on crop response and soil ecotoxicity. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n.16, p. 15877-15887, 2016.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. **Recife: UFRPE**, 2011.

BOJÓRQUEZ-QUINTAL, E.; VELARDE-BUENDÍA, A.; KU-GONZÁLEZ, Á.; CARILLO-PECH, M.; ORTEGA-CAMACHO, D.; ECHEVARRÍA-MACHADO, I. & MARTÍNEZ-ESTÉVEZ, M. Mechanisms of salt tolerance in habanero pepper plants (*Capsicum chinense* Jacq.): proline accumulation, ions dynamics and sodium root-shoot partition and compartmentation. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 605, 2014.

BOMFIM, N. F. **Avaliação quantitativa e qualitativa de óleo essencial extraído do *Coriandrum sativum* cultivado com subproduto de estação de tratamento de esgoto sanitário**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

BOSLAND, P.W.; VOTAVA, E.J. **Peppers: vegetable and spice capsicums**. Cabi, 2012.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. "Arquitetura e propriedades físicas do solo." BRADY, NC; Weil, RR, *The Nature and Properties of Soils*, 13 ed., p. 2-49, 2002

BUSTAMANTE, M. A. et al. Phosphorus availability from rock phosphate: combined effect of green waste composting and sulfur addition. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 557-563, 2016.

CAMPBELL, Bruce M. et al. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. **Ecology and Society**, v. 22, n. 4, 2017.

CAMPOS, V. B.; OLIVEIRA, A.; CAVALCANTE, L. F. & PRAZERES, S. Rendimento do pimentão submetido ao nitrogênio aplicado via água de irrigação em ambiente protegido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 72-9, 2008.

CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. de L.; SANTOS, D. M. M. dos. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 553-564, 2012.

CAVALCANTI, F.J.A. 2008. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA. Recife, PE. 81, 2008.

CHAPIN III, F. Stuart. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, n. 1, p. 233-260, 1980.

CHRISTOU, A., MARATHEFTIS, G., ELIADOU, E., MICHAEL, C., HAPESHI, E., & FATTA-KASSINOS, D. Impact assessment of the reuse of two discrete treated wastewaters for the irrigation of tomato crop on the soil geochemical properties, fruit safety and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 192, p. 105-114, 2014.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (2018). **Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos**. V. 5 - SAFRA 2017/18- N. 11 - Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-148, 2019.

CONTRERAS, J. I.; EYMAR, E.; LOPEZ, J. G.; LAO, M. T. & SEGURA, M. L. Influences of Nitrogen and Potassium Fertigation on Nutrient Uptake, Production, and Quality of Pepper Irrigated with Disinfected Urban Wastewater. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 1-4, p. 767-775, 2013.

CONTRERAS, J. D. et al. Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. **Water Research**, v. 123, p. 834-850, 2017.

CRAWFORD, N. M.; GLASS, A. D. M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trends in Plant Science**, v. 3, n. 10, p. 389-395, 1998.

DA COSTA WECKNER, F.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C. & DA CUNHA, J. M. Efeito da aplicação de biofertilizantes à base de esterco bovino fresco no crescimento de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense* Jacq.). **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

DECLERCQ, R. et al. Socio-economic interest of treated wastewater reuse in agricultural irrigation and indirect potable water reuse: Clermont-Ferrand and Cannes case studies' cost-benefit analysis. **Irrigation and Drainage**, v. 69, p. 194-208, 2020.

DOMENICO, C.I. **Caracterização agrônômica e pungência em pimenta *Capsicum chinense* Jacq.** Tese de doutorado, Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2011.

DONAGEMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E)**, 2011.

DOURADO NETO, D.U.R.V.A.L. & FANCELLI, A.L. Produção de feijão. **Guaíba: Agropecuária**, v. 2, p. 19-20, 2000.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de produção: Pimenta (*Capsicum* spp.)**. 2007. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnpti.embrapa.br/Fontes:HTML/Pimenta/Pimenta\\_capsicum\\_spp/importanciaeconomica.html](http://sistemasdeproducao.cnpti.embrapa.br/Fontes:HTML/Pimenta/Pimenta_capsicum_spp/importanciaeconomica.html).

ESTEBAN, R. et al. Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. **Plant Science**, v. 248, p. 92-101, 2016.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, FAEPE/UFLA. 2005.

FLORENCIO, L; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (coord). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. FINEP/PROSAB., ABES, Rio de Janeiro, 2006.

FORDE, B. G. Nitrate transporters in plants: structure, function and regulation. **Biochimica et Biophysica Acta Biomembranes**, v. 1465, n. 1-2, p. 219-235, 2000.

GERBER, M. D., LUCIA Jr, T., CORREA, L., NETO, J. E. P., & CORREA, É. K. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators. **Science of the Total Environment**, v. 592, p. 86-90, 2017.

GRAU, F., DRECHSEL, N., HAERING, V., TRAUTZ, D., WEERAKKODY, W. J. S. K., DRECHSEL, P., SINNATHAMBY, V. Impact of fecal sludge and municipal solid waste co-compost on crop growth of *Raphanus Sativus* L. and *Capsicum Anuum* L. under stress conditions. **Resources**, v. 6, n. 3, p. 26, 2017.

GUANZIROLI, C. E.; DI SABBATO, A.; DE FÁTIMA VIDAL, M. Evolução da agricultura familiar nordestina: uma análise comparativa entre os dois censos agropecuários. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 45, n. 5, p. 93-106, 2014.

HESPANHOL, I. **Potencial de Reúso de Água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (editores). Reúso de água, NISAM-USP, p. 37, 38, 58-72, 2003.

INTRIAGO, J. C., LÓPEZ-GÁLVEZ, F., ALLENDE, A., VIVALDI, G. A., CAMPOSEO, S., NICOLÁS, E. N., ... & SALCEDO, F. P. Agricultural reuse of municipal wastewater through an integral water reclamation management. **Journal of Environmental Management**, v. 213, p. 135-141, 2018.

KHAN, A.; SHAH, S. N. M.; RAB, A.; SAJID, M.; ALI, K.; AHMED, A. & FAISAL, S. Influence of nitrogen and potassium levels on growth and yield of chillies (*Capsicum annum* L.). **International Journal Farm and Sciences**, v. 3, p. 260-264, 2014.

KHAN, M. S. I.; ROY, S. S. & PALL, K. K. Nitrogen and phosphorus efficiency on the growth and yield attributes of capsicum. **Academic Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 2, p. 71-78, 2010.

LANNES, S. D., FINGER, F. L., SCHUELTER, A. R., & CASALI, V. W. (2007). Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 112, n. 3, p. 266-270, 2007.

LUBELLO, C.; GORI, R.; NICESE, F. P. & FERRINI, F. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. **Water Research**, v. 38, n.12, p. 2939-2947, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MALCHI, T., MAOR, Y., TADMOR, G., SHENKER, M., & CHEFETZ, B. Irrigation of root vegetables with treated wastewater: evaluating uptake of pharmaceuticals and the associated human health risks. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 16, p. 9325-9333, 2014.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de água**. Editora Manole Ltda, 2003.

MARQUELLI, W. A. Tensiômetro para o controle de irrigação em hortaliças. **Embrapa Hortaliças**. Circular Técnica, 2008.

MARTIN, F.D.; SANTIAGO, J.; COOK, A. A. The peppers, *Capsicum* species, 1979.

MEDINA-LARA, F.; ECHEVARRÍA-MACHADO, I.; PACHECO-ARJONA, R.; RUIZ-LAU, N.; GUZMÁN-ANTONIO, A. & MARTINEZ-ESTEVEZ, M. Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). **HortScience**, v. 43, n. 5, p. 1549-1554, 2008.

MENDES, R.M.D.S; TÁVORA, F.J.A.F.; PITOMBEIRA, J.B.; NOGUEIRA, R.J.M.C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n.1, p. 95-103, 2007.

MENEZES, J.D. **Manejo da cultura de feijão: enfoque sistêmico**. Simpósio da Cultura de Feijão Irrigado, v. 4, p. 35-42, 2001.

MENICHINI, F. et al. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 553-560, 2009.

MONTEIRO, T. L. V. **Efeito da aplicação de lodo e de efluente de reator UASB no cultivo de feijão CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

MORAES, B. A. B. D. **Lodo biológico anaeróbico caledado como condicionador de Neossolo Regolítico para cultivo de feijão caupi**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

MOREIRA, A.; TEIXEIRA, P. C.; ZANINETTI, R. A. & PLÁCIDO JÚNIOR, C. G. Fertilizantes e corretivo da acidez do solo em pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense*) cultivada no Estado do Amazonas (1ª aproximação). **Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

NUEZ, F.; ORTEGA, G.; COSTA, R. **El cultivo de pimientos, chiles y ajíes**. Mundi Prensa, 1996.

OBAYOMI, O; GHAZARYAN, L.; BEN-HUR, M.; EDELSTEIN, M.; VONSHAK, A.; SAFI, J.; BERNSTEIN, N.; GILLOR, O. The fate of pathogens in treated wastewater-soil-crops continuum and the effect of physical barriers. **Science of the Total Environment**, v. 681, p. 339-349, 2019.

OLIVEIRA, A. P. D.; SILVA, V. R.; ARRUDA, F. P. D.; NASCIMENTO, I. S. D. & ALVES, A. U. Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 1, p. 77-80, 2003.

PAGLIARINI, M. K.; BISCARO, G. A.; GORDIN, C. R. B.; DOS SANTOS, A. M. & NETO, J. F. B. Níveis de fertirrigação na avaliação das características morfofisiológicas em mudas de pimenta malagueta. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 46-55, 2012.

PEREIRA FILHO, J. V., BEZERRA, F. M. L., SILVA, T. C., SOUSA PAREIRA, C. C. M., & Chagas, K. L. Alteração química do solo cultivado com feijão-caupi sob salinidade e déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 8, p. 2206, 2017.

PEREZ-MURCIA, M. D.; MORAL, R.; MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-ESPINOSA, A. & PAREDES, C. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 1, p. 123-130, 2006.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. NBL Editora, 2002.

REIFSCHNEIDER, F.J.B. (org.). **Capsicum: pimentas e pimentos no Brasil**. Embrapa, 113 p., Brasília, 2000.

RIBEIRO, M.C.R.; ROCHA, F.A.; SANTOS, A.C.; SILVA, J.O.; PEIXOTO, M.F.S.P.; PAZ, V.P.S. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 639-646, 2012.

REIS FILGUEIRA, F. A. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças (No. 635)**. Universidade Federal de Viçosa, 2000.

RODRÍGUEZ-CANCHÉ, L. G., CARDOSO-VIGUEROS, L., CARVAJAL-LÉON, J., & DZIB, S. D. L. C. P. Production of habanero pepper seedlings with vermicompost generated from sewage sludge. **Compost Science & Utilization**, v. 18, n. 1, p. 42-46, 2010.

RUFINO, J. L. S.; PENTEADO, D. C. S. Importância econômica, perspectivas e potencialidades do mercado para pimenta. **Informe agropecuário**, v. 27, n. 235, p. 7-15, 2006.

SARKER, J. R. et al. Tillage and nitrogen fertilization enhanced belowground carbon allocation and plant nitrogen uptake in a semi-arid canola crop–soil system. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2017.

SALGADO, V. C. **Avaliação de diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado no cultivo de melancia (*Citrullus lanatus* Schrad) no sertão pernambucano**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SANTOS, G. M., OLIVEIRA, A. P., SILVA, J. A. L., ALVES, E. U., & COSTA, C. C. Características e rendimento de vagem do feijão-vagem em função de fontes e doses de matéria orgânica. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n.1, p. 30-35, 2001.

SILVA, F. C. S. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, K. K. B. **Efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre o sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, L. L.; CARVALHO, C. M.; SOUZA, R.; FEITOSA, H. O.; FEITOSA, S. O. & GOMES FILHO, R. R. Utilização de efluentes domésticos no crescimento da pimenta (*Capsicum chinense*), cultivar tekila bode vermelha. **Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 121-133, 2014.

SILVA, R. J. **Caracterização do esgoto tratado na ETE Mangueira e a viabilidade de seu uso em mudas de eucalipto**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, V. P. **Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo na produção de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil -Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SMIDERLE, O. J.; SCHWENGBER, D. R. Rendimento e Qualidade de Sementes de Feijão-caupi em Função de Doses de Nitrogênio. **REVISTA AGRO@ MBIENTE ONLINE**, v. 2, n. 1, p. 18-21, 2010.

SMITH, P.G.; HEISER JR, C.B. Taxonomy of *Capsicum chinense* Jacq. And the geographic distribution of the cultivated *Capsicum* species. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, p. 413-420, 1957.

SOURESHJANI, Hedayatollah Karimzadeh et al. Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 270-279, 2019.

SOUZA FILHO, E. J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L. & KATO, M. T. Níveis de adubação no cultivo de melancia irrigado com esgoto. **Revista DAE**, n. 207, 2017.

SOUZA FILHO, Edécio José de. **Reuso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido Pernambucano**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. D. & HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TAIZ, LINCOLN; ZEIGER, EDUARDO. Metabólitos secundários e defesa vegetal. **Fisiologia Vegetal**, v. 4, 2004.

TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 23, n. 10, p. 1005-1024, 2000.

TRENTIN, C.V. **Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba-PR**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná. 2005.

URBANO, V. R., MENDONÇA, T. G., BASTOS, R. G., & SOUZA, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108-115, 2017.

USEPA, USA ID. Guidelines for water reuse. **EPA/625/R-04/108, 25-167-250**, 2004.

VALLADARES, G. S. Caracterização dos solos e classes de terra para irrigação do Oeste da Bahia. **Embrapa Territorial-Documentos (INFOTECA-E)**, 2002.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report, series n. 778, p. 72, Geneva, 1989.

ZHU, J. H.; LI, X. L.; CHRISTIE, P. & LI, J. L. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 111, n. 1-4, p. 70-80, 2005.