

IAN CRISÓSTOMO BEZERRA DUTRA

**USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE ORIGEM DOMÉSTICA NO CULTIVO DA
PIMENTA MALAGUETA NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODI-RN**

MOSSORÓ-RN

2013

IAN CRISÓSTOMO BEZERRA DUTRA

**USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE ORIGEM DOMÉSTICA NO CULTIVO DA
PIMENTA MALAGUETA NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODI-RN**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

ORIENTADOR: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista/UFERSA

CO-ORIENTADOR: Prof. D. Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho/UFERSA

MOSSORÓ-RN

2013

O Conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

D963u Dutra, Ian Crisóstomo Bezerra.

Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo da pimenta malagueta na região da Chapada do Apodi-RN. / Ian Crisóstomo Bezerra Dutra. -- Mossoró, 2013.
69f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

Co-Orientador: Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Área de concentração em Irrigação e Drenagem – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação.

1. Sustentabilidade. 2. Reuso. 3. Agricultura familiar. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT /043-13

CDD: 630.81

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba
CRB-15/452

IAN CRISÓSTOMO BEZERRA DUTRA

**USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE ORIGEM DOMÉSTICA NO CULTIVO DA
PIMENTA MALAGUETA NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODI-RN**

Dissertação apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
como parte das exigências para obtenção do
título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

APROVADA EM: 27/09/2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista - UFERSA
Orientador

Prof. D. Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho - UFERSA
Co-Orientador

Prof. D. Sc. Rodrigo Guimarães de Carvalho - UERN
Conselheiro

A minha família pelo amor e apoio incondicional.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela formação acadêmica e oportunidade de concluir o Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem.

Ao Banco do Nordeste pelo apoio financeiro necessário ao desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista pela oportunidade e orientação durante todo o curso de mestrado.

À M. Sc. Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa pela coordenação na coleta dos dados de campo e na realização das análises laboratoriais de água, água residuária e solo.

Ao Prof. D. Sc. Miguel Ferreira Neto pelo empréstimo da infraestrutura de tratamento primário do esgoto doméstico instalada no Assentamento Milagres em Apodi-RN, com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Aos Conselheiros da banca examinadora, Prof. D.Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho e D. Sc. Rodrigo Guimarães de Carvalho pelas sugestões e contribuições para melhoria do presente trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem por contribuírem na minha formação profissional.

A todos os funcionários do Laboratório de Análise de Solo Água e Planta (LASAP) da UFERSA em especial a Ana Kaline que me ensinou a pensar rápido e que prestar atenção é a ferramenta fundamental na realização das análises.

A todos que fazem parte do projeto de assentamento Milagres, em especial, Sra Antonieta, Sr Zito e Sr Pedro por todo esforço e ajuda durante o experimento.

Muito obrigado!

*“A mente que se abre a uma nova idéia jamais
voltará ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein

RESUMO

DUTRA, Ian Crisóstomo Bezerra. **Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo da pimenta malagueta na Chapada do Apodi-RN**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2013.

O aproveitamento agrícola das águas residuárias domésticas tratadas é uma alternativa diante da escassez hídrica no semiárido. A pesquisa objetivou analisar os efeitos da aplicação de água residuária de origem doméstica no sistema produtivo da pimenta malagueta. Para isso, uma área experimental de 744 m² foi montada no assentamento Milagres em Apodi-RN, constituída por um decanto-digestor e um sistema de irrigação por gotejamento automatizado. A pimenta malagueta foi plantada em Cambissolo no espaçamento de 1,0 m entre fileiras de plantas por 0,30 m entre plantas. Na condução do experimento utilizaram-se 25 parcelas, sendo que cada parcela ocupou 12,5 m². Os tratamentos utilizados foram T1 - 100% de aplicação água residuária doméstica primária (ARP) e 0% de água de abastecimento (AA), T2 - 75% de ARP e 25% de AA, T3 - 50% de ARP e 50% de AA, T4 - 25% de ARP e 75% de AA e T5 - 0% de ARP e 100% de AA. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco repetições. Durante o período experimental foram coletadas amostras da água residuária e de abastecimento para caracterização físico-química e microbiológica, amostras de solo nas profundidades de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m para caracterização físico-química e amostras dos frutos da pimenta malagueta para determinação da produtividade e do risco microbiológico. Os resultados indicaram que o decanto-digestor apresentou, durante o período experimental, bom desempenho com remoções superiores a 80% da turbidez, coliformes totais, coliformes termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, sólidos suspensos, fósforo, óleos e graxas e nitrato; no cambissolo os valores de pH, condutividade elétrica do extrato de saturação, cálcio, magnésio, sódio, potássio, fósforo, nitrogênio e matéria orgânica aumentaram com as proporções de água residuária doméstica primária em relação às de água de abastecimento; e o tratamento T4 foi o mais indicado para produção da pimenta malagueta, devido à minimização de efeitos de acumulação e lixiviação de elementos químicos no solo, maior produtividade e menor risco microbiológico do produto agrícola.

Palavras-chave: Sustentabilidade, reuso, agricultura familiar.

ABSTRACT

DUTRA, Ian Crisóstomo Bezerra. **Use of domestic wastewater on chilli pepper cultivation in Chapada do Apodi-RN**. 2013. 69 f. Dissertation (Master's degree in Irrigation and Drainage). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2013.

The agricultural use of treated domestic wastewater is an alternative in the face of water scarcity and environmental degradation in the semiarid region. The study aimed to analyze the effects of the application of domestic wastewater in the production system of chilli pepper. For this purpose, an experimental area of 744 m² was mounted on rural community Milagres in Apodi-RN, comprising a primary effluent treatment system and a drip irrigation automated. The chili pepper was planted in Cambisol with spacing of 1.0 m between rows of plants per 0.30 m between plants. In conducting the experiment were used 25 plots, each parcel occupied 12.5 m². The treatments were T1 - 100% of domestic primary wastewater application (ARP) and 0% water supply (AA), T2 - 75% of ARP and 25% of AA, T3 - 50% of ARP and 50% of AA, T4 - 25% of ARP and 75% of AA and T5 - 0% of ARP and 100% of AA. The experimental design was randomized blocks with five replications. During the experimental period, samples were collected from wastewater and supply for physical-chemical and microbiological analyses, soil samples at depths of 0 to 0.20 m, 0.20 to 0.40 m, 0.40 to 0.60 m for physical-chemical analyses and samples of the fruits of chilli pepper to determine productivity and microbiological risk. The results indicated that the Treatment system presented, during the trial period, good performance with greater than 80% removal of turbidity, total coliform, fecal coliform, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, suspended solids, phosphorus, oil and grease and nitrate; on cambissolo the pH, electrical conductivity of the saturation extract, calcium, magnesium, sodium, potassium, phosphorus, nitrogen and organic matter increased with increasing proportions of primary domestic wastewater in relation to water supply, and treatment T4 was the most suitable for the production of chilli pepper, by minimizing the effects of accumulation and leaching of chemical elements in the soil, higher productivity and lower risk of microbiological agricultural product.

Keywords: Sustainability, reuse, family agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem de satélite da área experimental montada no Assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN.....	30
Figura 2 - Esquema detalhado do sistema de coleta, tratamento e reuso implantado no assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN.....	31
Figura 3 - Vista frontal do decanto-digestor destacando interna (a) e externamente (b) o tanque séptico e os dois filtros biológicos.....	32
Figura 4 - Ilustração do sistema de irrigação por gotejamento automatizado instalado no assentamento detalhando o reservatório para água residuária doméstica primária (a), reservatório para água de abastecimento (b), unidades de recalque (c) e unidades de irrigação por gotejamento (d).....	34
Figura 5 - Ilustração do delineamento experimental para a condução dos ensaios com a cultura da pimenta malagueta.....	36
Figura 6 - Ilustração da pimenta malagueta no início do ciclo (a) e no início do período de frutificação.....	37
Figura 7 - Valores de pH (a), Zn (b), Cu (c) e Mn (d) do solo irrigado com as proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.....	53
Figura 8 - Valores de CE (a), Ca (b), Mg (c) e Na (d) do solo irrigado com as proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.....	55
Figura 9 - Valores de K (a), P (b), N (c) e MO (d) do solo irrigado com as proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.....	57
Figura 10 - Valores médios da produtividade da pimenta malagueta em função das proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos padrões complementares de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme algumas legislações estaduais.....	23
Tabela 2 - Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento antes da aplicação da água residuária de origem doméstica.....	35
Tabela 3 - Lâminas brutas acumuladas no período de 153 dias de aplicação das proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e água de abastecimento (AA).....	39
Tabela 4 - Características físico-químicas e microbiológicas da água residuária doméstica com e sem tratamento no decanto digestor, no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012.....	42
Tabela 5 - Características físico-químicas e microbiológicas da água de abastecimento, no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012.....	48
Tabela 6 - Aporte de nutrientes aplicados ao solo via irrigação por gotejamento referente às proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.....	50
Tabela 7 - Valores médios do nível populacional de coliformes termotolerantes nos frutos da pimenta malagueta das parcelas irrigadas com as proporções de água residuária primária e água de abastecimento, após período de 153 dias de irrigação das parcelas.....	59

SIGLAS E ABREVIATURAS

AA - Água de Abastecimento

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCSEM – Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas

ARP - Água Residuária Primária

CE - Condutividade Elétrica

CF- Coliformes fecais

CFSEMG - Comissão de Fertilidade de Solo de Minas Gerais

CNHR - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CT - Coliformes Totais

CTC – Capacidade de troca de cátions

CTe - Coliformes Termotolerantes

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DAT – Dias após o transplântio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETc – Evapotranspiração da cultura

ETo – Evapotranspiração de referência

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

INMET - Instituto Nacional de Metrologia

Kc – Coeficiente de cultura

NMP – Número mais provável

MO - Matéria orgânica

NO₃⁻ - Nitrato

N_{total} - Nitrogênio Total

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

P_{total} - Fósforo Total

RAS - Razão de adsorção de sódio

SB – Soma de bases

SD – Sólidos dissolvidos

SS – Sólidos suspensos

TB – Turbidez

UNT – Unidade nefelométrica de turbidez

WHO - Organização Mundial de Saúde

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 O PROBLEMA DA ESCASSEZ HÍDRICA.....	18
2.2 O ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	19
2.3 CRITÉRIOS PARA DISPOSIÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NO AMBIENTE.....	21
2.4 A IMPORTÂNCIA DO REUSO DA ÁGUA.....	25
2.5 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NO SISTEMA SOLO-PLANTA.....	27
2.6 A IMPORTÂNCIA DA PIMENTA MALAGUETA.....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	30
3.1.1 Decanto-digestor.....	31
3.1.2 Sistema de aplicação das proporções de água residuária doméstica e da água de abastecimento.....	33
3.1.3. Classificação e caracterização do solo antes da aplicação da água residuária de origem doméstica.....	34
3.2 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	36
3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	37
3.4. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA E DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	39
3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO.....	40
3.6 ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA PIMENTA MALAGUETA.....	40
3.7 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS FRUTOS DA PIMENTA MALAGUETA.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42

4.1 ANÁLISES DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE DOMÉSTICA.....	42
4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	47
4.3 APORTE DE NUTRIENTES APLICADOS AO SOLO PELA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	50
4.4 EFEITOS DE DISTINTAS PROPORÇÕES DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CAMBISSOLO.....	51
4.4.1 Alteração nos valores de pH, Zn, Cu e Mn.....	51
4.4.2 Alteração nos valores de condutividade elétrica (CE), Ca, Mg e Na.....	53
4.4.3 Alteração nos valores de K, P, N e matéria orgânica (MO).....	55
4.5 EFEITOS DAS PROPORÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO NA PRODUTIVIDADE DA PIMENTA MALAGUETA.....	57
4.6 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS FRUTOS DA PIMENTA MALAGUETA PRODUZIDOS COM PROPORÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	59
5 CONCLUSÕES.....	61
6 REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar um curto período chuvoso, temperatura elevada e alta taxa de evaporação. Quanto à quantidade de água no solo disponível às plantas, nessa região, registra-se uma deficiência hídrica na grande maioria dos meses do ano. Além disso, o esgotamento sanitário inadequado ou inexistente afeta diretamente a saúde e as condições de vida das populações, nos quais as doenças infecciosas continuam sendo uma importante causa de mortalidade.

O reuso planejado de águas residuárias domésticas na agricultura consiste em uma medida para atenuar o problema da escassez hídrica no semiárido, sendo uma alternativa para os agricultores localizados especificamente nas áreas circunvizinhas dos centros urbanos e nas áreas rurais. No entanto, as águas residuárias tratadas e destinadas ao uso agrícola devem ser avaliadas sob os aspectos de sodicidade, salinidade, excesso de nutrientes e, sobretudo, sob os aspectos sanitários que criam graves problemas de saúde pública, uma vez que acarretam enfermidades.

Deve-se enfatizar que são vários os benefícios do uso das águas residuárias domésticas na agricultura por terem em sua composição água e nutrientes que promovem: a substituição parcial de fertilizantes químicos, minimizando a degradação ambiental em função da redução do lançamento de resíduos nos corpos hídricos; aumento na produção agrícola tanto qualitativo quanto quantitativo; economia da quantidade de água direcionada para a irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público; e a melhoria das condições físicas do solo pela adição da matéria orgânica, ao mesmo tempo em que se minimiza o problema da disposição final de águas residuárias.

A inserção da cultura da pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*) pode ser uma boa opção para a agricultura familiar regional ajudando no processo de inclusão social dos pequenos agricultores, propiciando fonte de renda, gerando mão de obra e matéria prima para produtos caseiros ou industrializados, tornando-se uma excelente alternativa para a região.

A cultura da pimenta malagueta vem crescendo rapidamente nos últimos anos em diversas regiões brasileiras, com destaque para as regiões Sudeste e Nordeste, tendo grande importância econômica, em razão de sua alta rentabilidade e da demanda de mão de obra, especialmente na colheita. Para a agricultura familiar, a pimenta malagueta possui grande versatilidade de usos, podendo ser utilizada *in natura*, em conserva e na fabricação de molhos que variam do caseiro ao industrializado.

Em virtude do exposto, objetivou-se, com esta pesquisa, analisar os efeitos da aplicação de água residuária de origem doméstica primária no sistema produtivo da cultura da pimenta malagueta no assentamento Milagres em Apodi-RN. Como objetivos específicos apresentam-se: a) avaliar o desempenho do sistema de tratamento da água residuária de origem doméstica; b) verificar as alterações químicas ocorridas em um Cambissolo pela aplicação das proporções de água residuária de origem doméstica e água de abastecimento; e c) analisar a produção e contaminação microbiológica dos frutos da pimenta malagueta mediante aplicação das proporções de água residuária de origem doméstica e água de abastecimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O PROBLEMA DA ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL

Segundo dados quantitativos, produzidos por hidrólogos, 97,5% da água disponível na Terra são salgadas e 2,493% estão concentrados em geleiras ou regiões subterrâneas de difícil acesso; sobram, portanto, apenas 0,007% de água doce para o uso humano, disponível em rios, lagos, aquíferos e na atmosfera (MILLER, 2008). Com o crescimento acelerado da população e o desenvolvimento industrial e tecnológico, essas fontes disponíveis de água doce vêm sendo cada vez mais pressionadas pelo uso e pela poluição.

A poluição dos mananciais, a precariedade da infraestrutura de esgotamento sanitário e abastecimento de água, as mudanças climáticas, o desmatamento, o assoreamento dos rios, o uso inadequado de irrigação e a impermeabilização do solo, entre tantas outras ações do homem moderno, são responsáveis pela escassez e degradação da água em nível mundial (TUNDISI, 2008).

Em que pese a situação privilegiada do Brasil, país que detém cerca de 12% daqueles 0,007% de toda a água doce disponível no planeta destinada ao consumo humano, irrigação e atividades industriais, graves problemas o afligem, relacionados à distribuição irregular dos recursos hídricos e o desperdício presente em todos os níveis da sociedade (TUNDISI, 2008; BRASIL, 2012a).

Estima-se que 70% da água brasileira está na região Norte, onde está situada a bacia amazônica e vivem apenas 7% da população; a região Sudeste, que tem a maior concentração populacional (42,63% do total brasileiro), dispõe de apenas 6% dos recursos hídricos, e a região Nordeste, que abriga 28,91% da população dispõe apenas de 3,3%. Portanto, apenas 30% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 93% da população. Em média, entre 40% e 60% da água tratada é perdida no percurso entre a captação e os domicílios, em função de tubulações antigas, vazamentos, desvios clandestinos e tecnologias obsoletas (BRASIL, 2012a). Além disso, a água doce no Brasil está também ameaçada pelo crescimento da população e da ocupação desordenada do solo, do desenvolvimento industrial e tecnológico, que vêm acompanhados de poluição, erosão, desertificação e contaminação do lençol freático.

Além da disponibilidade, a distribuição e a oferta de água tratada também representam obstáculos a serem vencidos. Na síntese de indicadores do IBGE (2010), o número de domicílios atendidos por rede geral de abastecimento de água no Brasil (49,5

milhões) representou 84,4% do total de domicílios, sendo observada uma tendência de crescimento ao longo dos anos anteriores, exceto na Região Nordeste, que apresentou um crescimento discreto na proporção de domicílios atendidos.

A causa da escassez de água no Nordeste reside, primeiramente, na baixa pluviosidade e irregularidade das precipitações pluviométrica na região, além de uma estrutura geológica que não permite acumular de maneira satisfatória água no subsolo, o que interfere diretamente no volume de água dos mananciais hídricos superficiais (BRASIL, 2012b).

2.2 O ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Segundo Brasil (2007), o esgotamento sanitário é constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente.

A água residuária doméstica é aquela que provém principalmente, de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações com banheiros, lavanderias e cozinhas. É constituído por resíduos humanos (fezes e urina) e águas produzidas nas diversas atividades diárias, como asseio corporal, preparo de alimento, lavagem de roupas e utensílios domésticos (von SPERLING, 2011).

As fezes são formadas por restos de alimentos compostos por albuminas, gorduras, hidratos de carbono, proteínas, sais e uma infinidade de microrganismos sendo os coliformes presentes em maior quantidade. Na urina tem-se a uréia, resultantes das transformações químicas de compostos nitrogenados (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

As águas residuárias domésticas contêm, aproximadamente, 99,9% de água, e apenas 0,1% de sólidos. É no entanto, devido a esse pequeno percentual de sólidos que ocorrem os problemas de poluição das águas, trazendo a necessidade de se tratar as águas residuárias domésticas (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

A quantidade de matéria orgânica presente nas águas residuárias domésticas é expressa por duas características primordiais que indicam o nível de contaminação de um corpo d'água: demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) e a demanda química de oxigênio (DQO). A DBO é a quantidade de oxigênio dissolvido, necessária aos microrganismos, na estabilização da matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbias. A estabilização completa demora aproximadamente 20 dias. Num efluente, quanto maior a quantidade de

matéria orgânica biodegradável maior será a DBO. Normalmente, a DBO das águas residuárias domésticas oscila de 200 a 500 mg L⁻¹, enquanto em águas de corpo hídrico superficial o valor de DBO fica em torno de 10 a 15 mg L⁻¹ (NUVOLARI, 2003; von SPERLING, 2011).

Com a análise da DQO visa-se quantificar o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química de parte dos compostos orgânicos e dos inorgânicos presentes numa amostra. A oxidação química do material orgânico é obtida por oxidantes fortes como o permanganato ou dicromato de potássio (NUVOLARI, 2003).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, 44,8% dos municípios brasileiros não possuíam rede coletora de esgoto doméstico bruto, e apenas 28,5% dos municípios dispõem de sistema para tratamento de águas residuárias domésticas (IBGE, 2010).

As principais manifestações de degradação ambiental decorrentes da disposição inadequada de água residuária doméstica no meio ambiente são: contaminação de corpos hídricos com nutrientes e microrganismos entéricos, perda de biodiversidade e degradação dos solos. Outro aspecto de poluição das águas é aquele relacionado com o fator higiênico, associado às doenças de veiculação hídrica. Um corpo hídrico que recebe o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento pode incorporar ampla gama de agentes transmissores de doenças, afetando alguns usos preponderantes, tais como abastecimento de água potável, irrigação e balneabilidade (von SPERLING, 2011).

No que concerne às companhias de saneamento, o lançamento de esgoto doméstico bruto em corpos hídricos altera as características naturais da água a partir do ponto de lançamento e compromete sua qualidade para consumo humano ou mesmo para uso em atividades agropecuárias (RIBAS; FORTES NETO, 2008).

De acordo com Chernicharo et al. (2006), as principais tecnologias de tratamento de esgotos domésticos nas companhias de saneamento são as seguintes:

- Tratamento preliminar/primário: tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras e reduzir a concentração dos sólidos suspensos presentes nos esgotos domésticos brutos, por meio de processos físicos ou físico-químicos. Grades, caixas de areia e separadora de óleos e graxas, tanques flocluladores, flotadores, sedimentadores e filtros pertencem a essa classe;

- Tratamento secundário: tem por finalidade a redução de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos. Os processos biológicos de remoção utilizados classificam-se em: aeróbio - utiliza micro-organismos que necessitam continuamente de

oxigênio dissolvido, no meio líquido, fornecido por aeração mecânica e difusa ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio - utiliza micro-organismos que não necessitam de oxigênio dissolvido no meio líquido, sendo utilizado em esgotos domésticos com alta carga orgânica (biodigestores, reatores e lagoas anaeróbias);

- Tratamento terciário: objetiva a redução do nível populacional de bactérias patogênicas, bem como a remoção final da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistem nas etapas anteriores. De modo geral, são utilizados quando o esgoto doméstico é lançado em corpos hídricos receptores ou para a reutilização da água. Os filtros biológicos, lagoas de maturação e lagoas de aguapés pertencem a essa classe; e

- Tratamento secundário/terciário: tem por objetivo a redução da concentração de nutrientes e do nível populacional de micro-organismos patogênicos presentes nos esgotos domésticos. Os sistemas alagados construídos, rampas de escoamento superficial infiltração percolação e reuso de água pertencem a essa classe (LOURES et al., 2006; MATOS; FREITAS; Lo MONACO, 2010).

2.3 CRITÉRIOS PARA DISPOSIÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NO AMBIENTE

A Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, objetivando principalmente o uso racional e integrado dos recursos hídricos, assegurando a disponibilidade de água na qualidade adequada aos mais diversos usos pelas atividades humanas, além da prevenção contra crises hidrológicas, tanto provocadas por mau uso quanto por fatores naturais (BRASIL, 1997).

A resolução do CONAMA nº357, de 17 de março de 2005, em substituição a CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986, dispõe sobre os critérios de classificação dos corpos hídricos, além das diretrizes ambientais que os enquadra. Estabelecendo também em que condições e padrões os efluentes devem ser lançados, utilizando-se como base os diversos níveis de qualidade destas águas, de acordo com o uso específico de cada curso hídrico (BRASIL, 2005).

A Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011 foi criada para complementar e alterar a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, dispondo sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011). Nessa resolução destacam-se os seguintes artigos:

- No Art. 2º afirma-se que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas (BRASIL, 2011).

- No Art. 3º relata-se que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (BRASIL, 2011).

- No Art. 21 estão apresentadas informações voltadas para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários cujos padrões específicos são: a) pH entre 5 e 9; b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; c) materiais sedimentáveis até 1 mL L⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff, para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes; d) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias, 20°C) máxima de 120 mg L⁻¹, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor; e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg L⁻¹; e f) ausência de materiais flutuantes.

A Resolução CONAMA n.º 430/2011 também delega aos órgãos ambientais estaduais as funções de fiscalizar, orientar e punir as atividades potencialmente poluidoras, bem como definir diretrizes locais para emissão dos efluentes, caso necessário (BRASIL, 2011). Nesse contexto, destacam-se as legislações de alguns estados brasileiros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo dos padrões complementares de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme algumas legislações estaduais

Estados	DBO ₅		DQO		SS	N	P _{total}	CT	Fonte
	mg L ⁻¹	Ef _{min} (%)	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	NMP 100 mL ⁻¹	
PR	90	-	225	-	-	20 (c)	-	-	Paraná (2007)
SC	60	80	-	-	-	10 (d)	1,0	-	Santa Catarina (1981)
	120 (Q<200) (a)		360 (Q <200) (a)	120 (Q<200) (a)					
	80 (200 ≤ Q < 1000)		240 (200 ≤ Q < 1.000)	80 (200 ≤ Q < 1.000)					
RS	60 (1.000 ≤ Q < 2.000)	-	200 (1.000 ≤ Q < 2.000)	70 (1.000 ≤ Q < 2.000)	10 (d)	1,0	3x10 ²		Rio Grande do Sul (1989)
	40 (2.000 ≤ Q < 10.000)		160 (2.000 ≤ Q < 10.000)	50 (2.000 ≤ Q < 10.000)					
	20 (10.000 ≥ Q)		100 (10.000 ≥ Q)	40 (10.000 ≥ Q)					
MG	60	85	90	100	5 (c)	-	-		Minas Gerais (1986)
SP	60	80	-	-	-	-	-		São Paulo (1976)
GO	60	80	-	-	-	-	-		Goiás (1979)
MS	60	-	-	-	5 (c)	-	-		Mato Grosso (1997)
CE	60	-	200	150	5 (c)		3x10 ³		Ceará (2002)
	180 (C ≤ 2) (b)		360 (C ≤ 2) (b)						
	80 (2 < C ≤ 6)		160 (2 < C ≤ 6)						
PE	60 (6 < C ≤ 50)	-	120 (6 < C ≤ 50)	-	-	-	1x10 ⁴ a 1x10 ⁶		Pernambuco (2000) e Pernambuco (2001)
	30 (C > 50)		60 (C > 50)						
BRASIL	120	60	-	-	20 (c)	-	-		Brasil (2011)

Ef_{min} - eficiência mínima de remoção da DBO₅ requerida pelo sistema de tratamento em %. DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO – Demanda Química de Oxigênio; SS – sólidos suspensos; CT – Coliforme termotolerante; a - Variável de acordo com a carga orgânica diária bruta (kg de DBO por dia); b - Variável de acordo com a vazão diária de lançamento (m³/dia); c - nitrogênio amoniacal; e d – nitrogênio total.

No que se refere à legislação nacional aplicada ao reuso de água destacam-se a NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997) e a Portaria nº 154/2002 (CEARÁ, 2002) que estabelecem diretrizes para produção agrícola com águas residuárias domésticas tratadas.

De acordo com a NBR 13.969-97 (ABNT, 1997), o reuso de água com origem doméstica é aplicado a fins não potáveis tais como irrigação dos jardins, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens. Para tal, o efluente deve ser tratado de forma a eliminar os riscos microbiológicos, bem como a sua condição estética para a aceitação do uso no ambiente domiciliar.

A NBR 13.969 divide a água cinza em classes de uso, conforme apresentado a seguir:

Classe 2: irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a 5 UNT, coliforme fecal inferior a 500 NMP 100 mL⁻¹, cloro residual superior a 0,5 mg L⁻¹. Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes; e

Classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5000 NMP 100 mL⁻¹ e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg L⁻¹. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

A NBR 13.969 alerta, também, sobre a necessidade de se observar para o reuso de água cinza seguro e racional, a necessidade de adoção de um sistema de reservação e distribuição. Ao mesmo tempo, todo o sistema de reservação e distribuição para reuso de água devem ser identificados de modo claro e inconfundível, para não ocorrer uso errôneo com o sistema de água potável para outros fins.

Em relação a esse sistema os seguintes aspectos devem ser observados:

- Todo sistema de reservação deve ser dimensionado para atender pelo menos 2 h de uso de água no pico da demanda diária, exceto para uso na irrigação da área agrícola ou pastoril;

- Todo o sistema de reservação e distribuição da água cinza a ser utilizado devem ser claramente identificados, através de placas de advertência nos locais estratégicos e nas torneiras, além do emprego de cores nas tubulações e nos tanques de reservação de água potável;

- Quando houver usos múltiplos de reuso com qualidades distintas, deve-se obter pela reservação distinta das águas, com clara identificação das classes de qualidades nos reservatórios e nos sistemas de distribuição;

- No caso de reuso direto das águas da máquina de lavar para uso na descarga dos vasos sanitários, deve-se prever a reservação do volume da água de enxágue; e

- O sistema de reservação para aplicação nas culturas cujas demandas pela água não são constantes durante o seu ciclo deve prever uma preservação ou área alternada destinada ao uso da água sobressalente na fase de menor demanda.

Tem-se, também, a Portaria nº 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002) que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Nesta constam os critérios para utilização de efluentes de origem doméstica tratados em atividades agronômicas (irrigação e drenagem, dessedentação de animais e aquicultura) que deverá obedecer aos seguintes limites:

I - Atividades Tipo 1 : Irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais e aquicultura, conforme se segue: a) Coliformes fecais $< 1000 \text{ CF } 100 \text{ mL}^{-1}$; b) Ovos de helmintos $< 1 \text{ ovo } \text{L}^{-1}$ de amostra; e c) Condutividade elétrica $< 3,0 \text{ dS m}^{-1}$.

II - Atividades Tipo 2 : aquelas culturas não referidas anteriormente: a) Coliformes fecais $< 5000 \text{ CF } 100 \text{ mL}^{-1}$; b) Ovos de helmintos $< 1 \text{ ovo } \text{L}^{-1}$ de amostra; e c) Condutividade elétrica $< 3,0 \text{ dS m}^{-1}$.

2.4 A IMPORTÂNCIA DO REUSO DA ÁGUA

A quantidade total de água disponível na terra há mais de quinhentos milhões de anos é de aproximadamente 1,4 bilhão de km^3 . Embora esse seja um volume finito, por meio do ciclo hidrológico a água se constitui em um recurso renovável e, portanto, permanentemente disponível. Quando reciclada mediante sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, pela atividade antrópica, deteriorada a níveis diferentes de poluição. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção associados. As possibilidades e as formas potenciais de reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão

política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (WEBER; CYBIS; BEAL, 2010).

A falta de recursos hídricos e o aumento dos conflitos pelo uso da água geraram a emergência da conservação e do tratamento e reuso, como componentes formais da gestão de recursos hídricos. Os benefícios inerentes à utilização de água recuperada para usos benéficos, ao contrário de disposição ou descarga, incluem preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais (SOUSA et al., 2005; FONSECA et al., 2007).

O reuso para fins urbanos não-potáveis é caracterizado pela utilização de efluentes domésticos tratados para suprir necessidades diversas que admitem qualidade inferior à potável. O reuso urbano não-potável é subdividido em duas categorias: as de áreas com acesso controlado e não-controlado. Assim, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto com o público (HESPANHOL, 2008). As principais aplicações nesse caso são: a) Irrigação de parques e jardins públicos, residenciais e industriais, centros esportivos, campos de futebol e de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias; b) reserva de proteção contra incêndio; c) sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes, chafarizes e espelhos d'água; d) lavagens de veículos, tais como automóveis, caminhões, ônibus e trens; e) lavagem de pisos e praças; f) descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios residenciais e comerciais, públicos e privados; g) limpeza de tubulações de esgotos e de galerias de águas pluviais; h) controle de poeira; e i) construção civil, na lavagem de agregados, preparação e cura de concreto e controle de umidade para compactação do solo.

Por meio da irrigação, pode-se intensificar a produção agrícola, regularizando, ao longo do ano, as disponibilidades e os estoques de alimentos, uma vez que essa prática permite uma produção na contra-estação. A atividade de irrigação é a maior consumidora de água entre os diversos usos desse recurso natural, cerca de 70% do uso consultivo total (BRASIL, 2012a). Dentro dela, os consumos específicos variam bastante, dependendo do método de irrigação empregado. A natureza do solo, o tipo de requerimentos das diferentes culturas e os índices de evaporação locais são elementos importantes para definir o consumo de água para irrigação.

Segundo Hespagnol (2003), as razões do aumento do uso das águas residuárias domésticas para fins de irrigação foram: a) a dificuldade para identificação de fontes alternativas de águas para a irrigação; b) os elevados custos dos fertilizantes; c) a segurança de que os riscos para a saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções

são efetivamente tomadas; d) os elevados custos dos sistemas de tratamento, necessários para a descarga de efluentes em corpos receptores; e) a aceitação sociocultural da prática de reuso agrícola; e f) o reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

O aumento de produtividade não é, entretanto, o único benefício na aplicação de águas residuárias domésticas tratadas na agricultura, uma vez que se torna possível ampliar a área irrigada e, quando as condições climáticas permitem, efetuar colheitas múltiplas, praticamente ao longo de todo o ano. Além disso, o reuso adequadamente planejados e administrados trazem melhorias ambientais e de saúde pública, especialmente em áreas rurais de países em desenvolvimento (HESPANHOL, 2008).

2.5 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NO SISTEMA SOLO-PLANTA

A utilização de águas residuárias domésticas na irrigação de culturas agrícolas pode acarretar alterações físicas, químicas e microbiológicas no solo; proporcionar contaminação tanto do produto agrícola quanto do produtor rural e danificar os equipamentos utilizados na aplicação.

O esgoto sanitário apresenta concentrações relativamente baixas de matéria orgânica, mas as aplicações frequentes, associadas às altas taxas de aplicação, podem incorporar quantidades apreciáveis de matéria orgânica no solo. O aumento da matéria orgânica exerce influência nas propriedades físicas do solo, dentre as quais se destacam: a massa específica, a estrutura e estabilidade dos agregados, a aeração, a drenagem, a retenção de água e a consistência (AL-LAHHAM et al., 2003; FONSECA et al., 2007). Feigin, Ravina e Shalhevet (1991) afirmaram que as elevadas concentrações de partículas orgânicas e inorgânicas dos esgotos sanitários obstruem os poros da superfície do solo, reduzindo a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica, de 20 a 30%, sendo os solos arenosos mais suscetíveis ao entupimento de poros que os solos argilosos.

De acordo com Jnad et al. (2001a), o aumento na concentração de sódio e fósforo no solo foi a principal alteração nas características químicas do solo, decorrentes da aplicação de esgoto sanitário tratado via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em áreas cultivadas com grama. Porém, não foram observados aumentos significativos nas concentrações de nitrogênio total, magnésio, potássio, carbono orgânico e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Segundo Jnad et al. (2001b), as principais alterações

nas características físicas do solo decorrentes da aplicação de esgoto sanitário tratado via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em áreas cultivadas com grama, foi o incremento na capacidade de retenção de água no solo, atribuído ao decréscimo de macroporos e ao acréscimo de microporos influenciando, assim, a condutividade hidráulica do solo saturado.

Quanto aos efeitos da aplicação de água residuária doméstica no quesito microrganismos, sabe-se que estes podem sobreviver por períodos mais longos no solo do que nas superfícies das culturas, devido à maior exposição aos raios solares (LÉON SUEMATSU; CAVALLINI, 1999). Al-Nakshabandi et al. (1997), observaram que o nível populacional de bactérias heterotróficas, na camada de 0,07 a 0,10 m de profundidade é menor que na superfície de um solo que recebeu a aplicação de esgoto sanitário tratado. Relataram, também, que a aplicação desse efluente no solo proporcionou, considerável, aumento no nível populacional dos coliformes fecais em relação ao solo seco. Os resultados, apresentados por Hayat et al. (2002), confirmaram que a aplicação de efluente tratado de refinaria de óleo, durante 12 anos, não acarretou alteração significativa na atividade microbiológica do solo. Segundo Rocha et al. (2003), após 54 dias da aplicação de esgoto sanitário tratado, não foram identificados coliformes fecais no solo e, a partir dos 60 dias, não foram mais encontradas amostras positivas com ovos de helmintos, apesar do alto grau de contaminação inicial. Souza et al. (2011), em experimento com reuso em cafezal observou que após 350 irrigações com esgoto, a concentração de *Echerichia coli* em 1,0 metro de profundidade do solo foi a mesma da testemunha, dessa forma o autor destaca a capacidade do solo em inativar esses microorganismos, portanto neste experimento o reuso não ofereceu risco de contaminação do solo nem à saúde humana.

Léon Suematsu e Cavallini (1999) afirmaram que a utilização de esgoto sanitário tratado como fonte de nutrientes, traz benefícios ao meio ambiente e ao produtor rural, que irá reduzir seus custos com aplicação de fertilizantes e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas. Al-Nakshabandi et al. (1997) constatou aumento nas concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio, nas folhas e nos frutos de beringela, em razão da fertirrigação com esgoto sanitário tratado. Os mesmos autores verificaram aumento, porém irrisório, nos teores de zinco, manganês, cádmio, crômio e chumbo, nas folhas.

2.6 A IMPORTÂNCIA DA PIMENTA MALAGUETA

As pimenteiras são plantas pertencentes ao gênero *Capsicum*, família *Solanaceae*, tendo sua origem nas regiões tropicais americanas. A planta é arbustiva, perene, apresentando caule semilenhoso. As principais espécies cultivadas no Brasil são: *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. praetermissum*, *C. annuum*. A popular pimenta malagueta pertence à espécie *C. frutescens* sendo originária da Bacia Amazônica. É cultivada principalmente nos estados de MG, BA e GO, ocupando lugar de destaque entre as espécies condimentares mais utilizadas, superada apenas pelo alho e cebola. Apresentam teores de vitamina A e C superiores aos encontrados no pimentão e demais olerícolas produzidas no Brasil (DIAS et al., 2008). A cultura é de grande importância econômica, em razão de sua alta rentabilidade e da demanda de mão de obra, especialmente na colheita (VEZON et al., 2011).

A pimenta malagueta produz frutos de formato cônico-alongado, com comprimento médio de 7 cm e diâmetro de 1 cm, coloração verde que fica vermelha intensa quando maduros. Seu ciclo oscila de 90 a 140 dias, proporcionando produtividades que variam de 4 a 12 toneladas por hectare/ano (ABCSEM, 2011). Segundo Crisóstomo (2008), a produtividade da pimenta malagueta, consorciada com o feijão-de-corda, variou de 7 a 10 toneladas por hectare no município de Paraipaba-CE.

A pimenta malagueta possui grande versatilidade de usos na alimentação humana, podendo ser utilizada in natura, em conserva e na fabricação de molhos que variam do caseiro ao industrializado. Desse modo, é possível observar que em diversas regiões de plantio existe uma interação entre os produtores e a indústria. Pode-se então afirmar que o cultivo da pimenta malagueta é uma atividade de grande importância social, econômica e cultural, principalmente em regiões que são as principais produtoras e ao mesmo tempo consumidoras (VEZON et al., 2011).

Deve-se ressaltar que informações sobre a aplicação de águas residuárias domésticas na produção de pimenta malagueta são incipientes no Brasil e no mundo. Indicando a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a produção de pimenta malagueta com águas residuárias tratadas para agricultura familiar, possibilitando a geração de emprego e renda e minimizando a degradação proporcionado pela inadequação dos esgotamento sanitário nas áreas rurais do país.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os ensaios experimentais foram conduzidos de março de 2012 a agosto de 2012 no Projeto de Assentamento Rural Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN (latitude: 5° 37' 38''S; longitude: 37° 49' 55'' W; e altitude de 150 m). Apresenta-se, na Figura 1, a imagem de satélite da área experimental.



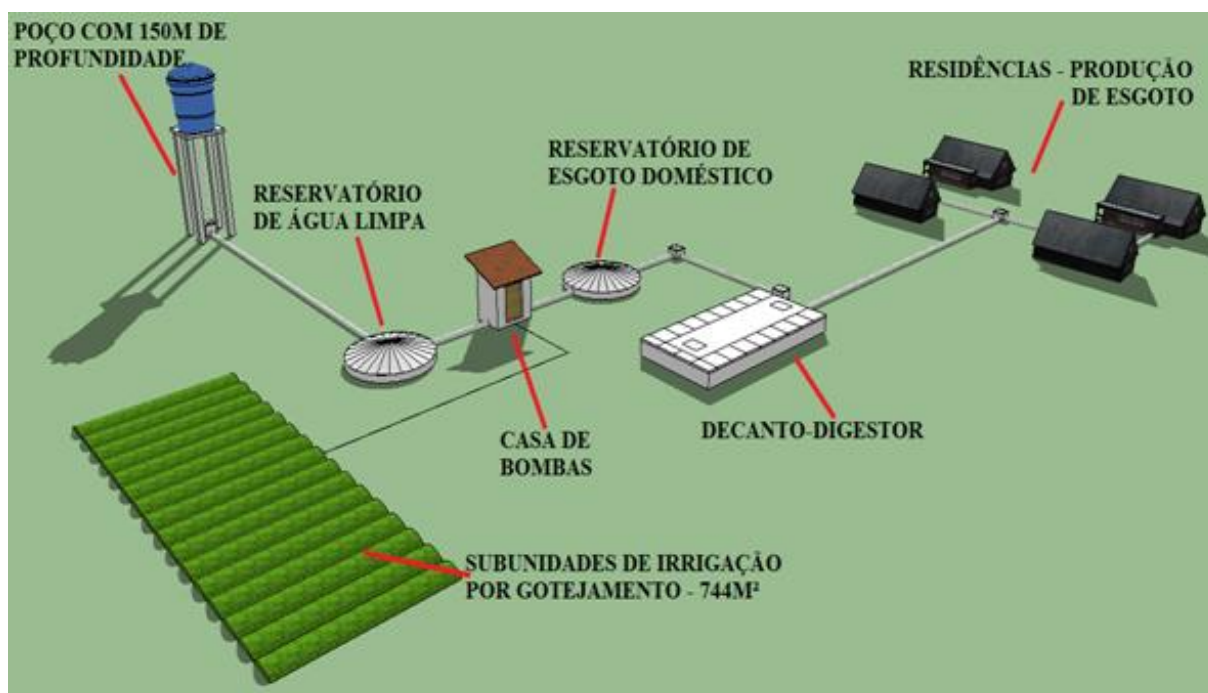
Fonte: Google Earth (2013).

Figura 1 - Imagem de satélite da área experimental montada no Assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN.

A região apresenta clima muito quente e semi-árido, conforme a classificação climática de Köppen, com temperatura média anual de 27,1 °C, temperatura máxima média de 34,1 °C e temperatura mínima média de 22,8 °C. A insolação média da região é de aproximadamente 3041 horas.ano⁻¹, com evaporação média de 2190 mm.ano⁻¹, umidade relativa média de 66,8 % e precipitação média de aproximadamente 893 mm ano⁻¹ segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (BACCARO; SILVA; CAMACHO, 2009; CAVALCANTE JUNIOR, 2011).

O assentamento possui 107 habitantes que ocupam 28 residências, produzindo diariamente um volume de 20 m³ de água residuária doméstica, equivalente a geração per capita de 187 L.habitante⁻¹.dia⁻¹. Ressalta-se que o assentamento dispõe de rede coletora de água residuária doméstica para todas as residências, tendo o ramal domiciliar com diâmetro

nominal de 100 mm e as tubulações primária e secundária com diâmetro nominal de 150 mm. Para o tratamento primário da água residuária doméstica canalizada foi instalado um decanto-digestor (tanque séptico mais dois filtros anaeróbios), sendo a disposição final da água residuária doméstica primária feita via sistema de irrigação por gotejamento visando a fertirrigação de cultivos agrícola de interesse aos assentados, conforme ilustrado no esquema da Figura 2.

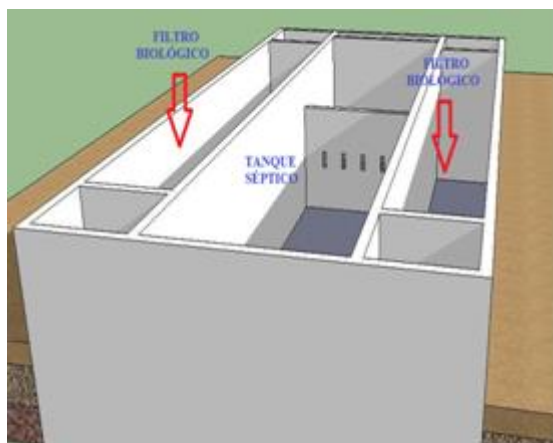


Fonte: Arquivo do pesquisador (2013).

Figura 2 - Esquema detalhado do sistema de coleta, tratamento e reúso implantado no assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN.

3.1.1 Decanto-digestor

O decanto-digestor foi construído em alvenaria de tijolos maciços com revestimento interno e externo contendo agente impermeabilizante para evitar infiltrações e vazamentos. O tanque séptico e os filtros biológicos foram dimensionados seguindo as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993), tendo as dimensões de 4,0 m de largura, 8,0 m de comprimento e 1,80 m de profundidade. Consta, na Figura 3, a vista frontal do decanto-digestor destacando interna e externamente o tanque séptico e os filtros biológicos.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do pesquisador (2013).

Figura 3 - Vista frontal do decanto-digestor destacando interna (a) e externamente (b) o tanque séptico e os dois filtros biológicos.

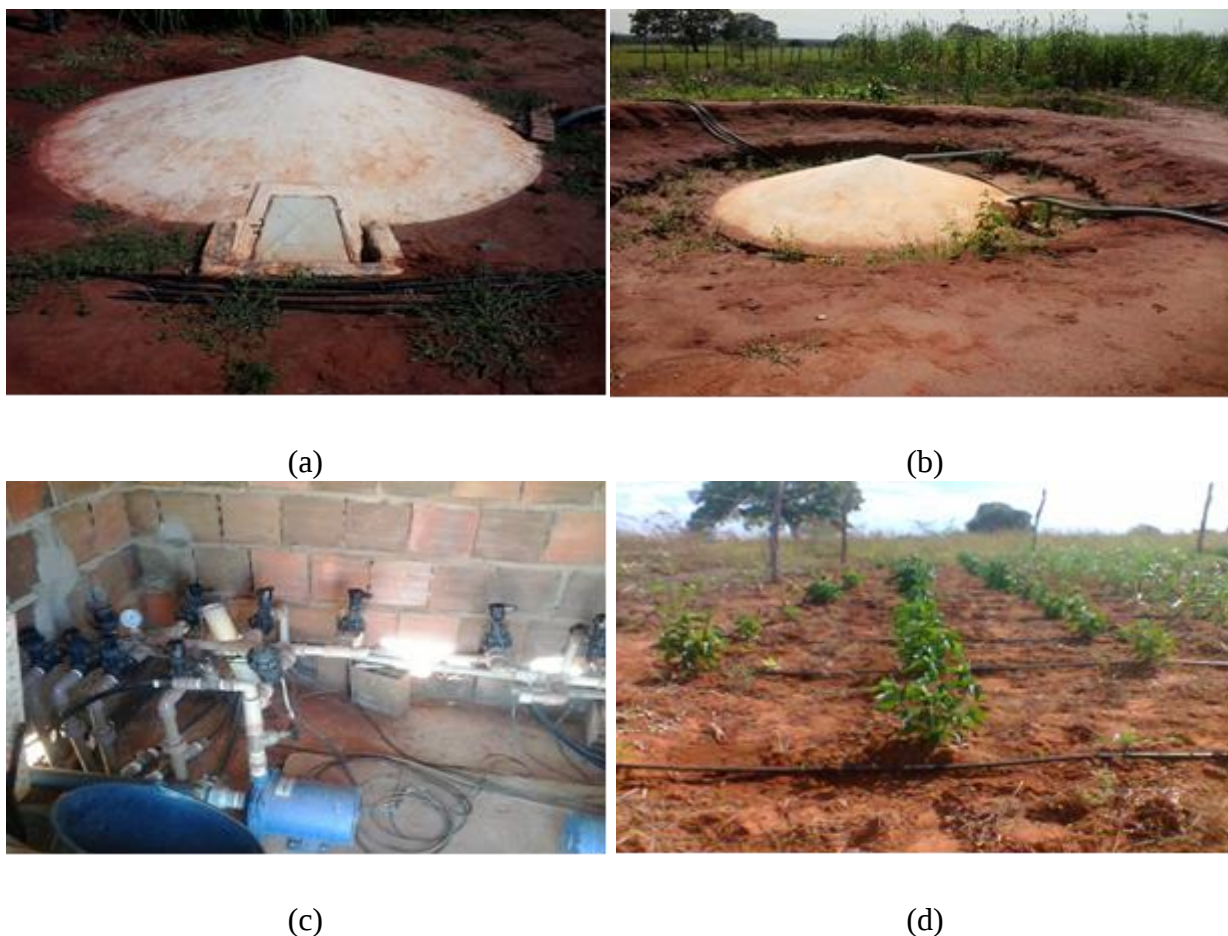
Adotou-se no dimensionamento a profundidade útil de 1,30 m, o detalhamento do sistema do sistema foi o seguinte: a) Um tanque séptico com duas câmaras, medindo de 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, tempo de detenção hidráulica de 12 horas, frequência para remoção do lodo a cada dois anos, ocupando um volume de aproximadamente 20 m^3 responsável por proporcionar a remoção de sólidos decantáveis, areia e material gorduroso da água residuária doméstica, efetuando o tratamento denominado preliminar/primário. A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a 2/3 do seu comprimento interno, ou seja, a 5,4 m do ponto de entrada da água residuária doméstica. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra foram construídas cinco aberturas, cada uma com dimensões médias de 0,20 m de largura por 0,50 m de altura; e b) Dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada uma nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, ocupando os dois um volume de $16,0 \text{ m}^3$. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes no efluente. O tempo de detenção hidráulica estimado para cada filtro foi de duas horas.

3.1.2 Sistema de aplicação das proporções de água residuária doméstica e da água de abastecimento

Esse sistema foi montado em uma área de 744 m², sendo destinada ao cultivo da pimenta malagueta. Como a água residuária doméstica foi submetida somente ao tratamento primário, ressalta-se que existe o risco microbiológico do efluente; nesse caso optou-se pela instalação de cerca ao redor da área experimental tendo restrito acesso ao público, conforme as recomendações da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006).

A aplicação das proporções de água residuária primária e da água de abastecimento foi realizada por um sistema de irrigação por gotejamento automatizado constituído de: a) Dois reservatórios de 10 m³ para armazenamento da água residuária primária e da água de abastecimento, ambos construídos com concreto armado nas dimensões de 3,5 m de diâmetro por 1,0 m de profundidade (Figuras 4a e 4b); b) Duas unidades de recalque dotadas de motobombas com potência de 1,5 cv e filtro de discos com aberturas de 130 µm (Figura 4c); c) Cinco unidades de irrigação por gotejamento para aplicação das proporções de água residuária doméstica e água de abastecimento, dotadas de emissores não-autocompensantes de 1,6 L h⁻¹ de vazão nominal e espaçamento entre emissores de 0,30 m (Figura 4d).

A água residuária doméstica tratada pelo decanto-digestor foi armazenada em reservatório de 10 m³, para posterior aplicação pelo sistema de irrigação por gotejamento. Enquanto, a água de abastecimento utilizada no experimento foi proveniente de um poço com 150 m de profundidade dotado de bomba submersa multiestágios com potência de 9,0 cv.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2013).

Figura 4 - Ilustração do sistema de irrigação por gotejamento automatizado instalado no assentamento detalhando o reservatório para água residuária doméstica primária (a), reservatório para água de abastecimento (b), unidades de recalque (c) e unidades de irrigação por gotejamento (d).

3.1.3. Classificação e caracterização do solo antes da aplicação da água residuária de origem doméstica

Nos últimos 15 anos o solo das áreas comunitárias do assentamento Milagres foi explorado com a produção intensiva do algodoeiro e as criações de bovinos e caprinos. O solo da área experimental do Assentamento Milagres foi classificado como Cambissolo TA Eutrófico Típico, conforme as normatizações da EMBRAPA (2006). Na Tabela 2 estão apresentadas as características físico-químicas do Cambissolo da área experimental nas profundidades de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m.

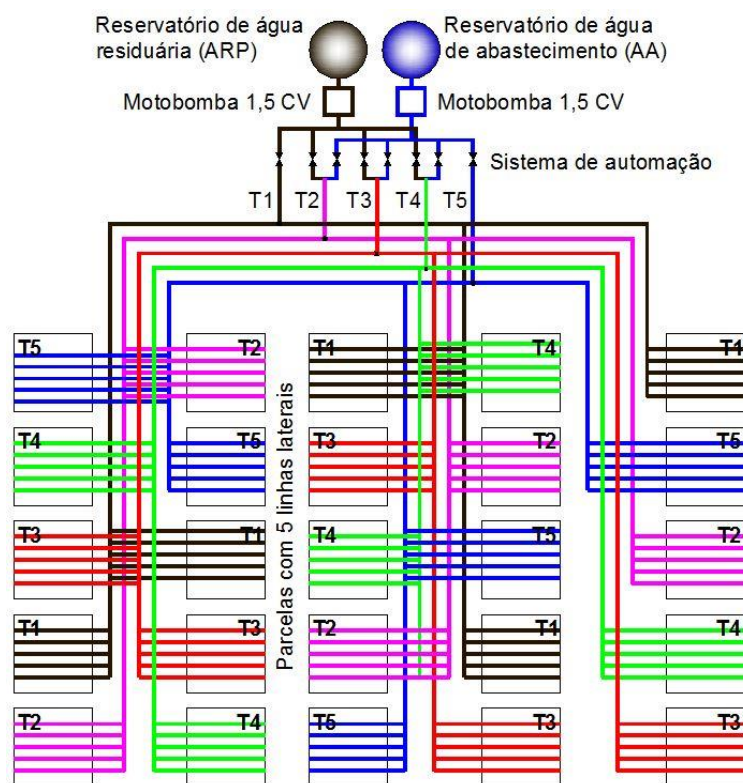
Tabela 2 - Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento antes da aplicação da água residuária de origem doméstica.

Camada no perfil do solo (m)	pH	MO g kg ⁻¹	Pmg dm ⁻³	K ⁺	Na ⁺	N	B	Cu	Zn	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ²⁺	SBcmol _c dm ⁻³	CTC	m ..%..
0 a 0,20	6,7	1,8	7,7	138	125	0,25	0,3	0,7	3,1	2,1	0,6	0,0	3,05	4,04	0
0,20 a 0,40	7,2	1,2	1,4	106	120	0,20	0,2	0,9	0,5	1,8	0,6	0,0	2,67	3,17	0
0,40 a 0,60	6,5	1,1	0,7	134	118	0,18	0,3	0,5	0,4	3,5	1,3	0,0	5,14	5,14	0
Camada no perfil do solo (m)	Densidade do solo g cm ⁻³			Areiakg kg ⁻¹		Silte		Argila		Umidade (%)			0,01 MPa	1,5MPa	
0 a 0,20	1,80			0,83		0,07		0,10		28,6			6,2		
0,20 a 0,40	1,69			0,55		0,07		0,38		18,2			12,2		
0,40 a 0,60	1,73			0,47		0,06		0,47		18,0			12,7		

Nota: MO - matéria orgânica determinada pelo método Walkley-Black (SILVA, 2009); pH em água (relação 1:2,5); P, K e Na - fósforo disponível, potássio e sódio trocável, extraídos com Mehlich 1 e determinados conforme o método definido por Defelipo e Ribeiro (1981); Ca, Mg, e Al - cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ (SILVA, 2009); SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; m - saturação por alumínio; argila determinada conforme o método da pipeta (SILVA, 2009); e densidade do solo determinada pelo método do anel volumétrico (SILVA, 2009).

3.2 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Os tratamentos consistiram na aplicação da água residuária doméstica primária (ARP) e água de abastecimento (AA) com cinco proporções (T1 - 100% de ARP e 0% de AA; T2 - 75% de ARP e 25% de AA, T3 - 50% de ARP e 50% de AA, T4 - 25% de ARP e 75% de AA e T5 - 0% de ARP e 100% de AA-testemunha), conforme apresentado na Figura 5.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2013).

Nota: T1 - 100% de ARP e 0% de AA; T2 - 75% de ARP e 25% de AA, T3 - 50% de ARP e 50% de AA, T4 - 25% de ARP e 75% de AA e T5 - 0% de ARP e 100% de AA (testemunha).

Figura 5 - Ilustração do delineamento experimental para a condução dos ensaios com a cultura da pimenta malagueta.

Para análise dos dados de solo, o experimento foi montado no esquema de parcelas subsubdivididas tendo nas parcelas os tratamentos, nas subparcelas as profundidades de amostragem (0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40m a 0,60m) e nas subsubparcelas os tempos de amostragem (0, 34, 68 e 102 dias). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com cinco repetições.

Para os dados de produtividade da pimenta malagueta o experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos citados anteriormente e cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F à de

probabilidade. As médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey à 5% de probabilidade.

3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Antes do experimento com a pimenta malagueta, o solo da área experimental foi cultivado com girassol e milho recebendo a aplicação de 371 mm das proporções de água residuária primária e água de abastecimento, no período de 20 de outubro de 2011 à 15 de dezembro de 2011. Essa área permaneceu sem atividades de pesquisa de 16 de dezembro de 2011 à 13 de março de 2012, sendo a precipitação acumulada no período inferior à 150 mm. Na Figura 6 ilustra-se a pimenta malagueta no início do ciclo e no início do período de frutificação.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do pesquisador (2013).

Figura 6 - Ilustração da pimenta malagueta no início do ciclo (a) e no início do período de frutificação.

O transplântio da pimenta malagueta ocorreu no dia 14 de março de 2012, sendo o espaçamento utilizado no experimento de 1,0 m entre fileiras de plantas por 0,30 m entre plantas. As mudas da pimenta malagueta foram obtidas de sementes realizadas em bandejas de polietileno com substrato de fibra de coco, posteriormente, armazenadas em câmara de germinação. Deve-se ressaltar que na cultura da pimenta malagueta não se utilizou adubação química nos tratamentos, inclusive na testemunha.

As parcelas experimentais com pimenta malagueta foram constituídas de cinco fileiras de plantas de 2,5 m sendo duas bordaduras e as fileiras centrais a parcela útil,

totalizando 25 parcelas de 12,5 m² (Figura 4). Foram realizadas capinas manuais para que o experimento ficasse ausente de plantas daninhas que competissem pelos nutrientes.

A necessidade hídrica da cultura pimenta malagueta foi estimada com base na evapotranspiração de referência determinada pela metodologia padronizada da FAO empregando a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), conforme apresentado na equação 1.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que;

ET₀ - evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹;

R_n - saldo de radiação à superfície, em MJ m⁻²d⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, em MJ m⁻²d⁻¹;

T - temperatura do ar a 2 m de altura, em °C;

U₂ - velocidade do vento à altura de 2 m, em m s⁻¹;

e_s - pressão de saturação de vapor, em kPa;

e_a - pressão de vapor atual do ar, em kPa;

(e_s - e_a) - déficit de pressão de vapor, em kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em kPa °C⁻¹; e

γ - constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹.

Os dados meteorológicos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) pela equação de Penman-Monteith foram a velocidade do vento, a umidade relativa do ar, a insolação, a radiação solar e a temperatura obtidos de uma estação meteorológica instalada na área experimental. Para estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c) utilizaram-se os valores de coeficiente de cultura (K_c) de 0,3, 1,22 e 0,65 para as fases inicial, intermediária e final, respectivamente, obtidos por Crisóstomo (2008) no município de Paraipaba-CE. No período experimental de 153 dias, compreendidos entre 14 de março de 2012 e 14 de agosto de 2012, totalizou-se uma lâmina bruta de irrigação de 692 mm para as proporções de água residuária doméstica e água de abastecimento, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Lâminas brutas acumuladas no período de 153 dias de aplicação das proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e água de abastecimento (AA).

Tratamentos	Lâminas (mm)		
	ARP	AA	ARP + AA
T1	692	0	692
T2	519	173	692
T3	346	346	692
T4	173	519	692
T5	0	692	692

Nota: T1 - 100% de ARP e 0% de AA; T2 - 75% de ARP e 25% de AA, T3 - 50% de ARP e 50% de AA, T4 - 25% de ARP e 75% de AA e T5 - 0% de ARP e 100% de AA.

3.4. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA E DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO

As quatro campanhas para coletas de amostras da água residuária doméstica e da água de abastecimento ocorreram no período de 25 de abril de 2012 a 25 de julho de 2012. Para a realização do plano de amostragem no sistema primário de tratamento de água residuária doméstica foram definidos dois pontos: Afluente - a montante do decanto-digestor; Efluente – a jusante do reservatório de 10 m³ destinado ao armazenamento da água residuária doméstica primária. As análises físicas, químicas e microbiológicas da água residuária doméstica e da água de abastecimento seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE; BAIRD; CLESCERI, 2012) e de Silva (2009).

Para a caracterização físico-química da água residuária doméstica, as amostras foram coletadas e preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C. Em seguida, essas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) onde foram realizadas análises de: pH, condutividade elétrica (CE) dS m⁻¹, turbidez (TB) UNT, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mg L⁻¹, Demanda Química de Oxigênio (DQO) mg L⁻¹, sólidos dissolvidos (SD) mg L⁻¹, sólidos suspensos (SS) mg L⁻¹, sódio (Na) mmol_c L⁻¹, cálcio (Ca²⁺) mmol_c L⁻¹, magnésio (Mg²⁺) mmol_c L⁻¹, ferro total (Fe) mg L⁻¹, manganês total, (Mn) mg L⁻¹, cobre (Cu) mg L⁻¹ e zinco (Zn) mg L⁻¹.

Na caracterização microbiológica da água residuária doméstica e da água de abastecimento, outras amostras foram coletadas em frascos esterilizados, posteriormente preservadas em caixa isotérmica com gelo e encaminhadas ao Laboratório de Inspeção de

Produtos de Origem Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e de coliformes termotolerantes (CTe).

3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de trado tipo holandês, em média a cada 34 dias, durante 102 dias para caracterização do pH, zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), condutividade elétrica no extrato de saturação do solo (CEs), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), fósforo (P), nitrogênio (N) e matéria orgânica (MO) seguindo as recomendações da EMBRAPA (SILVA, 2009).

Essas amostras de solo foram coletadas em cada uma das 25 parcelas sob aplicação das proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento nas camadas do perfil do solo de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40m e 0,40 a 0,60 m.

Em cada parcela foram coletas quatro amostras simples de solo, próximas a faixa molhada do sistema de irrigação por gotejamento, nas três camadas do perfil do solo. Para camada profundidade foi obtida uma amostra composta resultante da mistura das quatro amostras simples. Em seguida, as amostras compostas foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) para a realização das análises físico-químicas.

3.6 ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA PIMENTA MALAGUETA

A colheita dos frutos da pimenta malagueta foi realizada manualmente nas três fileiras centrais (parcela útil), iniciando aos 143 dias após o transplântio (DAT) e estendendo-se até 153 DAT. O início da colheita foi semelhante ao período de 140 DAT apresentado por Crisóstomo (2008) para o município de Paraipaba-CE. A produção de cada parcela foi armazenada em sacos plásticos esterilizados e foram pesados em balança digital, obtendo-se posteriormente os valores de produtividade. Deve-se ressaltar que nos momentos de colheita as pessoas envolvidas no processo utilizaram luvas descartáveis e máscaras para amenizar alergias e irritações, além de evitar a contaminação microbiológica das amostras.

3.7 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS FRUTOS DA PIMENTA MALAGUETA

Os frutos colhidos até 153 DAT foram acondicionados em sacos plásticos esterilizados e enviados imediatamente ao Laboratório de Microbiologia da empresa Plena Diagnósticos, situada em Mossoró-RN. Nesse laboratório realizaram-se as análises de identificação e quantificação do nível populacional de coliformes termotolerantes (*E. coli*) presentes nas amostras dos frutos. Para isso, pesaram-se 10 g de frutos de cada parcela, os mesmos foram triturados, colocados em solução salina a 8,5% (NaCl). Em seguida, retirou-se uma alíquota de 1 mL de cada solução salina, colocada no meio de cultura (placas de petrifilm), levadas à estufa, sob temperatura controlada a 37°C, por 48 horas. Após esse período, as placas de petrifilm foram retiradas da estufa e realizou-se a contagem, com o auxílio de uma lupa, das colônias de coliformes termotolerantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA

Comparando os valores das características físico-químicas e microbiológicas do afluente e do efluente do decanto-digestor, notou-se variação em função dos hábitos alimentares e domésticos dos assentados, como apresentado na Tabela 4. A razão de adsorção de sódio aumentou no efluente devido ao acúmulo de lodo no tanque séptico do decanto digestor.

Tabela 4 - Características físico-químicas e microbiológicas da água residuária doméstica com e sem tratamento no decanto digestor, no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012.

Características	Afluente	Efluente	Remoção (%)
pH	6,69	7,30	-
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	1,13	0,98	13
Turbidez (UNT)	497,75	31,75	94
Coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹)	2,8x10 ⁸	4,1 x10 ⁵	99,9
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	2,2x10 ⁶	2,2x10 ³	99,9
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	1982,25	121,75	94
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	824,25	30,25	96
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	1050,75	449,00	57
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	597,75	102,25	83
Fósforo total (mg L ⁻¹)	5,67	1,02	82
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	92,25	35,25	62
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	202,00	24,75	88
Nitrato na forma de nitrogênio (mg L ⁻¹)	0,64	0,12	81
Potássio (mg L ⁻¹)	68,29	47,60	30
Ferro total (mg L ⁻¹)	1,23	0,42	66
Manganês total (mg L ⁻¹)	0,13	0,09	31
Zinco (mg L ⁻¹)	0,17	0,097	43
Cobre (mg L ⁻¹)	0,03	0,02	33
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	6,99	6,76	3
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	1,37	0,96	30
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	1,15	0,87	24
Cloreto (mmol _c L ⁻¹)	2,75	2,10	24
Razão de adsorção de sódio (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	5,55	6,22	-

Nota: UNT – unidade nefelométrica de turbidez; NMP – número mais provável.

Os valores médios de pH aumentaram quando comparados afluente e efluente, provavelmente devido à acumulação de sais no decanto-digestor, possibilitando alcalinização da água residuária, corroborando com Lima et al. (2013) que também evidenciaram elevação de pH em lagoa aerada destinada ao tratamento de água residuária de laticínio. No entanto, o valor médio de pH no efluente encontra-se dentro da faixa de 5 a 9, estabelecida pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), que delimita os padrões para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos receptores. Ayers e Westcot (1999) recomendaram que o valor de pH da água de irrigação encontre-se entre 6,5 a 8,4, pois as concentrações de H^+ e OH^- podem interferir na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas, na estrutura e características do solo, como também nos sistemas de irrigação. Nesse sentido, o valor médio de pH do efluente encontrou-se dentro da faixa de 7,0 a 7,5, classificando o risco de obstrução de gotejadores como moderado (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006).

Os valores de condutividade elétrica oscilaram de 0,98 a 1,13 $dS\ m^{-1}$, valores esses inferiores ao limite de 3,0 $dS\ m^{-1}$ para reuso de água em cultivos agrícolas (CEARÁ, 2002). A condutividade elétrica média do efluente apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores dentro da faixa de 0,8 a 3,1 $dS\ m^{-1}$ (CAPRA; SCICOLONE, 1998). A remoção média de 13% da condutividade elétrica foi superior a obtida por Batista et al. (2012) com biofiltros operando com esgoto doméstico primário.

A turbidez do afluente e efluente foi de 497,75 UNT e 31,75 UNT, indicando remoção média de 94% pelo tratamento preliminar/primário proporcionado pelo decanto digestor. No trabalho realizado por Reinaldo et al. (2012) com o conjunto decanto-digestor, sistemas alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico, os valores de turbidez do efluente oscilaram de 45,0 a 47,8 UNT, inferiores aos obtidos no presente trabalho; no entanto a faixa de remoção da turbidez de 84 a 98% foi aproximado.

O nível populacional médio dos coliformes totais reduziu de $2,8 \times 10^8$ NMP por 100 mL para $4,1 \times 10^5$ NMP por 100 mL, resultado em remoção de 99,9%. Essa remoção média foi inferior ao valor de 99,9999% obtido por Moura et al. (2011) em estudo do tratamento do esgoto doméstico com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. Com o tratamento preliminar/primário o risco biológico de obstrução de emissores passou de severo (maior que 50.000 UFC por mL) para baixo (menor que 10.000 UFC por mL) conforme Nakayama, Boman e Pitts (2006).

O decanto-digestor proporcionou redução no nível populacional médio dos coliformes fecais de $2,2 \times 10^6$ NMP por 100 mL para $2,2 \times 10^3$ NMP por 100 mL, tendo remoção média de 99,9%, corroborando com Moura et. al. (2011) que obtiveram a mesma

remoção em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. Analisando as diretrizes de reuso da água na agricultura (CEARÁ, 2002), o nível populacional médio de coliforme fecais presente no efluente foi inferior à 5.000 coliformes fecais por 100 mL, podendo ser utilizado na fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus.

As concentrações médias da DQO no afluente e efluente foram de 1982,25 mg L⁻¹ e 121,75 mg L⁻¹, possibilitando remoção média de 94%. Tal remoção foi superior à remoção média de DQO de 76,68% obtida por Moura et al. (2011) com o tratamento de esgoto doméstico em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. O valor médio da DQO do efluente foi inferior ao limite de 200 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de água residuárias tratadas em corpos hídricos receptores (CEARÁ, 2002).

O decanto-digestor reduziu a DBO da água residuária de 824,25 mg L⁻¹ para 30,25 mg L⁻¹, obtendo remoção média de 96%, superior à faixa de 57 a 65% obtida por Reinaldo et al. (2012). De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011, o valor médio da DBO do efluente atende ao padrão nacional de 120 mg L⁻¹ de DBO para lançamento em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2011).

Estabelecendo comparação entre afluente e efluente do decanto-digestor, as concentrações médias dos sólidos totais foram de 1050,75 mg L⁻¹ e 449,00 mg L⁻¹, respectivamente, tendo remoção média de 57%. Essa remoção foi superior ao valor de 21,22% obtido por Moura et al. (2011) no tratamento de esgoto doméstico em tanque séptico e filtro anaeróbio. Verificou-se que a concentração média de sólidos totais no efluente foi superior ao limite de 50 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de águas residuárias tratadas em corpos hídricos (CEARÁ, 2002).

As concentrações médias de sólidos suspensos no afluente e efluente foram de 597,75 mg L⁻¹ e 102,25 mg L⁻¹, resultando em remoção média de 83% inferior à faixa de 89% a 99% obtida por Reinaldo et al. (2012) com o tratamento de esgoto doméstico em sistema composto por decanto-digestor, sistemas alagado construído e reator solar. A concentração média de sólidos suspensos presente no efluente foi superior a 100 mg L⁻¹ representando risco severo de obstrução de gotejadores conforme Nakayama, Boman e Pitts (2006).

O decanto-digestor ocasionou redução média de 82% na concentração de fósforo, tendo concentrações de 5,67 mg L⁻¹ e 1,02 mg L⁻¹ no afluente e efluente, respectivamente. Essa remoção foi semelhante ao valor de 81,32% obtido por Moura et al. (2011) em estudo com esgoto doméstico tratado com tanque séptico e filtro anaeróbio. Além disso, essa remoção média superou o limite de remoção de fósforo (35%) estabelecido por von Sperling (2011) para o conjunto tanque séptico e filtro anaeróbio.

O valor médio do nitrogênio total no afluente e efluente foi de 92,25 mg L⁻¹ e 35,25 mg L⁻¹, obtendo remoção média de 62%, superior ao valor de 59% obtido por Moura et al. (2011).

As concentrações médias de óleos e graxas no afluente e efluente foram de 202,00 mg L⁻¹ e 24,75 mg L⁻¹, resultando remoção média de 88% inferior a faixa de 95% a 99,7% obtida por Reinaldo et al. (2012). A concentração média de óleos e graxas no efluente atende ao limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de águas residuárias tratadas em corpos hídricos (BRASIL, 2011).

A remoção média de nitrato na água residuária foi de 81%, apresentando concentração média no afluente e efluente de 0,64 mg L⁻¹ e 0,12 mg L⁻¹. Essa remoção foi superior ao valor de 51% obtida por Moura et al. (2011). Deve-se ressaltar que as concentrações de nitrato no afluente e efluente não ultrapassam o limite de 10 mg L⁻¹ apresentado por Feigin, Ravina e Shalhevet (1991) para disposição de águas residuárias no solo como fertirrigação.

As concentrações de potássio, ferro, manganês, zinco, cobre, sódio, cálcio, magnésio e cloreto, apresentaram ligeira redução quando se estabelece comparação entre afluente e efluente. Constatou-se, também, que o efluente apresenta aportes consideráveis desses elementos que são importantes na fertirrigação de cultivos agrícolas.

O decanto-digestor proporcionou remoção média de 30% na concentração de potássio, enquanto no afluente e efluente os valores foram de 68,29 mg L⁻¹ e 47,60 mg L⁻¹, respectivamente. No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2006) a concentração média de potássio foi 12,2 mg L⁻¹ em esgoto doméstico terciário.

O valor médio do ferro total presente no efluente de 0,42 mg L⁻¹ encontra-se dentro da faixa de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹ estabelecida por Nakayama, Boman e Pitts (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado. Tal valor médio atende aos padrões de lançamento de água residuária tratada em corpo hídrico, onde o limite máximo é de 15,0 mg L⁻¹ (BRASIL, 2011). O decanto-digestor proporcionou remoção média de ferro total de 65,59%.

As concentrações médias de manganês no afluente e efluente foram de 0,13 mg L⁻¹ e 0,09 mg L⁻¹, alcançando remoção média de 33%. A concentração média do manganês no efluente foi inferior ao limite de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de águas residuárias em corpo hídrico receptor (BRASIL, 2011). Além disso, a concentração média de manganês no efluente foi menor que 0,20 mg L⁻¹, não representando riscos de toxicidade para cultivos agrícolas obtidos em solos ácidos. O manganês representa risco baixo de obstrução

de gotejadores, pois o seu valor médio no efluente foi inferior ao limite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006).

Analizando o zinco, notou-se que as concentrações de zinco no afluente e efluente foram de $0,17 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,097 \text{ mg L}^{-1}$, apresentando remoção média de 43,48%. A concentração média do zinco no efluente foi menor que $2,0 \text{ mg L}^{-1}$, não representando toxicidade para plantas em solos com pH superior a 6,0 e com textura fina. De acordo com Brasil (2011), o valor médio de zinco é inferior ao limite de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido para lançamento de água residuária tratada.

O cobre presente no afluente e efluente apresentou concentração de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,02 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, possibilitando remoção média de 31%. O valor médio do cobre no efluente foi inferior ao limite de $0,20 \text{ mg L}^{-1}$, não sendo tóxico para plantas em soluções nutritivas. Segundo Brasil (2011), o valor médio de cobre é inferior ao limite de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido para lançamento de água residuária tratada.

A concentração média de sódio no efluente foi superior à $1,93 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ obtida por Batista, Soares e Santos (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário. Segundo Ayers e Westcot (1999), concentrações de sódio superior a 3,0 e $9,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ fornecidas via irrigação por aspersão e superfície, respectivamente, podem reduzir o desenvolvimento e a produção de cultivos agrícolas sensíveis.

O valor médio do cálcio no efluente foi maior que $0,37 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ obtido por Batista, Soares e Santos (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário.

De acordo com Capra e Scicolone (1998), o valor médio inferior a $12,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo.

A concentração média do magnésio no efluente foi igual ao valor de $0,87 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ obtido por Batista, Soares e Santos (2006) com esgoto doméstico terciário. O valor médio do magnésio é inferior ao limite de $2,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

O valor médio de cloreto no efluente foi menor que $3,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ não representando risco de toxicidade aos cultivos agrícolas, conforme sugerido por Ayers e Westcot (1999). A toxicidade do cloreto aos cultivos agrícola está associada a não retenção e adsorção pelas partículas do solo, facilitando o seu deslocamento com água do solo, porém é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração; e se sua concentração excede a tolerância da planta, produzem-se danos como necroses e queimaduras nas folhas (AYERS; WESTCOT, 1999).

A razão de adsorção de sódio foi maior que o valor de $2,54 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$ apresentado por Batista, Soares e Santos (2006) em estudo com esgoto doméstico terciário. Analisando de forma conjunta as características condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio, verificou-se que o efluente representa risco ligeiro a moderado para a redução de infiltração, devido à dispersão das argilas que causa selamento do espaço poroso (AYERS; WESTCOT, 1999).

Utilizando a classificação proposta pelo *U. S. SALINITY LABORATORY STAFF*, apresentada por Bernardo, Soares e Mantovani (2008), o efluente pode ser classificado como de salinidade alta, C3 (podendo ser usada somente em plantas com boa tolerância aos sais, não aplicar em solos com deficiência de drenagem) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos).

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO

A água de abastecimento aqui utilizada foi proveniente de um poço localizado no assentamento. A mesma não precisou de nenhum tipo de tratamento, uma vez que possui qualidade quase mineral.

As características físico-químicas e microbiológicas desta água, no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012, estão apresentadas na Tabela 5. De acordo com Nakayama, Boman e Pitts (2006), o valor médio do pH menor que 7,0 apresenta baixo risco de obstrução de gotejadores. O valor médio do pH da água de abastecimento, durante o período experimental, foi de 6,92 enquadrando-se na faixa de 6,0 a 9,5 estabelecido pela Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004) para potabilidade da água.

Com relação à condutividade elétrica da água de abastecimento, o seu valor médio ($0,08 \text{ dS m}^{-1}$) atendeu ao padrão de potabilidade pela Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004), sendo inferior ao limite de $1,57 \text{ dS m}^{-1}$. Além disso, a condutividade elétrica média da água de abastecimento indica baixo risco de obstrução de gotejadores, por ser inferior ao limite de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006).

A turbidez da água de abastecimento apresentou valor médio de 2,60 UNT, sendo inferior ao limite de 5,0 UNT apresentado pela Portaria nº 518/2004 para potabilidade da água (BRASIL, 2004).

Os níveis populacionais de coliformes totais e termotolerantes foram ausentes, novamente tais características atendem ao padrão de potabilidade da água estabelecido pela Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004). Além do mais, a água de abastecimento não representa

riscos biológicos de obstrução de gotejadores (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006) e de contaminação microbiológica quando da irrigação de cultivos agrícolas (CEARÁ, 2002).

Tabela 5 - Características físico-químicas e microbiológicas da água de abastecimento, no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012.

Características	Média
pH	6,92
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,08
Turbidez (UNT)	2,60
Coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹)	0
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	0
Nitrato na forma de nitrogênio (mg L ⁻¹)	0
Potássio (mg L ⁻¹)	10,40
Ferro total (mg L ⁻¹)	0,21
Manganês total (mg L ⁻¹)	0,05
Zinco (mg L ⁻¹)	0,13
Cobre (mg L ⁻¹)	0,02
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	0,42
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	0,89
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	0,74
Cloreto (mmol _c L ⁻¹)	1,70
Razão de adsorção de sódio (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	0,49

Nota: UNT - unidade nefelométrica de turbidez; NMP - número mais provável.

A ausência de nitrato na água de abastecimento atende ao limite de 10 mg L⁻¹ da Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004) para potabilidade da água. Para irrigação de cultivos agrícolas, a água de abastecimento, também, não representa riscos (AYERS; WESTCOT, 1999). Enquanto, a concentração média de potássio foi de 10,40 mg L⁻¹.

As concentrações médias de ferro e manganês foram de 0,21 mg L⁻¹ e 0,05 mg L⁻¹, respectivamente. Segundo Nakayama, Boman e Pitts (2006), o ferro encontra-se na faixa de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹, classificando o risco de obstrução de gotejadores como moderado; enquanto a concentração média do manganês foi menor que 0,1 mg L⁻¹, sendo baixo o risco de obstrução de gotejadores. O valor médio do ferro foi inferior a 5,0 mg L⁻¹ não contribuindo para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio (AYERS; WESTCOT, 1999). Os referidos autores relatam que concentrações de manganês menores que 0,20 mg L⁻¹ não ocasionam problema de toxicidade à plantas. Em relação à potabilidade da água, o ferro e o manganês são características organolépticas, pois alteram sua coloração. De acordo com

Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004), as concentrações média de ferro e manganês foram inferiores aos limites de 0,3 e 0,1 mg L⁻¹, indicando a potabilidade dessa água.

As concentrações médias de cobre e zinco foram de 0,13 mg L⁻¹ e 0,02 mg L⁻¹, respectivamente. Tais valores foram inferiores aos limites de 2,0 mg L⁻¹ de Cu e 5,0 mg L⁻¹ de Zn estabelecidos na Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004). Segundo Ayers e Westcot (1999), concentrações de cobre superiores à 0,2 mg L⁻¹ pode causar toxicidade em plantas cultivadas em soluções nutritivas. Além disso, concentrações de zinco superiores à 2,0 mg L⁻¹ também causam toxicidade em plantas, porém em solo com pH superior a 6,0 e de textura fina, tal efeito é minimizado.

O teor médio de sódio no valor de 0,42 mmol_c L⁻¹ evidencia a potabilidade dessa água, por ser inferior ao limite de 8,7 mmol_c L⁻¹ estabelecido na Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004). Da mesma forma tal característica não impede a recomendação dessa água para irrigação de cultivos agrícolas por seu valor médio é inferior a 3,0 mmol_c L⁻¹ (AYERS; WESTCOT, 1999).

Para as características cálcio e magnésio, os valores médios foram de 0,89 mmol_c L⁻¹ e 0,74 mmol_c L⁻¹, respectivamente. Segundo Capra e Scicolone (1998), as concentrações médias do cálcio e magnésio presentes representam baixo risco de obstrução de gotejadores.

A concentração média de cloreto (1,70 mmol_c L⁻¹) atende as recomendações propostas por Ayers e Westcot (1999) para irrigação de cultivos agrícolas via sistemas de irrigação por superfície e aspersão. Além disso, a concentração média de cloreto atende as recomendações de potabilidade da água (BRASIL, 2004).

O valor médio da razão de adsorção de sódio foi de 0,49 (mmol_c L⁻¹)^{0,5}. Fazendo-se o uso da classificação proposta pelo U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, apresentada por Bernardo, Soares e Mantovani (2008), a água pode ser classificada como de salinidade baixa, C1 (podendo ser utilizada na irrigação da maioria das culturas com pouca probabilidade de ocasionar salinidade) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos). No entanto, a água apresenta risco severo de redução da infiltração de água no solo devido aos baixos valores de condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio (AYERS; WESTCOT, 1999).

4.3 APORTE DE NUTRIENTES APLICADOS AO SOLO PELA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Com base na concentração dos macro e micronutrientes e no volume de esgoto doméstico tratado e da água de abastecimento aplicado no solo durante 153 dias, estimou-se o aporte de nutrientes, como apresentado na Tabela 6.

No tratamento T1 (somente água residuária doméstica primária) ocorreram os maiores aportes de nutrientes, com exceção do cálcio, magnésio, zinco e cobre. Nesse tratamento os aportes foram de 244 kg de nitrogênio por hectare, 7 kg de fósforo por hectare, 329 kg de potássio por hectare, 133 kg de cálcio por hectare, 73 kg de magnésio por hectare, 1075 kg de sódio, 2,9 kg de ferro por hectare, 0,6 kg de manganês, 0,7 kg de zinco 0,1 kg de cobre. Entretanto, os menores aportes de nutriente ocorreram no tratamento T5 somente com água de abastecimento.

Deve-se ressaltar que os aportes de sódio nos tratamento T1 a T4 foram elevados oscilando de 278 a 1075 kg por hectare. A acumulação de sódio pode afetar a estrutura do solo por meio da dispersão das argilas, reduzindo aeração e infiltração de água, resultando na sua degradação.

Segundo a ABCSEM (2011), a pimenta malagueta, com produtividade de 12 toneladas por hectare, requer na adubação de fundação de 40 a 50 kg de nitrogênio por hectare, de 180 a 293 kg de fósforo por hectare e de 108 a 166 kg de potássio por hectare. Enquanto, na adubação de cobertura recomenda-se de 100 a 120 kg de nitrogênio por hectare, de 23 a 27 kg de fósforo por hectare e de 83 a 124 kg de potássio por hectare. Os tratamentos T1 a T3 atendem as demandas nutricionais de nitrogênio e potássio, sem a necessidade da complementação com adubos químicos. Enquanto, o fósforo necessita ser complementado com adubação química para fertirrigação com água residuária doméstica primária.

Tabela 6 - Aporte de nutrientes aplicados ao solo via irrigação por gotejamento referente às proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	kg ha ⁻¹									
T1	244	7	329	133	73	1075	2,9	0,6	0,7	0,1
T2	183	5	277	150	80	834	2,8	0,6	0,9	0,2
T3	122	4	184	100	54	556	1,9	0,4	0,5	0,1
T4	61	3	92	50	26	278	0,9	0,3	0,3	0,1
T5	-	-	39	60	33	36	0,8	0,2	0,5	0,1

Nota: T1 - 100% de ARP e 0% de AA; T2 - 75% de ARP e 25% de AA, T3 - 50% de ARP e 50% de AA, T4 - 25% de ARP e 75% de AA e T5 - 0% de ARP e 100% de AA (testemunha).

4.4 EFEITOS DE DISTINTAS PROPORÇÕES DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CAMBISSOLO

4.4.1 Alteração nos valores de pH, Zn, Cu e Mn

Houve aumento dos valores de pH, Zn, Cu e Mn nas maiores proporções de água residuária doméstica primária em relação às de água de abastecimento (Figura 7).

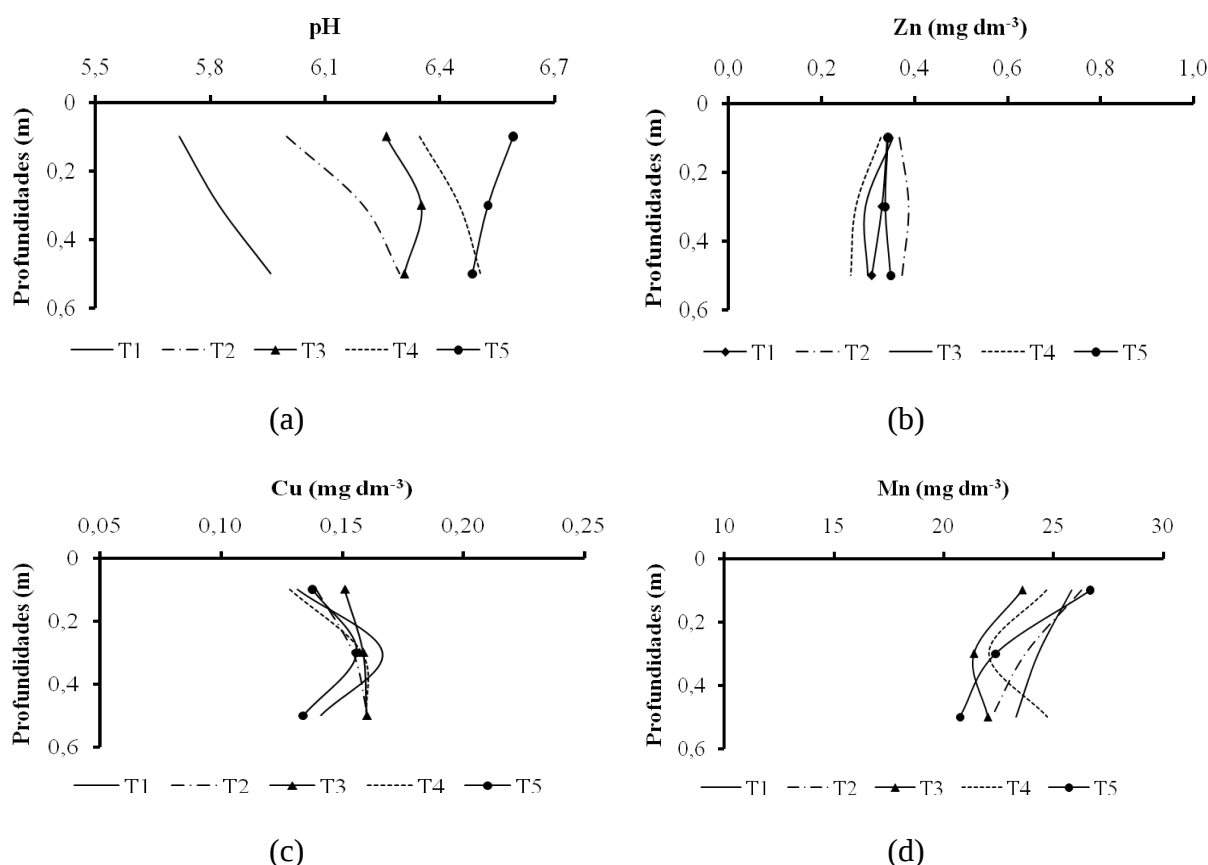
Deve-se ressaltar que os valores de pH dos solos sob os tratamentos T1 a T5 encontram-se dentro das faixas de 5,5 a 6,0 e de 6,1 a 7,0 proposta pela CFSEMG (1999), sendo classificados agronomicamente como bom e alto, respectivamente. As amostras de solo coletas apresentaram redução nos valores de pH com o aumento da proporção de água residuária doméstica primária, provavelmente devido a mineralização do nitrogênio orgânico que resultou na liberação de íons H^+ . Nos tratamentos T1, T2 e T3 foram observadas as maiores reduções de pH, enquanto nos tratamentos T4 e T5 foram encontrados os maiores valores de pH (Figura 7a). Na profundidade de 0,10 m foram observados os menores valores de pH evidenciando ligeiro aumento de pH com a profundidade, com exceção do tratamento T5 que recebeu somente aplicação da água de abastecimento. Esses resultados corroboram com os obtidos por Boeira, Ligo e Dynia (2002) que constaram reduções lineares nos valores de pH, em Latossolo incubado durante 105 dias, mediante distintas dosagens de lodo de esgoto, nessas condições esse atributo afeta a disponibilidade de nutrientes e de metais pesados às plantas. Comportamento semelhante também foi apresentado por Lima et al. (2013), onde no solo com a aplicação de água residuária de laticínios, ocorreu um ligeiro aumento do pH com a profundidade do solo, devido, provavelmente, à lixiviação de sais pela elevada taxa de aplicação do efluente. Duarte et al. (2008) verificaram que o tipo de tratamento da água residuária interfere nos valores de pH dos solos fertirrigados com efluentes.

Os teores de zinco no solo apresentaram valores semelhantes ao longo das profundidades, enquanto houve ligeiro incremento no tratamento T2, corroborando com Al-Nakshabandi et al. (1997) que também obtiveram aumento do zinco em solo irrigado com esgoto doméstico tratado. Os teores de zinco no solo oscilaram de 0,28 a 0,39 $mg\ dm^{-3}$, valores esses inferiores ao limite de 0,40 $mg\ dm^{-3}$, recebendo a classificação agrônômica muito baixa (CFSEMG, 1999). Além disso, esses valores foram inferiores ao limite de 300 $mg\ kg^{-1}$ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009) para prevenção da

contaminação do quanto à presença de substâncias químicas. Na Figura 7b evidenciou-se que os teores de zinco foram maiores no tratamento T2 devido ao maior aporte de zinco oriundo da mistura da água residuária doméstica primária com a água de abastecimento (Tabela 6). Resultados semelhantes foram apresentados por Freitas et al. (2004) que obtiveram aumento de 860% nos teores de zinco de solo fertirrigado com água residuária da suinocultura em relação a solo irrigado com água de abastecimento. Semelhantemente Azevedo e Oliveira (2005) notaram aumento nos teores de zinco no solo que recebia a aplicação de água residuária.

Na Figura 7c observou-se que os teores de cobre aumentaram em todos os tratamentos quando as profundidades 0,10 e 0,30 m são comparadas. Essa fato se deve ao efeito da lixiviação e do menor teor de argila na profundidade de 0,10 m ($0,10 \text{ kg kg}^{-1}$ apresentado na Tabela 2), enquanto na profundidade de 0,50 m os teores de cobre reduzem em função adsorção pela argilas presentes em maior quantidade ($0,47 \text{ kg kg}^{-1}$ apresentado na Tabela 2). Os valores de cobre variaram de $0,13$ a $0,17 \text{ mg dm}^{-3}$, recebendo a classificação agrônômica muito baixa pois tais valores são inferiores ao valor limite de $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (CFSEMG, 1999). Ressalta-se que esses valores foram inferiores o limite de 60 mg kg^{-1} estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009) para prevenção da contaminação do quanto à presença de substâncias químicas. No trabalho realizado por Freitas et al. (2004) constatou-se aumento considerável da concentração de cobre em solo fertirrigado com água residuária da suinocultura, devido a presença desse nutriente na ração dos suínos, que por apresentarem baixa eficiência alimentar liberam grandes aportes nos dejetos.

Os valores de manganês oscilaram de $21,4$ a $26,7 \text{ mg dm}^{-3}$, sendo superiores ao limite de 12 mg dm^{-3} estabelecido por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), recebendo, assim, a classificação agrônômica alta. A Resolução CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009) não apresenta valores de prevenção da contaminação por manganês. Houve ligeiro aumento dos teores de manganês na camada superficial do solo em todos os tratamentos, além de tendência de redução desses valores com as profundidades (Figura 7d). Segundo Novais et al. (2007), a disponibilidade de manganês no solo depende tanto do pH quanto do potencial redox, onde, para valores de pH superiores a 5,5 o manganês torna-se menos disponível na solução do solo e para as plantas.



Nota: T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de ARP e 25% de AA); T3 (50% de ARP e 50% de AA); T4 (25% de ARP e 75% de AA); e T5 (0% de ARP e 100% de AA).

Figura 7 - Valores de pH (a), Zn (b), Cu (c) e Mn (d) do solo irrigado com as proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.

4.4.2 Alteração nos valores de condutividade elétrica (CE), Ca, Mg e Na

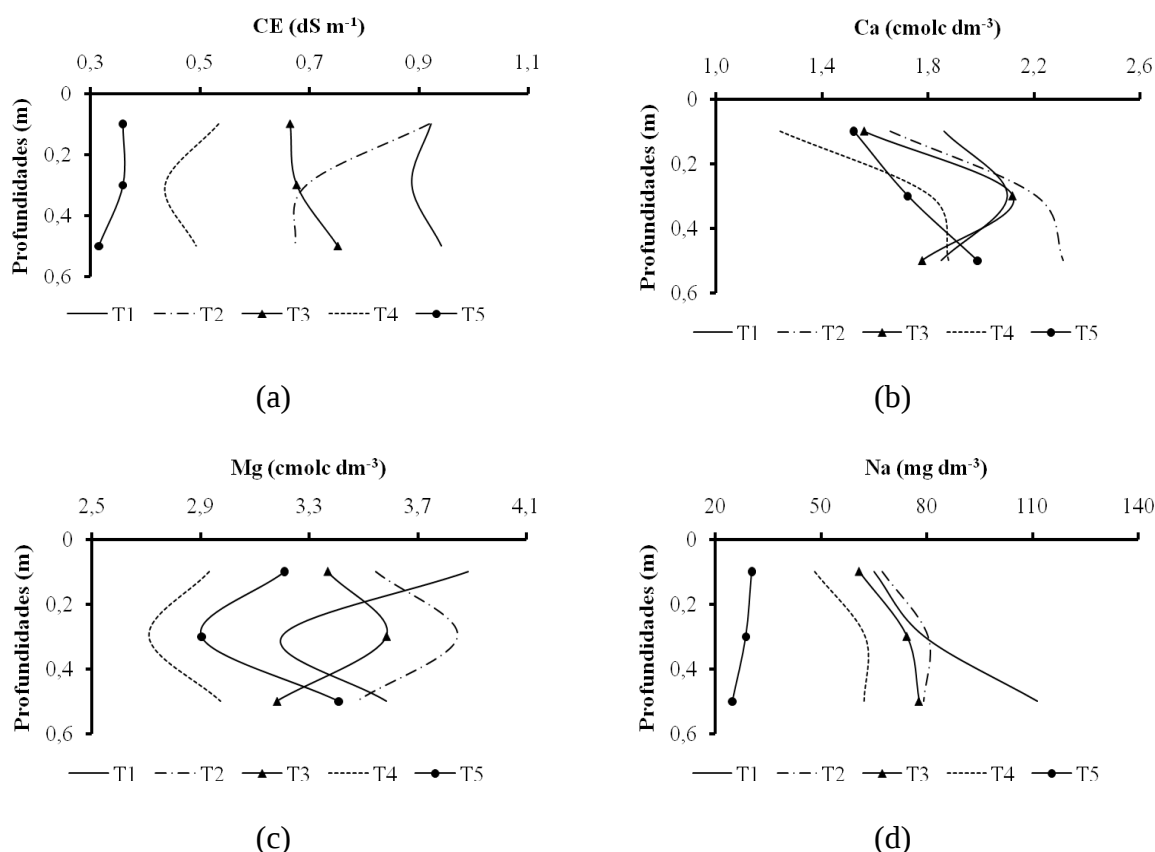
Houve aumento da condutividade elétrica do extrato saturado do solo quando se estabelece comparação entre o tratamento T5 e os demais (Figura 8a). Os valores de condutividade elétrica oscilaram de 0,3 a 0,9 dS m⁻¹, indicando risco de salinização de ligeiro a moderado (AYERS; WESTCOT, 1999). Na camada superficial (0,10 m) ocorreu o aumento da condutividade elétrica no solo dos tratamentos T1, T3, T4 e T5, enquanto no tratamento T3 houve lixiviação de sais na profundidade de 0,50 m. No Trabalho desenvolvido por Melo et al. (2005) notou-se que o incremento nas dosagens da água residuária do processamento da mandioca proporcionou aumento nos valores da condutividade elétrica do extrato saturado de Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolo Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

Os teores de cálcio no solo oscilaram de 1,2 a 2,3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, os quais se enquadram na faixa de 1,21 a 2,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ estabelecido pela CFSEMG (1999), classificando agronomicamente esse solo com médio. Na Figura 8b houve tendência de aumento nas concentrações de cálcio quando se compara a profundidade de 0,10 m com as demais, indicando a ocorrência de lixiviação. A elevação das concentrações de cálcio nas profundidades de 0,30 m e de 0,50 m pode ser atribuída ao maior aporte de elemento químico pela combinação água residuária doméstica primária e água de abastecimento (Tabela 6), corroborando com Lima et al. (2013). Esses resultados corroboram com os obtidos por Melo et al. (2005) que notaram a elevação nos teores de cálcio de três tipos de solo aumentando-se as dosagens de água residuária do processamento da mandioca. Em geral, os tratamentos com água residuária proporcionaram aumento nas concentrações de cálcio no solo quando comparado ao tratamento T5, com exceção do tratamento T4 nas profundidades de 0,10 e 0,50 m e dos tratamentos T1 e T3 na profundidade de 0,50 m. Azevedo e Oliveira (2005), também, notaram aumento dos teores de cálcio em solo fertirrigado com esgoto doméstico tratado.

As concentrações de magnésio no solo, sob as distintas dosagens de água residuária, variaram de 2,7 a 3,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 8c); valores esses superiores ao limite de 1,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ estabelecido pela CFSEMG (1999) que classifica agronomicamente o solo como muito bom. Constatou-se que o incremento nas proporções de água residuária aumentou a concentração de magnésio na profundidade de 0,10 m, com exceção do tratamento T4. Esses resultados corroboram Melo et al. (2005) que evidenciaram elevação dos teores de magnésio em Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolo Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico fertirrigados com distintas doses de água residuária do processamento da mandioca. No trabalho desenvolvido por Cabral et al. (2011) houve aumento linear da concentração de magnésio no solo em função das doses de água residuária da suinocultura. Na profundidade de 0,3 m, houve lixiviação do magnésio nos solos sob os tratamentos T2 e T3. Entretanto, a maior concentração de magnésio ocorreu na profundidade 0,10 m do tratamento T1.

Ocorreu incremento das concentrações de sódio no solo aumentando-se as proporções de água residuária, sendo os maiores valores de sódio constatados nos tratamentos T1 e T2, enquanto no tratamento T5 (testemunha) foram observados os menores teores de sódio (Figura 8d). Os valores de sódio variaram de 24,8 a 111,3 mg dm^{-3} quando se compararam os tratamentos T1 a T5. Dal Bosco et al. (2008) verificaram que após oito anos de aplicação de água residuária de suinocultura no solo o teor de sódio foi duplicado na camada de 0 a 0,3 m, enquanto que o incremento de sódio na camada de 0,3 a 0,6 m foi apenas 25%.

Já no trabalho desenvolvido por Melo et al. (2005) houve relação linear da concentração de sódio nos solos estudados com as doses de aplicação de água residuária do processamento da mandioca. Por outro lado, Medeiros et al. (2005) não evidenciaram lixiviação de sódio no solo irrigado com água residuária, porém as concentrações de sódio no solo em resposta à adoção da água residuária, foram superiores ao manejo convencional, em função da concentração deste elemento na água residuária.



Nota: T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de ARP e 25% de AA); T3 (50% de ARP e 50% de AA); T4 (25% de ARP e 75% de AA); e T5 (0% de ARP e 100% de AA).

Figura 8 - Valores de CE (a), Ca (b), Mg (c) e Na (d) do solo irrigado com as proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.

4.4.3 Alteração nos valores de K, P, N e matéria orgânica (MO)

As maiores concentrações de potássio ocorreram no tratamento T1 para as três profundidades estudadas, devido ao maior aporte desse nutriente na água residuária (Figura 9a). Enquanto, no trabalho desenvolvido por Medeiros et al. (2005) notaram que no manejo convencional, as concentrações de potássio foram maiores que o água residuária filtrada e devido esta concentração, houve lixiviação para as camadas inferiores, ocasionadas pela

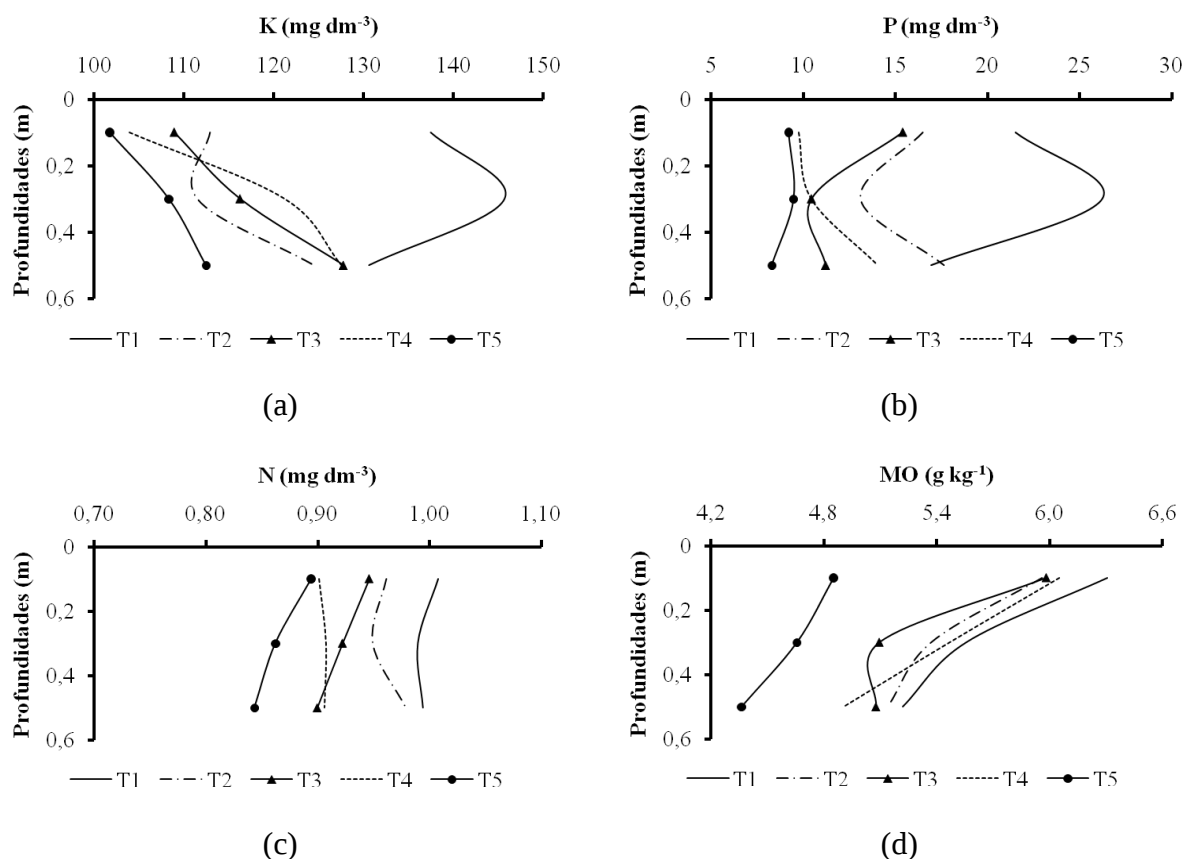
precipitação. Houve aumento na concentração de potássio com a elevação nas dosagens de água residuária divergindo do trabalho desenvolvido por Cabral et al. (2011) que obtiveram alteração quadrática dos teores de potássio no solo em função das doses de água residuária da suinocultura. Os teores de potássio oscilaram de 101,7 a 145,7 mg dm⁻³ recebendo classificação agrônômica boa (71 a 120 mg dm⁻³) e muito boa (> 120 mg dm⁻³) conforme as recomendação da CFSEMG (1999).

Constatou-se, na Figura 9b, que quanto maior a dosagem de água residuária maior a concentração de fósforo no solo em todas as profundidades estudadas (Figura 28). Os maiores teores de fósforo ocorreram no tratamento T1, enquanto os menores no tratamento T5 (testemunha). Os resultados encontrados, nesse trabalho, estão de acordo Cabral et al. (2011) que verificaram aumento linear na concentração de fósforo no solo em função do aumento das doses de água residuária de suinocultura. Azevedo e Oliveira (2005), também, constataram aumento na concentração de fósforo do solo fertirrigação com água residuária. As concentrações de fósforo no solo variaram de 8,3 a 26,2 mg dm⁻³ recebendo a classificação de muito baixo (≤ 10 mg dm⁻³ para solos com 10% de argila) a muito bom (> 18 mg dm⁻³ para solos com menos de 38% de argila) conforme a CFSEMG (1999).

Verificou-se que os teores de nitrogênio oscilaram de 0,84 a 1,01 mg dm⁻³ e foram maiores no tratamento T1 em todas as profundidades estudadas, enquanto no tratamento T5 (testemunha) ocorreram os menores teores de nitrogênio (Figura 9c). Houve incremento de nitrogênio no solo pela aplicação da água residuária, porém as alterações, ao longo do perfil do solo, foram muito pequenas. Azevedo e Oliveira (2005) evidenciaram que aumento significativo no teor de nitrogênio do solo fertirrigado com água residuária em relação ao solo sob manejo convencional. Resultados semelhantes foram obtidos por Dal Bosco et al. (2008) que obtiveram após oito anos de aplicação de água residuária de suinocultura no solo elevação do teor de nitrogênio nas camadas de 0 a 0,30 m e de 0,30 a 0,60 m. Já no trabalho conduzido por Medeiros et al. (2005) não foram detectados aumentos nas concentrações de nitrogênio em resposta ao tipo de manejo adotado.

Houve incremento de matéria orgânica no solo dos tratamentos T1 a T4 nas três profundidades estudadas, enquanto o tratamento T5 (testemunha) foi o que apresentou os menores teores de matéria orgânica (Figura 9d). Notou-se, também, que os maiores teores de matéria orgânica ocorreram na profundidade de 0,10 m. Dal Bosco et al. (2008) verificaram que os teores de matéria orgânica dos solos com oito anos de aplicação de água residuária de suinocultura (ARS) e sem aplicação de ARS na camada de 0 a 0,30 m foram de 25,49 e 20,57 g kg⁻¹, respectivamente. Entretanto, no trabalho desenvolvido por Azevedo e Oliveira (2005)

não ocorreram alterações significativas nos teores de matéria orgânica solo quando se comparou os solos com e sem aplicação de água residuária. Os teores de matéria orgânica no solo oscilaram de 4,4 a 6,3 g kg⁻¹, sendo inferiores ao valor limite de 7,0 g kg⁻¹ apresentado pela CFSEMG (1999) recebendo a classificação agrônômica de muito baixa.

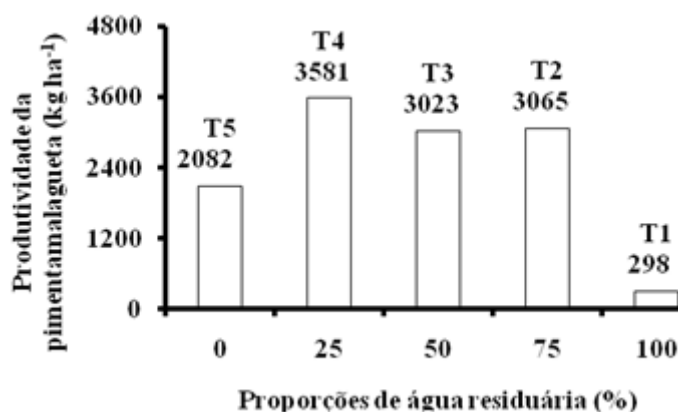


Nota: T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de ARP e 25% de AA); T3 (50% de ARP e 50% de AA); T4 (25% de ARP e 75% de AA); e T5 (0% de ARP e 100% de AA).

Figura 9 - Valores de K (a), P (b), N (c) e MO (d) do solo irrigado com as proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.

4.5 EFEITOS DAS PROPORÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO NA PRODUTIVIDADE DA PIMENTA MALAGUETA

A colheita dos frutos da pimenta malagueta foi encerrada 153 dias após o transplântio das mudas, no primeiro ano de produção (2012). Na Figura 10 constatou-se que houve diferenças estatísticas na produtividade da pimenta malagueta sob o tratamento T1 em relação aos tratamentos T2, T3, T4 e T5, não havendo diferença estatística entre os tratamentos T2, T3, T4 e T5.



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada proporção de esgoto doméstico tratado não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Figura 10 - Valores médios da produtividade da pimenta malagueta em função das proporções de água residuária doméstica primária e água de abastecimento.

A maior produtividade foi alcançada no tratamento T4 (3851 kg por hectare) 1.101,68% mais produtivo que o tratamento que obteve a menor produtividade: T5 (298 kg por hectare), devido provavelmente ao maior aporte de nitrogênio e potássio que estimulou o crescimento vegetativo, interferindo nos estádios de florescimento e frutificação da pimenta malagueta.

Comparando-se apenas os tratamentos nos quais foram usadas diferentes proporções de AA (T2 a T5), percebemos em T3 e T2 variações na produtividade de 45,20% e 47,21% em relação à T5 (menos produtivo). Já no caso de T4 (mais produtivo) aumento de 72% na produção do fruto em relação à T5.

Segundo Raij (1991), a adubação nitrogenada em excesso pode causar um desenvolvimento vegetativo excessivo, em detrimento da produção de tubérculos ou raízes, proporcionar folhas mais suculentas e susceptíveis a doenças, reduzir a produção de frutos e o teor de açúcares e predispor a cultura ao acamamento. Ainda, segundo este autor, a adubação nitrogenada é complexa e deve ser feita com cuidado, pois se, de um lado, a falta de nitrogênio pode limitar seriamente a produção, por outro, o excesso pode reduzi-la.

Vilela, Ribeiro e Madail (2008) relataram que, no primeiro ano de produção da pimenta malagueta, o nível de produtividade alcança o valor de 4000 kg por hectare de pimenta fresca no manejo convencional, superior às produtividades dos tratamentos T2, T3, T4 e T5 do presente trabalho; enquanto no segundo ano a produtividade reduz para 2.400 kg por hectare.

4.6 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS FRUTOS DA PIMENTA MALAGUETA PRODUZIDOS COM PROPORÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA E ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Nos frutos da pimenta malagueta de todos os tratamentos (T1 a T5) houve a presença de coliformes termotolerantes (Tabela 7), provavelmente pela ação dos ventos e de insetos que transportaram os agentes patogênicos contidos na água residuária doméstica primária aplicada ao solo via sistema de irrigação por gotejamento.

Tabela 7 - Valores médios do nível populacional de coliformes termotolerantes nos frutos da pimenta malagueta das parcelas irrigadas com as proporções de água residuária primária e água de abastecimento, após período de 153 dias de irrigação das parcelas.

Indicador microbiológico	Tratamentos				
	T5	T4	T3	T2	T1
Coliformes termotolerantes (UFC g ⁻¹)	1,0x10 ²	3,8x10 ²	4,2x10 ²	1,1x10 ⁵	2,3x10 ⁵

Nota: T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de ARP e 25% de AA); T3 (50% de ARP e 50% de AA); T4 (25% de ARP e 75% de AA); e T5 (0% de ARP e 100% de AA). UFC - unidades formadoras de colônias.

Os maiores níveis populacionais de coliformes termotolerantes presentes nos frutos da pimenta malagueta ocorreram nos tratamentos T1 e T2, devido à maior proporção de água residuária doméstica primária em relação à de água de abastecimento. Esse resultado difere do obtido por Oliveira et al. (2013) que ao irrigarem moranga com água residuária doméstica tratada não identificaram a presença de coliformes termotolerantes na casca da curcubitácia. Nesse sentido, Sadowski et al. (1978a) comprovaram que o nível populacional de *Escherichia coli* na casca do pepino decresceu de 10² bactérias por grama para 1 bactéria por grama em somente oito dias. O clima quente e seco da região e a forma do pepino foram os fatores responsáveis pelo tempo de sobrevivência da *Escherichia coli*. Em outro experimento Sadowski et al. (1978b) verificaram que a contaminação microbiológica de vegetais (pepino e berinjela) fertirrigados com esgoto sanitário tratado, aplicado via sistema de irrigação por gotejamento, foi 38 vezes maior que os vegetais irrigados com água limpa. Deve-se ressaltar que os níveis populacionais de coliformes presentes nos frutos da pimenta malagueta dos tratamentos T1 a T4 oscilaram de 2,3x10⁵ a 3,8x10² UFC por grama, superiores ao limite de 1 x 10² UFC g⁻¹ estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001) como padrão microbiológico de alimentos para consumo.

Somente os frutos da pimenta malagueta do tratamento T5 apresentaram níveis populacional de coliformes termotolerantes igual à 1×10^2 UFC g⁻¹ em conformidade com os padrões microbiológicos de alimentos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001). Al-Lahham et al. (2003) analisou a contaminação microbiológica de frutos do tomateiro fertirrigados com esgoto sanitário tratado via sistema de irrigação por sulcos. Os níveis populacionais de coliformes fecais, na casca do fruto, oscilaram de 1,3 a 3 UFC por grama, porém nenhum coliforme fecal foi detectado na polpa do fruto.

5 CONCLUSÕES

O decanto-digestor apresentou, durante o período experimental, bom desempenho com remoções superiores a 80% da turbidez, coliformes totais, coliformes termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, sólidos suspensos, fósforo, óleos e graxas e nitrato.

O efluente do decanto digestor apresenta características (pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e óleos e graxas) que atendem ao padrão para lançamento em corpo hídrico, entretanto por se tratar de tratamento em nível primário, os níveis populacionais elevados dos coliformes termotolerantes indicam risco microbiológico da água residuária quando utilizada para irrigação de cultivos agrícolas consumidos *in natura*.

No cambissolo os valores de pH, condutividade elétrica do extrato de saturação, cálcio, magnésio, sódio, potássio, fósforo, nitrogênio e matéria orgânica aumentaram com as proporções de água residuária doméstica primária em relação às de água de abastecimento.

Os elementos traço zinco, cobre e manganês apresentaram ligeiro incremento com as proporções de água residuária doméstica primária em relação às de água de abastecimento, entretanto não representando risco ambientais.

Os maiores níveis de produtividade da pimenta malagueta ocorreram nos tratamentos T2 (75% de água residuária doméstica primária-ARP e 25% de água de abastecimento-AA); T3 (50% de ARP e 50% de AA); T4 (25% de ARP e 75% de AA).

Nos tratamentos T1 (100% de ARP e 0% de AA), T2 (75% de ARP e 25% de AA), T3 (50% de ARP e 50% de AA) e T4 (25% de ARP e 75% de AA), os frutos da pimenta malagueta apresentaram níveis populacionais de coliformes termotolerantes superiores ao limite previsto pela vigilância sanitária, indicando o risco de consumo *in natura*. Excetuando-se apenas o tratamento T5 (0% de ARP e 100% de AA), onde a quantidade de coliformes ficou abaixo do limite.

O tratamento T4 (25% de ARP e 75% de AA) foi o mais indicado para produção da pimenta malagueta, devido à minimização de efeitos de acumulação e lixiviação de elementos químicos no solo, à maior produtividade e ao menor risco microbiológico do produto agrícola.

6 REFERÊNCIAS

- AL-LAHHAM, O.; EL-ASSI, N. M.; FAYYAD, M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 51-62, 2003.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298p.
- AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of the wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 81-94, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS – ABCSEM. **Manual técnico: cultivo de hortaliças**. 2. ed. Campinas: 2011. 88p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 60p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzida por GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMACENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).
- AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.253-263, 2005.
- BACCARO, C. A. D.; SILVA, P. C. M.; CAMACHO, R. G. V. Mapeamento geomorfológico da bacia do Apodi/Mossoró-RN, NE do Brasil. **Mercator: Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 8, n. 16, p.201-216, 2009.
- BATISTA, R. O.; BARRETO, H. B. F.; ALVES, S. M. C.; SANTOS, W. O.; FREIRE, F. G. C. Remoção de nitrato e condutividade elétrica em biofiltros operando com esgoto doméstico primário. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.5, n.1, p.59-69, 2012.
- BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SANTOS, D. B. Riscos da fertirrigação com esgoto sanitário e as relações entre os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} e a salinidade total. **Revista Ceres**, Viçosa, v.53, n.307, p.394-398. 2006.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.11, p.1639-1647, 2002.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil** 2012. Brasília: ANA, 2012a. 264 p.

BRASIL. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **A questão da água no Nordeste**. Brasília: CGEE, 2012b. 436p.

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em: < http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 03 ago. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas do Brasil: abastecimento urbano de água**. Brasília: ANA, ENGECORPS/COBRAPE, v.2, 2010. 72p. (Panorama nacional, volume 1).

BRASIL. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, 2007. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 25 ago. 2013.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <www.meioambiente.ufrn.br/conteudo/dma/projetos/portaria51804.pdf>. Acesso em: 28 Ago. 2013.

BRASIL. **Resolução - RDC nº 12, DE 2 DE JANEIRO DE 2001**. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm>. Acessado em: 21 jan. 2013.

BRASIL. **Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997**, Brasília, 1997. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/blei19979433.pdf>. Acesso em: 27 Ago. 2013.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.823-831, 2011.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.70, n.4, p.355-365, 1998.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G. **Produção e necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi**. 2011. 61f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2011.

CEARÁ. **Portaria nº154, de 22 de Julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 28 ago. 2013.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M; MONTEGGIA, L. O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reuso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**: Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABEAS, 2006. Cap. 3, p. 63 - 110.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa-MG: 1999. 359p.

CRISÓSTOMO, J. R.; FURTADO, R. F.; BARRETO, P. D.; MIRANDA, F. R.; GONDIM, R. S.; BLEICHER, E.; RODRIGUEZ, S. M. M.; PINTO, G. A. S.; BRITO, E. S.; LIMA, J. A. A.; PEREIRA, R. C. A.; FILHO, R. R. R.; FREITAS, J. G.; MIRANDA FILHO, L. L. M.; RABELO FILHO, F. A. C. **Pesquisa e desenvolvimento para o agronegócio pimenta no Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 36 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 118).

DAL BOSCO, T. C.; IOST, C.; SILVA, L. N.; CARNELLOSI, C. F.; EBERT, D. C.; SCHREINER, J. S.; SAMPAIO, S. C. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola – estudo de caso. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p.139-144, 2008.

DIAS, M. A.; LOPES, J. C.; CORRÊA, N. B.; DIAS, D. C. F. S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plantas de pimenta malagueta em função do substrato e da lâmina de água. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.30, n. 3, p.115-121, 2008.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.302-310, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 412p.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. In: **Irrigation with treated sewage effluent**. (Eds.) Berlin: Springer-Verlag, Cap.2, p.3-33. 1991.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.64, n.2, p. 194-209, 2007.

GOIÁS (1979). **Decreto nº 1.745 de 6 de dezembro de 1979**. Aprova o regulamento da Lei nº 8.544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <http://www3.agenciaambiental.gov.br/legislacao/01_legis_decre_estad_1745.php>. Acesso em: 29 Ago. 2013.

GOOGLE EARTH 7.0.2 Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 5 Set. 2013.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p. 131-158. 2008.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.13, n. ESPECIAL, p.411-437. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro: MPOG, MC, 2010. 219p.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip dispersal of residential effluent: I. Soil chemical characteristics. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, v. 44, n. 5, p. 1152-1158 2001a.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip dispersal of residential effluent: II. Soil hydraulic characteristics. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, v. 44, n 5, p. 1159-1165, 2001b.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

LÉON SUEMATSU, G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de: H.R. Gheyi, A. König, B.S.O. Ceballos, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p.

LIMA, V. I. A.; ALVES, S. M. C.; OLIVEIRA, J. F.; BATISTA, R. O.; PINHEIRO, J. G.; DI SOUZA, L. Desempenho do sistema de tratamento de água residuária de laticínios e os efeitos de sua disposição em Argissolo. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v.2, n.2, p.93-101, 2013.

LOURES, A. P. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; PEREIRA, O. G. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 706-714, 2006.

MATO GROSSO. **Deliberação Normativa nº 003 de 20 de junho de 1997**. Dispõe sobre a preservação e utilização das águas das bacias hidrográficas do estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 1997. Disponível em: <http://www.ms.sebrae.com.br/uploads/Estudos%20Agronegocios/Fruticultura_Corumba/CRV%20-%203%20-Deliberacao%20CECA%203-97rechidricos%20ms.doc>. Acesso em: 28 Ago. 2013.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; Lo MONACO, P. A. V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de água residuárias da suinocultura. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 2, p.119-132, 2010.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.603-612, 2005.

MÉLO, R. F.; FERREIRA, P. A.; RUIZ, H. A.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, L. B. Alterações físicas e químicas em três solos tratados com água residuária de mandioca. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 383-392, 2005.

MILLER, G. T. **Ciência ambiental**. Tradução All tasks; revisão técnica Wellington Braz Carvalho Delitti. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 501p.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 10 de 16 de dezembro de 1986**. Estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e para o lançamento de efluentes nas coleções de águas. Belo Horizonte, 1986. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=91>>. Acesso em: 30 Ago. 2013.

MOURA, F. N.; BATISTA, R. O.; SILVA, J. B. A.; FEITOSA, A. P.; COSTA, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.1, p. 264-276, 2011.

NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). **Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management**. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.

NUVOLARI, A. **Esgotos sanitários**: coleta transporte tratamento e reuso agrícola. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 2003, 519p.

OLIVEIRA, P. C. P.; GLOAGUEN, T. V.; GONÇALVES, R. A. B.; SANTOS, D. L. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.8, p.861-867, 2013.

PARANÁ. **Resolução nº 001/07-SEMA**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Disponível em: <[www.pr.senai.br/para.../Resolucao_SEMA_PR_001_07\[18545\].pdf](http://www.pr.senai.br/para.../Resolucao_SEMA_PR_001_07[18545].pdf)>. Acesso em: 30 jul. 2013.

PERNAMBUCO. **Norma Técnica nº 2.007, de 07 de Agosto de 2001**. Coliformes fecais - padrão de lançamento para efluentes domésticos e/ou Industriais. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/licenciamento/normas_tecnicas/39931%3B63932%3B1529%3B0%3B0.asp>. Acesso em: 27 Ago. 2013.

PERNAMBUCO. **Norma Técnica nº 2.001, de 21 de fevereiro de 2000**. Controle de carga orgânica em efluentes líquidos industriais. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/licenciamento/normas_tecnicas/39931%3B63932%3B1529%3B0%3B0.asp>. Acesso em: 27 Ago. 2013.

RAIJ, B. van. Nitrogênio. In: RAIJ, B. van. (Ed.). **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p.163-179.

REINALDO, G. P. B.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA NETO, M. SANTOS, D. B. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012.

RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 81-94, 2008.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

RIO GRANDE DO SUL. **Portaria nº 05, de 16 de março de 1989**. Dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d'água interiores do estado do rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg0000000019.doc>>. Acesso em: 30 Ago. 2013.

ROCHA, R. E. M.; PIMENTEL, M. S.; ZAGO, V. C. P. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1435-1441, 2003.

SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDEBERG, B.; KATZENELSON, E.; SHUVAL, H. I. High levels of microbial contamination of vegetables irrigated with wastewater by the drip method. **Applied Environmental Microbiology**, Amsterdam, v.36, n.6, p. 824-830, 1978a.

SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDEBERG, B. Microbial contamination of vegetables irrigated with sewage effluent by the drip method. **Journal of Food Protection**, Amsterdam, v.41, n.5, p. 336-340, 1978b.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981**. Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/docs/legislacao_estadual/decreto_14250.doc>. Acesso em: 30 Ago. 2013.

SANTOS, S. S.; SOARES A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14 n.1, 32-38. 2006.

SÃO PAULO. **Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova a Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a presença e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/StaticFile/integra_ddilei/decreto/1976/decreto%20n.8.468,%20de%2008.09.1976.htm>. Acesso em: 29 Ago. 2013.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Revista Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v.33, n.1, p.5-8, 2011.

SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A. M. F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.3, p. 260-265, 2005.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, vol.22, n.63, p. 7-16, 2008.

VENZON, M.; AMARAL, D. S. S. L.; PEREZ, A. L.; CRUZ, F. A. R.; TOGNI, P. H. B.; OLIVEIRA, R. M. **Identificação e manejo ecológico de pragas da cultura da pimenta**. Viçosa: EPAMIG, 2011. 40p.

VILELA, N. J.; RIBEIRO, C. S. C.; MADAIL, J. C. M. **Eficiência técnico-econômico de quatro sistemas de produção de pimentas *Capsicum***. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2008. 7p. (Comunicado técnico, nº 56).

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Reúso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, pp. 119-128, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva: World Health Organization, 2006. 196p. (Volume 2: wastewater use in agriculture).