

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

MARCIO KENJI IONEKURA JUNIOR

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tabebuia avellanedae* (IPÊ ROXO) IRRIGADAS
COM EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO PARA FINS DE
REFLORESTAMENTO**

Caruaru

2018

MARCIO KENJI IONEKURA JUNIOR

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tabebuia avellanedae* (IPÊ ROXO) IRRIGADAS
COM EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO PARA FINS DE
REFLORESTAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso II, submetido à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof.^a Dra. Elizabeth Amaral
Pastich Gonçalves

Caruaru

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

N244p Ionekura Junior, Marcio Kenji.
Produção de mudas de *Tabebuia avellanedae* (Ipê Roxo) irrigadas com efluente doméstico tratado para fins de reflorestamento. / Marcio Kenji Ionekura Junior. - 2018.
66 f. ; il. : 30 cm.

Orientadora: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Água - reuso. 2. Esgotos. 3. Mudas. 4. Irrigação. I. Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich. II. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2018-243)

MARCIO KENJI IONEKURA JUNIOR

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tabebuia avellanae* (IPÊ ROXO) IRRIGADAS
COM EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO PARA FINS DE
REFLORESTAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso II, submetido à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

A banca abaixo considera O ALUNO MARCIO KENJI IONEKURA JUNIOR APROVADO COM NOTA _____.

Caruaru, 22 de novembro de 2018.

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador 1)

Prof.^a Dra. Simone Machado Santos

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador 2)

MSc. Luis Medeiros de Lucena

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador 3)

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

Dedico este trabalho à minha família que é o alicerce da construção da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela saúde, força e perseverança em todos os momentos.

A minha família e aos amigos pelo amor, incentivo, atenção e apoio incondicional. Em especial a Ivanete, Marcio, Mariana H., Antonio, Bárbara R., Mariana Q., Elton, Talita, Bárbara G., Guilherme e Stephanie.

A esta universidade pela disponibilização das instalações e equipamentos que possibilitaram a realização do presente estudo. Assim como pelos anos de convívio com excelentes profissionais.

A minha orientadora Elizabeth Pastich por me guiar durante o desenvolvimento deste estudo e pelas correções, sugestões e incentivo.

Aos colegas Arthur Pinheiro e Joelithon Costa que participaram da realização do experimento e das análises.

Aos professores e técnicos que estiveram presentes e trabalharam para que fosse possível eu chegar nesta etapa de minha vida.

A todos que de alguma forma estiveram comigo nesta longa caminhada.

RESUMO

Avaliou-se o cultivo de mudas de Ipê Roxo da espécie *Tabebuia avellanedae* irrigadas com três tipos diferentes de fontes hídricas: água potável, água potável + NPK e esgoto. A irrigação das mudas, em vaso e com base na capacidade de pote (CP) para o solo, foi efetuada em experimento com tratamentos variando de acordo com as fontes hídricas e com a capacidade de pote da seguinte forma: T1, T2 e T3 utilizaram água potável a, respectivamente, 70%, 50% e 30% da capacidade de pote; T4, T5 e T6 utilizaram água potável + NPK a, respectivamente, 70%, 50% e 30% da capacidade de pote; T7, T8 e T9 utilizaram esgoto a, respectivamente, 70%, 50% e 30% da capacidade de pote. O solo utilizado foi obtido da área adjacente a ETE de Tamandaré que está degradada e vem sofrendo processos erosivos por servir a atividades de mineração. Os tratamentos a 30% e a 50% da CP (T2, T3, T5, T6, T8 e T9) e os tratamentos que utilizaram fertilizantes (T4, T5 e T6) não foram satisfatórios para o estudo pois, ao final do experimento, não apresentavam nenhuma muda. O desempenho dos tratamentos a 70% da CP e que utilizaram esgoto (T7) foram os melhores em termos de produtividade das mudas, seguido dos tratamentos a 70% da CP e que utilizaram a água potável, sem adição de fertilizantes (T1). Em relação ao solo, os tratamentos com esgoto apresentaram, também, os melhores resultados. Dessa forma, os resultados obtidos indicaram que o uso de esgoto doméstico tratado para irrigação de mudas de Ipê Roxo foi viável.

Palavras-chave: Reuso de água. Reuso. Esgoto. Capacidade de campo. Capacidade de pote.

ABSTRACT

The cultivation of *Tabebuia avellanedae* (Purple Ipê) seedlings irrigated with three different types of water sources (potable water, potable water + NPK and wastewater) were evaluated. Seedling pots were irrigated based on the pot capacity (CP) of the soil in an experiment with treatments varying according to the water sources and the pot capacity as follows: T1, T2 and T3 used potable water at 70%, 50% and 30% of pot capacity, respectively; T4, T5 and T6 used potable water + NPK at 70%, 50% and 30% of pot capacity, respectively; T7, T8 and T9 used wastewater at 70%, 50% and 30% of pot capacity, respectively. The soil used in the experiment was obtained from the adjacent area of Tamandaré ETE, which is degraded and has undergone erosive processes to serve mining activities. The treatments at 30% and 50% of CP (T2, T3, T5, T6, T8 and T9) and treatments using fertilizers (T4, T5 and T6) were not satisfactory for the study because, at the end of the experiment, they did not show any seedlings. The performance of the treatments at 70% of CP that used wastewater (T7) were the best in terms of productivity, followed by treatments at 70% of CP that used potable water without addition of fertilizers (T1). Regarding the soil, wastewater treatment also showed the best results. Thus, the obtained results indicated that the use of treated domestic wastewater for irrigation of seedlings of Purple Ipê was practicable.

Keywords: Water reuse. Reuse. Wastewater. Field capacity. Pot capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Localização da ETE Tamandaré; (b) Vista aérea da área ao lado das lagoas de estabilização, onde foram coletadas as amostras de solo.	28
Figura 2 – ETE Rendeiras (Caruaru-PE). (a) Lagoa de estabilização - visão geral; (b) Coleta das amostras.....	29
Figura 3 – Fontes hídricas utilizadas para rega. (a) água potável; (b) água potável + NPK; (c) esgoto.....	29
Figura 4 – Local proposto para o reflorestamento. (a) Visão geral; (b) Detalhe do local da coleta de solo (área degradada).	30
Figura 5 – Preparo do solo para montagem do experimento (a) Secagem do solo (b) Destorroagem.....	31
Figura 6 – Determinação da capacidade de pote.	32
Figura 7 – Germinação das sementes.	34
Figura 8 – Montagem do experimento.	35
Figura 9 – Primeiros sinais de germinação das sementes: (a) T1 – Água CP 70%; (b) T7 – Esgoto CP 70%.	50
Figura 10 – Estado das mudas ao final do experimento.....	50
Figura 11 – Monitoramento da altura das plantas nas triplicatas de T1 (Água CP 70%).	51
Figura 12 – Triplicatas de T1 (Água CP70%) no meio do experimento: (a) T1 - 1; (b) T1 - 2; (c) T1 - 3.....	52
Figura 13 – Triplicatas de T1 (Água CP70%) ao final do experimento: (a) T1 - 1; (b) T1 - 2; (c) T1 - 3.....	52
Figura 14 – Monitoramento da altura das plantas de T4 (2).	53
Figura 15 – Pote 2 do tratamento T4: (a) no meio do experimento; (b) ao final do experimento.	53
Figura 16 – Monitoramento da altura das plantas nas triplicatas de T7 (Esgoto CP 70%).	54
Figura 17 – Triplicatas de T7 (Esgoto CP70%) no meio do experimento: (a) T7 - 1; (b) T7 - 2; (c) T7 - 3.....	54
Figura 18 – Triplicatas de T7 (Esgoto CP70%) ao final do experimento: (a) T7 - 1; (b) T7 - 2; (c) T7 - 3.....	54
Figura 19 – Monitoramento do número de folhas nas triplicatas de T1 (Água CP 70%).	56
Figura 20 – Monitoramento do número de folhas de T4 (Água + NPK CP 70% 2).....	56
Figura 21 – Monitoramento do número de folhas nas triplicatas de T7 (Esgoto CP 70%).	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Recomendações da OMS referentes à qualidade microbiológica para uso de esgoto na agricultura.....	25
Quadro 2 – Parâmetros e respectivos métodos analíticos utilizados nas análises das fontes hídricas.	30
Quadro 3 – Tratamentos realizados no experimento.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites recomendados para constituintes em águas de reuso para irrigação agrícola.	26
Tabela 2 – Determinação da capacidade de pote.....	33
Tabela 3 – Caracterização química das fontes hídricas.....	36
Tabela 4 – Classificação da salinidade das águas segundo sua condutividade elétrica.	37
Tabela 5 – Resultados das análises químicas do solo no início do experimento.....	40
Tabela 6 – Resultados da análise química do solo ao final do experimento e análise estatística entre as capacidades de pote que utilizaram a mesma fonte hídrica.....	41
Tabela 7 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro P.....	42
Tabela 8 – Nível de fósforo no solo.	42
Tabela 9 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro amônio....	43
Tabela 10 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro pH.	44
Tabela 11 – Interpretação dos resultados do pH.....	45
Tabela 12 - Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro sódio.....	46
Tabela 13 – Classificação do solo devido a saturação por bases.....	47
Tabela 14 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro V.....	47
Tabela 15 – Classificação do nível de saturação por alumínio.....	48
Tabela 16 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro m.....	49
Tabela 17 – Altura média das plantas (T1 e T7)	55
Tabela 18 – Número de folhas médio (T1 e T7)	57
Tabela 19 – Massa seca final da parte aérea e radicular dos tratamentos T1 e T7.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA	15
3	MOTIVAÇÃO	16
4	OBJETIVOS	17
4.1	Objetivo Geral.....	17
4.2	Objetivos Específicos	17
5	REFERENCIAL TEÓRICO	18
5.1	Situação hídrica global	18
5.2	Elementos essenciais e benéficos para produção vegetal.....	23
5.3	Águas residuárias e seu reuso na produção vegetal.....	19
5.3.1	<i>Definição e classificação do reuso</i>	19
5.3.2	<i>Benefícios</i>	20
5.3.3	<i>Riscos consideráveis</i>	22
5.4	CrITÉrios de qualidade e legislação de reuso direto de águas no Brasil.....	25
5.5	<i>Tabebuia avellanadae (Ipê Roxo)</i>	27
6	MATERIAIS E MÉTODOS	28
6.1	Área de estudo.....	28
6.2	Detalhes sobre a água residuária utilizada na irrigação das mudas	28
6.3	Parâmetros de análises das fontes hídricas	29
6.4	Caracterização do solo.....	30
6.4.1	<i>Origem</i>	30
6.4.2	<i>Parâmetros de análises</i>	31
6.4.3	<i>Capacidade de pote</i>	31
6.5	Caracterização das mudas	33
6.5.1	<i>Sementes</i>	33
6.5.2	<i>Produção e cultivo</i>	34
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
7.1	Caracterização das fontes hídricas	36
7.2	Caracterização do solo inicial.....	40
7.3	Produtividade das mudas.....	49
7.3.1	<i>Altura das plantas</i>	51
7.3.2	<i>Número de folhas</i>	55

7.3.3	<i>Massa seca final</i>	58
8	CONCLUSÃO	59
8.1	Influência de diferentes percentuais da CP na produtividade das mudas	59
8.2	Influência dos diferentes tratamentos na produtividade das mudas	61
8.3	Análise das características químicas das fontes hídricas	59
8.4	Influência de diferentes percentuais da CP no solo	59
8.5	Influência dos diferentes tratamentos no solo	60
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, uma considerável parte da população do planeta vem sofrendo com problemas relacionados à escassez de água e, com isso, pode-se presumir uma iminente crise de abastecimento global.

O volume de água doce disponível é mínimo quando comparado com o montante hídrico total do planeta. Dessa pequena parcela, mais da metade se encontra nas calotas polares e geleiras, ficando o restante disponível às ações antropogênicas (TELLES; COSTA, 2010).

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA [s.d.], o Brasil possui cerca de 12% do total de água doce mundial, contudo, sua distribuição é desigual ao longo de seu território: cerca de 80% estão localizados na região Norte, que abrange somente 5% da população do país, e o restante está distribuído nas demais regiões.

Além da desproporcional distribuição das águas disponíveis para a densidade populacional das regiões, outros fatores são sérios agravantes da problemática referente à escassez de água. Muitos mananciais de onde são captadas as águas para o abastecimento estão cada vez mais poluídos ou são insuficientes para satisfazer a demanda d'água e fontes alternativas se encontram cada vez mais distantes dos centros consumidores (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Conforme Monte e Albuquerque (2010), a disponibilidade da água não é constante no decorrer do ano. Isso ocorre devido a alguns fatores como o turismo e a agricultura que podem levar a um aumento na demanda de água em determinadas épocas do ano, o que é capaz de gerar sérios desequilíbrios entre a necessidade e a disponibilidade de água. Além disso, acrescenta-se ainda o aumento contínuo da população devido ao desenvolvimento socioeconômico das regiões.

Nesse contexto, segundo Carvalho et al. (2014), a reutilização de águas residuárias é uma alternativa que pode ser considerada como uma estratégia sustentável para conservação dos recursos hídricos, permitindo que estes continuem disponíveis às próximas gerações em termos de quantidade e qualidade. Em regiões que não sofrem tanto com a escassez de água, a reutilização pode ser feita como forma de prevenção contra a poluição dos corpos receptores.

Quando não reutilizada para alguma finalidade específica, a água residual tratada é descarregada nos corpos hídricos receptores e, com isso, a água que futuramente será captada nesse manancial para abastecimento pode conter águas residuais, sendo assim uma reutilização indireta e não planejada da água (MANCUSO; SANTOS, 2003).

O reuso planejado de águas residuárias consiste na recuperação dessas águas que, após submetidas à um adequado tratamento, estão aptas à serem utilizadas em algumas atividades, o

que possibilita uma economia das águas provenientes das estações de tratamento de água (ETA) para outros fins mais nobres (MANCUSO; SANTOS, 2003).

De acordo com Bernardi (2003), alguns benefícios são obtidos com o uso de efluentes tratados para irrigação vegetal. Essa prática reduz a necessidade de fertilizantes químicos na produção das mudas, que são utilizados para suprir algumas necessidades das plantas através do aproveitamento de nutrientes presentes nas águas residuárias. Além disso, reduz o impacto ambiental com a diminuição da poluição dos cursos d'água e poupa consideráveis volumes de água potável, visto que, segundo Souza Filho (2013), “da água disponível para o uso, a maior quantidade é utilizada na agricultura”.

Santos (2007) relata que a implementação de programas de restauração de ecossistemas florestais em áreas degradadas requer um elevado consumo de água. Dessa forma, o uso de águas residuárias tratadas destinadas à produção de mudas é visto como uma solução viável e promissora para sanar o problema em questão, principalmente por proporcionar água disponível independentemente da época do ano.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a viabilidade da aplicação de efluente doméstico tratado como fonte hídrica e de nutrientes para a produção de mudas de Ipê Roxo visando o reflorestamento de uma área degradada.

2 JUSTIFICATIVA

A água é um dos recursos naturais mais importantes para o ser humano e está, dentro dos padrões mundiais aceitos de potabilidade, sendo cada vez mais priorizada para atividades mais nobres, como o abastecimento para consumo humano. Dessa forma, com o objetivo de conservar os recursos hídricos existentes, qualitativamente e quantitativamente, uma das estratégias viáveis e eficientes é a reutilização das águas residuárias.

De acordo com Mancuso e Santos (2003), a utilização dos efluentes domésticos tratados para irrigação na produção de mudas constitui-se como uma alternativa favorável à preservação da qualidade ambiental. Além disso, essa prática beneficia as plantas uma vez que as águas residuárias contêm nutrientes que podem ser aproveitados, substituindo parcialmente a utilização de fertilizantes químicos. Essas águas também contêm matéria orgânica que, segundo o autor, age como um condicionador do solo, permitindo-o reter uma quantidade maior de água.

Souza Filho (2013) relata que essa reutilização de efluentes domésticos na irrigação agrícola é “uma prática secular que está recebendo uma atenção renovada com a crescente escassez de recursos hídricos e impulsionada pela rápida urbanização e crescentes volumes de águas residuárias”.

A prática do reflorestamento é uma atividade muito importante para o ecossistema global uma vez que proporciona, segundo o Instituto Brasileiro de Florestas (IBF, 2018), entre outros benefícios ambientais:

- Recuperação das nascentes;
- Controle da erosão do solo;
- Prevenção do assoreamento dos canais de drenagem, rios e açudes;
- Amenização do clima, reduzindo a temperatura média;
- Retenção de poluentes atmosféricos;
- Redução do aquecimento global por meio do sequestro de carbono;
- Fornecimento de abrigo e alimentação para a fauna;

3 MOTIVAÇÃO

Devido aos processos de terraplanagem e de extração de argila que foram realizados na Estação de Tratamento de Esgoto de Tamandaré – PE, foram propostos no Projeto de Controle Ambiental (PCA) como medida compensatória à essa degradação ambiental, a recuperação da mata nativa das áreas adjacentes à estação. Contudo, após três anos desde o início da operação da ETE, não foram implementadas nenhuma ação para o cumprimento da proposta.

O reuso de águas residuárias em práticas de recuperação de ecossistemas que sofreram com a degradação ambiental apresenta-se como uma alternativa promissora pelo fato de dar um novo destino à essas águas que retornariam para os corpos hídricos, beneficiando à qualidade e quantidade das águas destinadas ao abastecimento para consumo humano. Além disso, por serem ricas em nutrientes, tendem a apresentar excelentes resultados na produtividade de plantas visto que estas necessitam de nutrientes para seu desenvolvimento. Esses nutrientes muitas vezes precisam ser supridos com a utilização de fertilizantes químicos.

Souza Filho (2013) ressalta que a reutilização de águas residuárias tratadas, tanto utilizada com o objetivo de aumentar o fornecimento de água potável, como também para gerenciar nutrientes do efluente tratado, traz benefícios que são decisivos para a implementação de programas de reuso.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade da aplicação de efluente doméstico tratado como fonte hídrica e de nutrientes para a produção de mudas de Ipê Roxo visando o reflorestamento de uma área degradada.

4.2 Objetivos Específicos

- Analisar as características químicas de diferentes fontes hídricas (água potável, água potável + NPK e água residuária);
- Avaliar a influência de diferentes percentuais da capacidade de pote na produtividade das mudas de Ipê Roxo e no solo;
- Avaliar a influência de diferentes tratamentos na produtividade das mudas de Ipê Roxo e no solo;

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Situação hídrica global

Conforme Barros e Amin (2007), a terra é um planeta abundante em água, com esta, compondo cerca de 70% da sua superfície. Contudo, apesar de parecer ilimitada, de toda essa água apenas uma pequena fração corresponde à água doce e pode ser utilizada para o consumo humano, após adequado tratamento para torna-la potável.

Dessa forma, muitas regiões sofrem com a escassez de água e essa carência pode afetar diretamente o desenvolvimento dessas localidades. Este é um fator que pode ser decorrente de uma situação natural, como a deficiência em mananciais para satisfazer a demanda d'água da região, do clima ou também ser consequência do crescimento econômico e populacional que aceleram a degradação ambiental. (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Conforme Silva et al. (2010), o debate acerca da escassez de água a nível global começou a ganhar destaque no final da década de setenta através da propagação de discursos sobre o assunto pelo Banco Mundial (BM) e pela ONU. Por meio destes, defendia-se a ideia de que a água deveria ser considerada de domínio público e um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, de forma que a disponibilidade dos recursos hídricos se mantivesse em qualidade e quantidade às gerações futuras.

No Brasil, de acordo com Mancuso e Santos (2003), a legislação considerava até a Constituição Federal de 1988, quando surgiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água como um recurso natural inesgotável, que poderia ser sujeito a uso abundante e farto.

A situação de escassez hídrica está presente em diversos países pelo mundo e se mostra cada vez mais notória. Mancuso e Santos (2003) apresentam uma previsão da escassez mundial de água até 2025:

Com base na disponibilidade de menos de 1.000m³ de água renovável por pessoa/ano, existem projeções que antecipam a escassez progressiva de água em diversos países do mundo, no intervalo 1955-2025.

- Países com água escassa em 1995: Malta, Djibuti, Barbados, Cingapura, Kuwait e Jordânia.
- Países adicionados à lista anterior em 1990: Qatar, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Iêmen, Israel, Tunísia, Cabo Verde, Quênia, Burundi, Argélia, Ruanda e Somália.
- Países que se encontram adicionados aos anteriores sob todas projeções de crescimento populacional das Nações Unidas para o ano 2025: Líbia, Omã, Marrocos, Egito, Camarões, África do Sul, Síria, Irã, Etiópia e Haiti. (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Nessa previsão pode-se notar a presença de alguns países como Argélia, Egito, Irã, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbia, Marrocos, Omã, Qatar, Arábia Saudita, Síria, Tunísia e Iêmen. Esses são alguns dos países que fazem parte da região do MENA (Middle East and North Africa) e, ainda segundo Mancuso e Santos (2003), a reutilização de águas residuárias é o único meio significativo e confiável para o futuro desses países, onde a produção de esgoto cresce cada vez mais com o aumento da população.

A América Latina tem o domínio de uma grande quantidade de recursos hídricos. Contudo, de acordo com Paz et al. (2000), problemas relacionados à contaminação desses recursos, ao mal gerenciamento dos mesmos e também à degradação ambiental já são observados em alguns países, como na Argentina, Peru e Chile, por exemplo.

No Brasil, país considerado privilegiado no quesito hídrico, tanto as regiões semiáridas do Nordeste quanto as demais regiões, principalmente as grandes aglomerações metropolitanas onde a oferta de água se tornou antieconômica, têm na prática da reutilização de águas um grande valor potencial. (MANCUSO; SANTOS, 2003).

5.2 Águas residuárias e seu reuso na produção vegetal

5.2.1 Definição e classificação do reuso

Segundo Lavrador Filho (1987, apud MANCUSO E SANTOS, 2003), o conceito acerca do reuso de águas é dado pelo aproveitamento destas que foram previamente utilizadas em alguma atividade. Esse reuso pode ser direto ou indireto e planejado ou não planejado. De acordo com as definições apresentadas pelo autor, baseadas nas apresentadas pela Organização Mundial da Saúde em 1973 e pela empresa norte americana James M. Montgomery em 1985, pode-se dizer, em resumo, que:

- O reuso planejado de água define-se por ocorrer através de ações conscientes e intencionais que envolvem tanto o tratamento dos efluentes, de modo que atenda aos padrões de qualidade necessários para a devida finalidade, como também, no caso do reuso indireto, o controle das demais descargas de efluentes feitas a montante, de forma que não comprometa a qualidade da água.
- O reuso indireto se dá através do retorno das águas residuárias, tratadas (reuso indireto planejado) ou não tratadas (reuso indireto não planejado), aos corpos hídricos onde posteriormente serão utilizadas a jusante, em sua forma diluída.

- Já o reuso direto é planejado e se dá pela condução das águas residuárias tratadas diretamente ao local em que serão reutilizadas, sem retornar aos corpos hídricos e atendendo aos padrões de qualidade solicitados pela nova atividade a que serão submetidas.

Por sua vez, Westerhoff (1984, apud MANCUSO E SANTOS, 2003) apresenta duas categorias para a classificação do reuso de água, as quais, segundo Mancuso e Santos (2003), foram adotadas pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), em 1992, por sua praticidade e facilidade. De acordo com o autor, pode-se dizer que:

- O reuso potável pode ser direto ou indireto. O reuso potável direto ocorre quando as águas residuárias, devidamente tratadas, retornam ao sistema de água potável diretamente. Já o reuso potável indireto ocorre através do lançamento dos esgotos tratados nos corpos hídricos, onde estarão sujeitos à autodepuração, para posterior captação.
- O reuso não potável pode ser aplicado para diversas finalidades, entre elas de uso: agrícolas, industriais, recreacionais, etc. Em relação ao reuso não potável para fins agrícolas são apresentadas duas subclassificações: O primeiro grupo relacionado às plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, sementes) e o segundo grupo às plantas comestíveis consumidas cruas ou cozidas.

Dessa forma, o presente trabalho trata a respeito de um reuso direto planejado das águas residuárias e a um reuso não potável para fins agrícolas do primeiro grupo (plantas não comestíveis), uma vez que serão utilizadas as águas provenientes da ETE de Caruaru, localizada no bairro Rendeiras, na produção das mudas.

5.2.2 Benefícios

A utilização de águas residuárias tratadas na irrigação de culturas cresceu consideravelmente nas últimas décadas. Os seguintes fatores atuam como motivadores desta prática:

- Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- Custo elevado de fertilizantes;

- A segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas são efetivamente tomadas;
- Os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores;
- A aceitação sociocultural da prática do reuso agrícola;
- O reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Segundo Mancuso e Santos (2003), os efluentes domésticos tratados, embora apresentem aspectos que os configuram como poluentes, possuem nutrientes favoráveis ao crescimento das plantas. Entre os nutrientes mais importantes estão o fósforo, o nitrogênio, o potássio, o zinco e o enxofre, cujos teores nessas águas substituem, se não toda, boa parte das necessidades das plantas e, segundo Léon (1996, apud CAOVIALLA, 2005), diminuem cerca de 50% do custo da produção, devido à redução da necessidade de fertilizantes químicos.

De acordo com Bernardes (1986), a utilização de efluentes domésticos tratados está ligada tanto à fatores ecológicos, como também à fatores econômico-sociais. No âmbito ecológico, a reutilização das águas proporciona uma atenuação significativa na descarga de poluentes nos corpos hídricos. Já no âmbito econômico-social, ela está associada à já mencionada ciclagem dos nutrientes presentes na solução e à redução de custos.

Florêncio et al. (2006) ressaltam que, apesar da prática do reuso de água trazer oportunidades de caráter econômico, ambiental e social, em situações de escassez crítica de recursos hídricos ela pode se apresentar como uma necessidade. Os autores ainda apresentam alguns atrativos para a utilização das águas residuárias na fertirrigação de culturas:

- (i) O reuso da água, proporcionando alívio na demanda e preservação de oferta de água para usos múltiplos;
 - (ii) A reciclagem de nutrientes, proporcionando economia significativa de insumos, por exemplo, fertilizantes e ração animal;
 - (iii) A ampliação de área irrigadas e a recuperação de áreas improdutivas ou degradadas;
 - (iv) A redução do lançamento de esgotos em corpos receptores, contribuindo para a redução de impactos de poluição, contaminação e eutrofização.
- (FLORENCIO et al, 2006).

De acordo com Bernardes (1986), um dos motivos intrínsecos à importância dos esgotos domésticos se dá por sua contínua disponibilidade durante o ano todo, tanto nos grandes centros metropolitanos, como nas pequenas cidades.

Bastos (1999, apud AUGUSTO et al., 2003) relata que diversas pesquisas internacionais vêm apresentando ótimos resultados nas análises da eficiência da utilização das águas residuárias na irrigação de culturas.

Diante de todo o exposto, espera-se que a reutilização de esgotos tratados, quando adequadamente planejada e administrada, seja uma prática benéfica para o sistema solo-planta e para o meio ambiente: por ser uma fonte alternativa de água para irrigação que minimiza a descarga de esgotos nos corpos hídricos, por sua solução conter nutrientes que podem ser utilizados pelas plantas substituindo parcialmente ou totalmente o uso de fertilizantes de alto custo e, também, por conter matéria orgânica que aumenta a capacidade de retenção de água no solo.

5.2.3 Riscos consideráveis

Apesar de todos os benefícios envolvidos com a reutilização de esgotos tratados, Mancuso e Santos (2003) destacam que alguns efeitos potencialmente negativos podem decorrer de sistemas de irrigação inadequados ou por deficiências operacionais. Um exemplo é a contaminação de aquíferos subterrâneos quando a quantidade de efluentes excede às necessidades específicas daquele sistema ou quando esses efluentes contêm teores em excesso de substâncias como, por exemplo: sais inorgânicos, compostos orgânicos sintéticos e metais pesados.

De acordo com Mancuso e Santos (2003), o nitrogênio é considerado o nutriente mais importante para as plantas, porém, cuidados devem ser tomados pois teores excessivos desse componente nas águas residuárias, apesar de favorecer a velocidade de crescimento das plantas, podem prejudicar sua qualidade e reduzir a sua massa.

Conforme Foster et al. (1994, apud MANCUSO E SANTOS, 2003), outro efeito negativo que pode se desenrolar devido a longos períodos de irrigação com águas residuárias é o acúmulo de contaminantes químicos no solo, tóxicos, orgânicos e inorgânicos. Além do considerável aumento da salinidade em camadas insaturadas que pode afetar o desenvolvimento das plantas. Mancuso e Santos (2003) alertam que para evitar tal problema deve-se efetuar a irrigação com esgotos oriundos de uso predominantemente domésticos.

Cuidados devem ser tomados, também, em relação à proliferação de vetores transmissores de doenças que podem aparecer conforme a prática de irrigação com esgotos ao longo do tempo.

Dessa forma, Mancuso e Santos (2003) relatam que, devido a utilização de efluentes tratados na irrigação, de fato correm-se alguns riscos, sendo eles: de salinidade, de contaminação por metais pesados, de contaminação biológica e de lixiviação de elementos através do solo até os lençóis subterrâneos.

5.3 Elementos essenciais e benéficos para produção vegetal

Segundo Dias (2008), a presença ou não da vegetação de uma região é condicionada principalmente pela disponibilidade hídrica do local. A água representa cerca de 80% a 90% do peso fresco nas plantas herbáceas e cerca de 50% nas espécies lenhosas, sendo importante para elas por atuar em diversos processos fisiológicos das plantas, entre eles a fotossíntese. Além disso, a água é responsável por permitir a penetração de substâncias nas células e o transporte destas entre as células e órgãos das plantas, sendo assim, importante para o crescimento e desenvolvimento das culturas.

De acordo com Mendes (2007), de forma semelhante aos demais seres vivos, as plantas demandam água (H₂O) e diversos outros elementos para se desenvolverem e sobreviverem. Esses elementos podem ser absorvidos pelas raízes ou, no caso do CO₂, via fotossíntese.

Já Dias (2008) ressalta que as plantas absorvem água através de toda sua superfície, mas que é por meio do solo, com suas raízes, que elas são capazes de absorver a maior quantidade de água e os sais minerais da solução presentes no solo. Apesar disso, a quantidade de água absorvida depende da quantidade de água disponível no solo, da sua temperatura, da concentração da solução e da taxa de transpiração.

Conforme Mendes (2007), além do carbono, oxigênio e hidrogênio já citados anteriormente, outros elementos são essenciais para as plantas, alguns em quantidades maiores (macronutrientes) e outros em quantidades menores (micronutrientes). O autor ressalta que a classificação de macro e micronutrientes é apenas didática, uma vez que essas concentrações podem variar de espécie para espécie, onde alguns elementos denominados micronutrientes podem se apresentar em maiores concentrações que elementos classificados como macro. Dito isto, tem-se:

- Macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).
- Micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo) e cloro (Cl).

Além dos elementos já citados, outros podem ser essenciais para algumas espécies, substituir a função de elementos essenciais ou estimular o crescimento das plantas. Esses elementos, classificados como benéficos, são: alumínio (Al), cobalto (Co), níquel (Ni), selênio (Se), silício (Si), sódio (Na) e vanádio (V) (MENDES, 2007).

A seguir estão dispostos alguns elementos que foram analisados neste estudo e suas respectivas funções para as plantas.

Nitrogênio (N)

O nitrogênio é, normalmente, exigido em maiores quantidades pelas plantas. A carência desse elemento afeta principalmente a síntese proteica, o que causa consequências no crescimento das culturas. A deficiência de nitrogênio leva à clorose das folhas mais velhas que é acarretada pela inibição da síntese de clorofila. Já o excesso de nitrogênio confere às folhas uma coloração verde escura (MENDES, 2007).

Fósforo (P)

O fósforo forma complexos polifosfatados como ATP (adenosina trifosfato) e ADP (adenosina difosfato), essenciais para o metabolismo energético das plantas. A carência de fosfato afeta o metabolismo e desenvolvimento das plantas, ocasionando uma redução no número de frutos e sementes. Essa deficiência de fósforo leva à clorose das folhas mais velhas, ou redução no brilho e um tom verde-azulado (MENDES, 2007).

Sódio (Na)

O sódio, em geral, não é um nutriente essencial para a maioria das plantas, mas quando em baixas concentrações, favorece o seu crescimento, principalmente para plantas que realizam fotossíntese do tipo C4 (MENDES, 2007).

5.4 Critérios de qualidade e legislação de reuso direto de águas no Brasil

Segundo Crook (1993), o reuso de água, seja para qual for a finalidade, depende da qualidade física, química e microbiológica do efluente.

De acordo com Souza Filho (2013), no Brasil, as leis e normas referentes ao reuso de efluentes tratados na irrigação são vagas, não tendo uma legislação específica referente ao assunto. Contudo, existem recomendações de alguns autores e organizações que podem ser consideradas quando se trata dessa prática.

Conforme Mancuso e Santos (2003), as primeiras considerações sobre uma legislação específica para reuso de água no Brasil são baseadas em legislações de outros países e nos critérios de qualidade para reutilização de água da OMS (Organização Mundial da Saúde). Essas recomendações estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Recomendações da OMS referentes à qualidade microbiológica para uso de esgoto na agricultura.

Categoria	Condição para o reuso	Grupo exposto	Nematoides intestinais (nº de ovos/L)	Coliformes fecais (nmp/100 mL)
A	Irrigação de culturas que possam ser comidos crus, campos esportivos e parques públicos	Trabalhadores e consumidores	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigação de culturas de cereais e industriais, plantas forrageiras, pastagens e árvores	Trabalhadores	≤ 1	Nenhum padrão recomendado
C	Irrigação localizada de culturas na categoria B, se a exposição dos trabalhadores e do público não ocorre	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável

FONTE: WHO (1989, apud SOUZA FILHO, 2013).

Por sua vez, a *United States Environmental Protection Agency* - USEPA (1992, apud MANCUSO E SANTOS, 2003), apresenta critérios de proteção à saúde contra microrganismos patogênicos em reuso de água para variados tipos de reuso. Para o reuso agrícola em irrigação de plantas não comestíveis os requisitos mínimos de segurança bacteriológica para a água tratada é de: Coli. f.: máx. 200/100 mL.

A USEPA (1992, apud MANCUSO E SANTOS, 2003) ainda apresenta os níveis de DBO e sólidos em suspensão recomendados para o reuso de águas. Na irrigação de plantas não comestíveis a indicação do teor máximo de DBO e de sólidos em suspensão é de 30 mg/L.

Além disso, são recomendados pela USEPA (1992, apud MANCUSO E SANTOS, 2003) valores limites para constituintes das águas de reuso especificamente para a irrigação agrícola. Na Tabela 1 estão as recomendações da USEPA referentes a concentração de metais nas águas de reuso para irrigação agrícola, pH, STD e cloretos.

Tabela 1 – Limites recomendados para constituintes em águas de reuso para irrigação agrícola.

Constituinte	Limite Recomendado (mg/L)	
	Limite LP	Limite CP
Alumínio	5,00	20,00
Arsênico	0,10	2,00
Berílio	0,10	0,50
Boro	0,75	2,00
Cádmio	0,01	0,05
Cromo	0,10	1,00
Cobalto	0,05	5,00
Cobre	0,20	5,00
Fluoretos	1,00	15,00
Ferro	5,00	20,00
Chumbo	5,00	10,00
Lítio	2,50	2,50
Manganês	0,20	10,00
Molibdênio	0,01	0,05
Níquel	0,20	2,00
Selênio	0,02	0,02
Zinco	2,00	10,00
pH	6,0 - 8,5	
STD	500 – 2000	
Cloretos	100 – 350	

FONTE: Adaptado de USEPA, (1999, apud MANCUSO E SANTOS, 2003)

Nota: LP = Longo Período de rega; CP = Curto Período de rega

A Resolução CNRH nº 54/2005 “estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências”. Em seu Art. 3º, incisos de I a V, são apresentadas as modalidades das práticas de reuso, sendo elas:

- I – reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
- II – reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- III – reuso para fins ambientais: utilização da água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- IV – reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades ou cultivo de vegetais aquáticos (CNRH, 2005).

Segundo o Art. 3º, parágrafo 1º, da CNRH nº 54/2005, as modalidades de reuso podem ser empregadas conjuntamente em um mesmo local, sem eliminar umas às outras.

Já o Art. 3º, parágrafo 2º, da mesma CNRH, informa que as diretrizes, critérios e parâmetros específicos de cada uma das modalidades são estabelecidas pelos órgãos competentes.

A Resolução CNRH nº 121/2010 “estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005”.

A NBR 13.969/97, que trata acerca de tanque sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, apresenta quatro classificações com respectivos valores referenciais de parâmetros para esgotos, conforme o tipo do reuso:

Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.

Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL; cloro residual superior a 0,5 mg/L.

Classe 3: Reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL.

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 e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. (ABNT, 1997).

5.5 *Tabebuia avellanedae* (Ipê Roxo)

De acordo com o IBF (Instituto Brasileiro de Florestas), a espécie *Tabebuia avellanedae*, pertencente à família Bignoniaceae e popularmente conhecida como “Ipê Roxo”, é do tipo arbórea e pode ser encontrada desde o Maranhão até a região Sul do Brasil, sendo sua madeira pesada, dura, resistente e de ótima durabilidade. É utilizada na marcenaria e na carpintaria, por sua resistência e durabilidade e no paisagismo, por sua beleza.

Segundo Reitz et al. (1987, apud SOUZA; OLIVEIRA, 2004), a espécie é importante para o reflorestamento de áreas degradadas pelo fato de resistir ao replante, desenvolver-se bem em campo aberto e, quando expostas ao sol, produzir um bom número de sementes aladas e férteis.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Área de estudo

Tamandaré é um município do estado de Pernambuco localizado à 178,9 km da capital Recife, na mesorregião Mata Sul e na Microrregião Mata Meridional do estado de Pernambuco (MASCARENHAS, 2005). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o município ocupa uma área territorial de 214,308 km² com uma população de 20.715 habitantes. A Figura 1 apresenta a localização da ETE de Tamandaré.

De acordo com Mascarenhas (2005), o relevo da cidade compõe as superfícies retrabalhadas, cujas áreas sofreram ações de extremo retrabalhamento, apresentando um relevo particularmente alterado e vales profundos. O clima da região é do tipo tropical chuvoso com verão seco, com uma precipitação média anual de 1309,9 mm.

Figura 1 – (a) Localização da ETE Tamandaré; (b) Vista aérea da área ao lado das lagoas de estabilização, onde foram coletadas as amostras de solo.



FONTE: Gomes (2016).

6.2 Detalhes sobre a água residuária utilizada na irrigação das mudas

Os efluentes tratados utilizados para a irrigação da cultura ao longo do experimento foram obtidos na Estação de Tratamento de Esgoto de Caruaru – PE, localizada no bairro Rendeiras, como pode ser visto na Figura 2.

Realizaram-se quatro coletas ao longo do experimento de forma que o mesmo esgoto não permanecesse armazenado nos recipientes por muito tempo e não perdesse suas características químicas. Para isso, foram utilizados baldes com tampa e galões de vinte litros que foram encaminhados à Universidade Federal de Pernambuco – CAA para análise do efluente em cada uma das coletas.

Figura 2 – ETE Rendeiras (Caruaru-PE). (a) Lagoa de estabilização - visão geral; (b) Coleta das amostras.



(a)

(b)

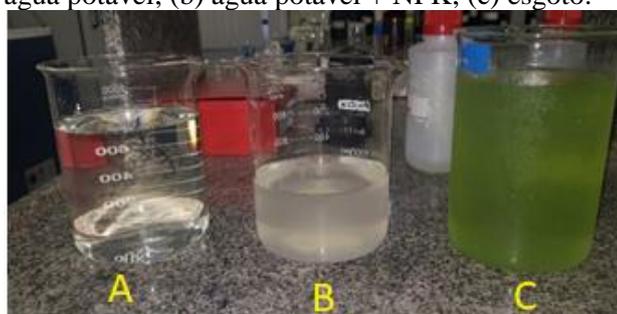
FONTE: O autor (2018).

6.3 Parâmetros de análises das fontes hídricas

Como mostra a Figura 3, além dos tratamentos irrigados com água residuária, foram realizados tratamentos com água potável e água potável + NPK de forma que, ao final do experimento, fosse feita a análise de viabilidade da produção de mudas de Ipê Roxo com esgoto.

A quantidade de fertilizante (NPK) utilizada continha em sua composição 0,3 g de nitrogênio total, 0,3 g de fósforo solúvel (P_2O_5), 0,4 g de óxido de potássio (K_2O) e 0,2 g de enxofre (S) que foram dissolvidos em 500 ml de água potável diariamente.

Figura 3 – Fontes hídricas utilizadas para rega. (a) água potável; (b) água potável + NPK; (c) esgoto.



FONTE: O autor (2018).

A caracterização química das fontes hídricas se deu a partir da análise dos seguintes parâmetros: Temperatura, pH, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, coliformes totais, coliformes termotolerantes e sólidos totais dissolvidos (STD).

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Campus do Agreste. As metodologias utilizadas foram baseadas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 2012) e estão dispostas no Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros e respectivos métodos analíticos utilizados nas análises das fontes hídricas.

Parâmetro	Método analítico	Parâmetro	Método analítico
Temperatura	Eletrométrico	Nitrogênio total	Macro-Kjedahl
pH	Eletrométrico	Nitrogênio amoniacal	Titulométrico
Fósforo	Colorimétrico	STD	Gravimetria
Condutividade	Eletrométrico	Coliform. totais	Subst. cromogênico
DQO	Colorimétrico	Coliform. termotolerantes	Subst. cromogênico

FONTE: O autor (2018).

6.4 Caracterização do solo

6.4.1 Origem

O solo utilizado no experimento foi obtido na região adjacente à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Tamandaré – PE, para qual se direciona a proposta do reflorestamento. Foi coletada dessa área uma grande quantidade de solo, de uma profundidade de cerca de 20 cm. As imagens do local podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 – Local proposto para o reflorestamento. (a) Visão geral; (b) Detalhe do local da coleta de solo (área degradada).



(a)

(b)

FONTE: O autor (2018).

O solo foi encaminhado à Universidade Federal de Pernambuco – CAA onde foi posto para secagem para ser destorroado e, em seguida, caracterizado e utilizado no experimento, como pode ser visto na Figura 5. Para a destorroagem foram utilizados: almofariz, mão de gral e peneira.

Figura 5 – Preparo do solo para montagem do experimento (a) Secagem do solo (b) Destorroagem.



FONTE: O autor (2018).

6.4.2 Parâmetros de análises

As análises químicas foram realizadas parte no LEA UFPE – Campus do Agreste e parte no IPA (Instituto Agrônômico de Pernambuco).

No LEA foi analisado o teor de amônio do solo através do método analítico titulométrico.

Já as análises de fósforo, pH, sódio, saturação por bases e saturação por alumínio foram realizadas no IPA.

6.4.3 Capacidade de pote

Segundo Casaroli e Lier (2007), a capacidade de campo equivale, para estudos ou práticas agrícolas com plantas cultivadas em vasos, ao termo “capacidade de vaso”. No presente estudo, analogamente ao conceito de capacidade campo e de vaso foi utilizado o termo “capacidade de pote” (CP), que é utilizado frequentemente por alguns autores. De acordo com Fontenelli (2014), a capacidade de pote se refere a quantidade de água retida no solo após este sofrer saturação e posterior ação da gravidade, até que se cesse a drenagem do mesmo.

No presente estudo, a determinação do parâmetro foi realizada em triplicata utilizando três vasos contendo 1 kg do solo, devidamente seco e destorroado em cada um deles, como mostra a Figura 6. O peso médio dos recipientes vazios verificado foi de 0,060 kg.

Figura 6 – Determinação da capacidade de pote.



FONTE: O autor (2018).

Já nos recipientes, o solo foi umedecido de forma que a distribuição de água em sua superfície fosse homogênea. Esse procedimento foi realizado até a saturação dos solos das três amostras e, através de furos homogeneamente distribuídos na área do fundo dos recipientes, os vasos foram submetidos à drenagem livre por 24h.

Dessa forma, com o peso do sistema total, do recipiente vazio e do solo utilizado em cada uma das amostras, obtiveram-se os valores do conteúdo de água retida pelo solo (capacidade de pote) para cada uma das amostras. Foram utilizadas as seguintes equações:

$$P_{\text{solo úmido},24h} = P_2 - P_1$$

$$CP = P_{\text{água}} = P_{\text{solo úmido},24h} - P_{\text{solo}}$$

Onde:

$$P_1 = \text{Tara} = \text{Peso do recipiente vazio} = 0,060 \text{ kg}$$

$$P_2 = \text{Peso do sistema solo úmido} + \text{pote}$$

$$P_{\text{solo}} = \text{Peso do solo}$$

$$P_{\text{solo úmido}, 24h} = \text{Peso do solo úmido após 24h}$$

$$P_{\text{água}} = \text{Peso da água que pode ser retida pelo solo}$$

Através da média dos resultados das triplicatas, apresentados na Tabela 2, foi determinado a capacidade de pote utilizada no experimento, com valor médio de 0,280 kg.

Tabela 2 – Determinação da capacidade de pote.

Amostra	P ₂ (kg)	P solo úmido (kg) 24h	CP (kg)
1	1,354	1,294	0,294
2	1,340	1,280	0,280
3	1,326	1,266	0,266
Média			0,280

FONTE: O autor (2018).

Nota: P₂ = Peso do sistema solo úmido + pote; CP = Capacidade de pote.

Gomes (2016), classificou o solo da região em estudo como franco-argilo-arenoso. Dessa forma, para evitar que o solo encharcasse e prejudicasse o desenvolvimento das mudas foram escolhidas para o estudo as concentrações da capacidade de pote de 30%, 50% e 70%, que simularam diferentes situações da disponibilidade hídrica imposta às mudas.

Dessa forma, para que se mantivessem diariamente as concentrações desejadas da capacidade de pote, a balança deveria sempre marcar para o sistema (solo + pote + água com a concentração desejada da CP) os seguintes valores:

- Para 70% da CP: $1 + 0,06 + (0,7 \times 0,280) = 1,256 \text{ kg}$
- Para 50% da CP: $1 + 0,06 + (0,5 \times 0,280) = 1,200 \text{ kg}$
- Para 30% da CP: $1 + 0,06 + (0,3 \times 0,280) = 1,144 \text{ kg}$

Esses valores, apesar de terem sido determinados com água potável, foram considerados para todas as fontes hídricas utilizadas no experimento.

6.5 Caracterização das mudas

6.5.1 Sementes

Dentre as espécies da mata nativa pertencentes à área prevista para a recuperação, escolheu-se para o experimento a espécie *Tabebuia avellanadae*, mais conhecida como Ipê Roxo.

As sementes foram cedidas pela sementeira da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) de Recife – PE. Antes de realizar o plantio nos vasos, as sementes foram postas para germinação durante 48 h em uma bandeja com papel toalha sob e sobre as mesmas, como pode ser visto na Figura 7.

O papel toalha foi umedecido e após as 48 h as sementes foram retiradas e plantadas nos vasos a uma profundidade de cerca de 1 cm a partir da superfície do substrato. Quatro sementes foram plantadas em cada um dos vasos.

Figura 7 – Germinação das sementes.

FONTE: O autor (2018).

6.5.2 *Produção e cultivo*

O experimento foi conduzido em estufa, localizada na Universidade Federal de Pernambuco – CAA, em Caruaru – PE, que apresenta as seguintes características: área de 18 m², nas dimensões de 3 m por 6 m, esteio central com 3,3 m de altura, pé direito com 2,4 m, cobertura de plástico transparente e contorno lateral em tela sombrite.

As sementes foram plantadas em vasos contendo 1 kg do solo cada, sendo regadas diariamente de forma manual até atingir diferentes concentrações da capacidade de pote (CP) pré-determinadas para cada pote.

Foram definidos nove tratamentos para o experimento, sintetizados no Quadro 3. Os tratamentos variaram entre si de acordo com as fontes hídricas e com as concentrações da CP utilizadas em cada um deles.

Quadro 3 – Tratamentos realizados no experimento.

Tratamento	Capacidade de Pote (CP)	Fonte Hídrica
T1	70% CP	Água potável
T2	50% CP	
T3	30% CP	
T4	70% CP	Água potável + NPK
T5	50% CP	
T6	30% CP	
T7	70% CP	Água residuária
T8	50% CP	
T9	30% CP	

FONTE: O autor (2018).

Os tratamentos T1, T2 e T3 consistiram na utilização exclusiva de água potável para a irrigação da cultura e utilizaram, respectivamente, 70%, 50% e 30% da capacidade de pote.

Os tratamentos T4, T5 e T6 adicionaram fertilizante (NPK) à água potável utilizada para irrigação das mudas e utilizaram, respectivamente, 70%, 50% e 30% da capacidade de pote.

Os tratamentos T7, T8 e T9 utilizaram apenas a água residuária tratada para a irrigação e utilizaram, respectivamente, 70%, 50% e 30% da capacidade de pote.

Cada um dos tratamentos foi realizado em triplicata. Dessa forma, o experimento foi montado com 27 vasos contendo 1 kg de solo em cada um, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Montagem do experimento.



FONTE: O autor (2018).

Por apresentarem porcentagens da capacidade de pote distintas, cada amostra requereu uma quantidade de rega diferente da outra. Dessa forma, a irrigação diária foi controlada por meio de pesagens diárias das amostras, feitas através de uma balança digital. O peso das mudas foi desconsiderado, visto que seu monitoramento seria inviável por necessitar de clones de mudas para cada tratamento que seriam retirados ao longo do experimento para controle.

Ao longo do experimento, os seguintes parâmetros de crescimento das mudas foram monitorados: altura da planta e número de folhas. A altura das mudas foi obtida com o auxílio de uma régua graduada, medindo-se a distância vertical da superfície do solo até a extremidade da folha mais afastada do mesmo. Já o número de folhas foi monitorado através de simples contagem visual. Ao final do experimento obteve-se o peso seco das plantas e de suas raízes por meio da pesagem destas em balança analítica.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Caracterização das fontes hídricas

Os resultados das análises químicas das fontes hídricas utilizadas para irrigação das mudas são apresentados na Tabela 3. A interpretação dos resultados foi feita com base nas considerações sobre a qualidade de água para irrigação de Almeida (2010) e Cordeiro (2001) e nos critérios e recomendações da qualidade de águas de reuso estabelecidos pela USEPA (1992) e pela WHO (1989 apud SOUZA FILHO, 2013)

Tabela 3 – Caracterização química das fontes hídricas.

Parâmetro	Unidade	Água	Água + NPK	Esgoto
pH	-	6,7	5,8	8,2
Condutividade elétrica	μS/cm	224	2924	1388
DQO	mg O ₂ /L	41,2	37,5	161
Nitrogênio amoniacal	mg N-NH ₃ /L	1,3	67	15
Nitrogênio total	mg N-NTK/L	1,8	136,2	39,51
Fósforo	mg P-PO ₄ ⁻³ /L	0,5	93	9
Coliformes totais	NMP/100 ml	0	0	41000
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	0	0	6000
STD	mg SDT/L	153	2323	712

FONTE: O autor (2018).

pH

Almeida (2010), ao tratar a respeito da qualidade das águas de irrigação, considera como normais os valores de pH que estão compreendidos entre 6 e 8,5, já os valores distintos a estes indicam uma qualidade duvidosa da água ou a existência de íons tóxicos. Dessa forma, foi possível verificar que a água potável + NPK ficou um pouco abaixo dos valores recomendados; essa fonte hídrica foi aplicada nos tratamentos T4, T5 e T6. Quando se comparou a água potável com a solução nutritiva, foi possível constatar que a adição do fertilizante provocou uma redução do pH.

Para as fontes Água (T1, T2 e T3) e Esgoto (T7, T8, T9) os valores de pH estiveram dentro dos limites recomendáveis.

Condutividade Elétrica

Segundo Cordeiro (2001), a salinidade pode ser classificada de acordo com os valores de condutividade elétrica, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação da salinidade das águas segundo sua condutividade elétrica.

Classe	Salinidade	CE ($\mu\text{S/cm}$)
C1	Baixa	< 250
C2	Média	250 – 750
C3	Alta	700 - 2,250
C4	Muito alta	> 2,250

FONTE: Adaptado de Cordeiro (2001).

Dessa forma, constatou-se que a água potável (utilizada nos tratamentos T1, T2 e T3) enquadrava-se na classe C1, com valor de 224,1 $\mu\text{S/cm}$. De acordo com Cordeiro (2001), essas condições permitem que a água seja utilizada na irrigação da maior parte das culturas em quase todos os solos, com uma baixa probabilidade de ocorrência de problemas de salinidade.

A solução nutritiva de água potável + NPK (utilizada nos tratamentos T4, T5 e T6), apresentou uma condutividade elétrica de 2924 $\mu\text{S/cm}$, enquadrando-se na classe C4 (muito alta). De acordo com Cordeiro (2001), águas com salinidade muito alta não podem ser utilizadas em condições normais, apenas em solos permeáveis e em plantas que apresentem alta tolerância à sais.

Já o esgoto (utilizado nos tratamentos T7, T8 e T9), com condutividade elétrica de 1388 $\mu\text{S/cm}$, classificou-se na C3 (alta). Segundo Cordeiro (2001), fontes hídricas com níveis de salinidade alto como este não devem ser usadas em solos com baixa drenagem.

Dessa forma, no quesito condutividade elétrica, a água potável utilizada nos tratamentos T1, T2 e T3 apresentou o melhor resultado, com um baixo risco de salinização, entre as fontes hídricas analisadas.

Nitrogênio amoniacal

Segundo Almeida (2010), grande parte das culturas apresentam um grau de restrição de uso para concentrações de nitrogênio amoniacal maiores que 30 mg/L, mas já são afetadas a partir de concentrações de 5 mg/L. O autor ressalta ainda que o nitrogênio é um elemento benéfico às culturas e que deve ser aproveitado ao máximo.

Observou-se que o resultado da solução de água + NPK, com valor de 67 mg/L, provavelmente não foi tolerado pela cultura com a irrigação diária dessa solução, pois nenhuma muda conseguiu se desenvolver nos tratamentos que utilizaram essa fonte hídrica (T4, T5 e T6), esses dados de produtividade serão apresentados em detalhes posteriormente.

As soluções de água potável (utilizadas nos tratamentos T1, T2 e T3) e de esgoto (utilizado nos tratamentos T7, T8 e T9) apresentaram, respectivamente, concentrações de nitrogênio amoniacal de 1,3 mg/L e 15 mg/L. Esses valores foram inferiores a 30 mg/L que, em geral, é o limite para que as plantas apresentem algum grau de restrição de uso para diversas culturas, sendo aceitáveis para a irrigação das mudas.

Dos tratamentos que desenvolveram mudas ao longo do experimento (T1 e T7), os que utilizaram esgoto (T7) apresentaram uma maior produtividade no estudo realizado. Dessa forma, supõe-se que os tratamentos que utilizaram esgoto foram beneficiados pela maior disponibilidade de nitrogênio, em quantidades que foram toleradas e bem aceitas pela cultura.

Fósforo

De acordo com Almeida (2010), as concentrações de fósforo usuais, que não apresentam nenhum grau de restrição de uso para grande parte das culturas, encontram-se na faixa de 0 a 2 mg/L. Apesar disso, da mesma forma que o nitrogênio amoniacal, o fosforo é um elemento benéfico às plantas e deve ser aproveitado o máximo possível, em níveis que não se tornem tóxicos a elas.

Observou-se que o teor de fósforo obtido na água potável (utilizada nos tratamentos T1, T2 e T3), com valor de 0,5 mg/L, estava dentro da faixa recomendada (0 a 2 mg/L) para que não se tenha nenhuma restrição de uso.

O teor de fósforo encontrado na solução nutritiva de água + NPK (utilizada nos tratamentos T4, T5 e T6), com valor de 92,73 mg/L, foi muito superior a concentração que não apresentaria nenhum grau de restrição de uso (2 mg/L). Com isso, supõe-se que essa concentração de fosforo contribuiu para produzir um efeito tóxico e prejudicial à cultura pela irrigação diária com essa solução, de forma que nenhuma muda conseguiu se desenvolver nesses tratamentos.

Já o teor de fósforo obtido no esgoto (utilizado nos tratamentos T7, T8 e T9), com valor de 8,9 mg/L, embora acima da faixa recomendada para que não houvesse nenhuma restrição de uso, dos tratamentos que desenvolveram mudas ao longo do experimento (T1 e T7), os que

receberam água residuária (T7) apresentaram uma maior produtividade em relação a altura e a massa seca das plantas no estudo realizado.

Dessa forma, supõe-se que os tratamentos que utilizaram esgoto foram beneficiados pela maior disponibilidade de fósforo, em quantidades que foram toleradas e bem aceitas pela cultura de Ipê Roxo, apesar de superiores a que não apresentaria nenhuma restrição de uso (2 mg/L).

Coliformes termotolerantes

A água potável e a água potável + NPK, não apresentaram coliformes, como esperado. Já na água residuária (utilizada nos tratamentos T7, T8 e T9) foi observado um valor de coliformes termotolerantes de 6×10^3 NMP/100 ml.

Para a categoria que trata sobre a irrigação árvores, da classificação apresentada pela WHO (1989 apud SOUZA FILHO, 2013) que está disposta no Quadro 1 e que se refere a qualidade microbiológica para uso de esgoto na agricultura, não se estabelece nenhum padrão recomendado para coliformes.

Através da NBR 13.969/97, que trata acerca de tanque sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, enquadra-se o reuso para cultivo das mudas de Ipê Roxo na Classe 4 (ABNT, 1997). Com isso, os valores verificados através das análises dos esgotos coletados mostraram-se fora dos limites estabelecidos por esta norma, com o número de coliformes termotolerantes superior a 5000 NMP/100 ml.

Sólidos totais dissolvidos (STD)

A USEPA (1992) recomenda valores de sólidos totais dissolvidos de 500 mg/L a 2000 mg/L para águas de irrigação. A água residuária (utilizada nos tratamentos T7, T8 e T9) apresentou concentração de STD dentro dos limites recomendados, com valor médio de 712 mg/L.

Na análise da água potável (utilizada nos tratamentos T1, T2 e T3) observou-se valor de 153 mg/L. De acordo com a USEPA (1992), valores abaixo de 500 mg/L não causam nenhum efeito prejudicial às culturas.

Já nas análises da água + NPK (utilizada nos tratamentos T4, T5 e T6) observou-se 2323 mg/L. Esta condição, segundo a USEPA (1992), pode ser utilizada apenas em plantas que a toleram e em solos permeáveis, não correspondendo a presente situação.

7.2 Caracterização do solo inicial

Os resultados das análises químicas do solo inicial utilizado no experimento se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados das análises químicas do solo no início do experimento.

Parâmetros	Unidade	Média ± Desvio padrão
P	mg/dm ³	2,5 ± 0,5
Amônio	mg/kg	4,7 ± 0
pH	-	4,8 ± 0,05
Na	cmolc/dm ³	0,09 ± 0
V	%	35 ± 1
m	%	47,5 ± 1

Fonte: O autor (2018).

Nota: P = Fósforo; pH = Potencial hidrogeniônico; Na = Sódio; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio.

Pela análise da Tabela 5 foi possível constatar que o solo estava ácido e com uma baixa concentração de nutrientes, uma vez que foi encontrado pH de 4,8 e os macronutrientes fósforo e amônio em concentrações de 2,5 mg/dm³ e 4,67 mg/kg, respectivamente. No entanto, como o objetivo era avaliar a viabilidade e benefícios com a aplicação do efluente tratado, optou-se por não fazer a correção do solo bruto e avaliar se a aplicação da água residuária com elevado valor de pH (pH = 8,2) era capaz de aumentar o pH do solo.

A concentração de sódio estava próxima de zero, característica de solos saudáveis, mas a saturação por bases indicava um solo distrófico (pouco fértil), com V < 50%, e a saturação por alumínio indicava um nível altamente prejudicial, com m > 45%, conforme classificações apresentadas por Ronquim (2010).

7.3 Avaliação do solo ao final do experimento

Primeiramente, para avaliação da qualidade do solo após o experimento, foram realizados testes de comparação de médias através da análise de Tukey, com nível de significância de 10%. Esses testes foram feitos entre as diferentes capacidades de pote (CP) para cada tipo de fonte hídrica utilizada, ou seja, foi verificada a diferença significativa entre T1, T2 e T3, entre T4, T5 e T6 e depois, entre T7, T8 e T9. A Tabela 6 apresenta os valores médios observados e os testes estatísticos.

Tabela 6 – Resultados da análise química do solo ao final do experimento e análise estatística entre as capacidades de pote que utilizaram a mesma fonte hídrica.

Tratamento	CP (%)	Fonte hídrica	P (mg/dm ³)	Amônio (mg/kg)	pH	Na (cmolc/dm ³)	V (%)	m (%)
T1	70	Água potável	1,3 ns	15,6 a	4,6 ns	0,2 ns	28,3 ns	56,3 ns
T2	50		2 ns	13,2 a	4,2 ns	0,2 ns	31,5 ns	50 ns
T3	30		2 ns	50,6 b	4,5 ns	0,2 ns	28 ns	59 ns
T4	70	Água potável + NPK	111 ns	457,3 ns	4 ns	0,3 a	45,3 a	21,3 a
T5	50		148 ns	437,1 ns	4 ns	0,3 a	47,5 a	20 a
T6	30		109 ns	412,2 ns	3,9 ns	0,4 b	40 b	32 b
T7	70	Água residuária	2,7 ns	19,4 a	4,8 ns	1,3 ns	49,3 ns	33 ns
T8	50		2,7 ns	15,6 a	4,8 ns	1,3 ns	46,7 ns	34 ns
T9	30		3,7 ns	35 b	4,7 ns	1,1 ns	49,3 ns	33,7 ns

Fonte: O autor (2018).

Notas: Tratamento – T1, T2 e T3: água potável; T4, T5 e T6: água potável + NPK; T7, T8 e T9: esgoto; pelo teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente; ns: diferença não significativa.

Para os tratamentos em que se utilizou água potável (T1, T2 e T3) como fonte hídrica, a Capacidade de Pote não foi um parâmetro relevante para todos os parâmetros (exceto para o amônio), ou seja, independente da CP os valores foram semelhantes entre si. De forma semelhante, nos tratamentos com água residuária (T7, T8 e T9), a CP também não foi um aspecto relevante para os parâmetros, exceto para o amônio.

Já para o grupo de tratamentos que utilizou água potável + NPK (T4, T5 e T6), os resultados podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Para os parâmetros P (fósforo), pH e amônio não houve diferença significativa entre as CP testadas.
- Para os parâmetros sódio (Na) e saturação por alumínio (m), os resultados obtidos em T6 (CP 30%) foram superiores aos de T4 e T5 (semelhantes entre si).
- Para o índice de saturação por bases (V), os resultados de T6 foram ligeiramente inferiores aos de T4 e T5 (semelhantes entre si).

Fósforo

Para os três grupos de fontes hídricas (água potável, água potável + NPK e esgoto), os resultados das análises de P não apresentaram diferença significativa entre as capacidades de pote, de forma que não foi possível apontar qual capacidade foi melhor. Diante desses resultados, para cada uma das fontes hídricas testadas e para cada um dos parâmetros, os resultados dos tratamentos foram unidos quando a CP não apresentou diferença significativa entre eles.

Os valores médios e o teste estatístico entre as diferentes fontes hídricas para o parâmetro fósforo (P) são apresentados na Tabela 7. Pela análise da Tabela foi possível constatar que para o P, a água potável foi similar à água residuária e que a adição do NPK promoveu uma condição diferente ao solo.

Tabela 7 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro P.

Parâmetro	Unidade	T1, T2 e T3	T4, T5 e T6	T7, T8 e T9
		Água potável	Água potável + NPK	Água residuária
P	mg/dm ³	1,71 a	119,5 b	3,0 a

Fonte: O autor (2018).

Nota: De acordo com o teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente entre si.

O fósforo é um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento das plantas e apresenta um papel de destaque na fotossíntese, na transferência de energia da célula e na respiração. A escassez de P no início do ciclo vegetativo pode ocasionar restrições ao desenvolvimento das plantas e, mais adiante, mesmo aumentando-se o teor de P a níveis adequados, elas não conseguem se recuperar (GRANT et al., 2001).

O P apresenta uma baixa movimentação na maioria dos solos, permanecendo geralmente onde é disposto, seja pela adição de fertilizantes ao solo ou pelo intemperismo de minerais. Além disso, sua absorção é menor em solos compactados, uma vez que a resistência mecânica do solo reduz a absorção dos nutrientes pelas raízes (KLEIN e AGNE, 2012).

A Tabela 8 apresenta uma classificação para a interpretação da análise de fósforo no solo.

Tabela 8 – Nível de fósforo no solo.

Nível	P (mg/dm ³)
Baixo	Até 10
Médio	11-20
Alto	21-30
Muito alto	> 30

Fonte: Adaptado de Freire et al. (2013)

Pela avaliação da Tabela 7, não houve nenhum tratamento que apresentou teor médio de P no solo semelhante aos que foram irrigados com água potável + NPK (T4, T5 e T6), que apresentaram valores muito elevados de P (média de 119,5 mg/dm³). Nesse caso, as mudas estavam sendo cultivadas em um solo com quatro vezes mais fósforo do que o nível de 30 mg/dm³ considerado como muito alto, conforme a Tabela 8. Esses valores extremamente elevados podem ter atrapalhado a absorção de outros nutrientes e se tornado prejudiciais ou tóxicos para o desenvolvimento das mudas, mostrando que a adição de NPK foi excessiva.

Ainda de acordo com a avaliação da Tabela 7, os resultados dos tratamentos com água potável (T1, T2 e T3) e com esgoto (T7, T8 e T9), estatisticamente semelhantes e com valores médios respectivos de 1,71 mg/dm³ e 3 mg/dm³, indicaram baixos teores de P no solo, segundo a classificação apresentada por Freire et al (2013). Apesar disso, foram os tratamentos que apresentaram as melhores condições de P no solo.

Amônio

De acordo com o apresentado na Tabela 6, apenas nos tratamentos em que se aplicou água + NPK (T4, T5, T6), o uso de diferentes capacidades de pote não influenciou na concentração final de amônio nos solos, que apresentaram valores maiores que 400 mg/kg. Vale ressaltar que a concentração de amônio foi demasiadamente elevada na solução de água com NPK (67 mg/L) de forma que, independente da CP, a quantidade de amônio aplicada já era bastante elevada.

Para os tratamentos que utilizaram água potável (T1, T2 e T3), o parâmetro amônio teve os resultados de T1 (CP 70%) e T2 (CP 50%) semelhantes, com valores médios respectivos de 15,6 mg/kg e 13,2 mg/kg (Tabela 6). Contudo, esses valores apresentaram uma diferença significativa em relação ao obtido em T3 (CP 30%), que teve uma maior concentração de amônio, com valor médio de 50,6 mg/kg.

Para os tratamentos que utilizaram água residuária (T7, T8 e T9), o parâmetro amônio teve os resultados de T7 (CP 70%) e T8 (CP 50%) semelhantes, com valores médios respectivos de 19,4 mg/kg e 15,6 mg/kg (Tabela 6). Contudo, esses valores apresentaram uma diferença significativa em relação ao obtido em T9 (CP 30%), que teve uma maior concentração de amônio, com valor médio de 35 mg/kg.

Dessa forma, tanto para os tratamentos em que foram aplicados apenas água potável (T1, T2, T3) como para os que utilizaram água residuária (T7, T8, T9), os resultados da concentração de amônio no solo para a capacidade de pote de 30% foram maiores que os demais e conferiram melhores condições ao solo devido a maior disponibilidade de nitrogênio, macronutriente essencial ao desenvolvimento das plantas.

Diante desses resultados, optou-se por agrupar apenas os tratamentos com resultados semelhantes entre si, como exposto na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro amônio.

Parâmetro	Unidade	T1 e T2	T3	T4, T5 e T6	T7 e T8	T9
Amônio	mg/kg	14,39 a	50,56 a	435,55 b	35 a	17,5 a

Fonte: O autor (2018).

Nota: De acordo com o teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente entre si.

O nitrogênio (N) é, normalmente, exigido em maiores quantidades pelas plantas, por isso é considerado um macronutriente. É imprescindível para formação de diversos componentes responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das mesmas, com destaque para as proteínas e as clorofilas (MENDES, 2007).

O N é absorvido, principalmente, pelas formas de nitrato e amônio presentes na solução do solo. A limitação ou o excesso desse nutriente nas plantas pode desenvolver um estresse nutricional que prejudica o processo metabólico que afeta principalmente a síntese proteica, o que causa consequências no crescimento das culturas (CRUZ et al., 2006).

Pela avaliação da Tabela 9, foi possível constatar que T4, T5 e T6 foram semelhantes entre si, sendo exatamente os tratamentos que receberam elevadíssimas concentrações de amônio através da fonte hídrica (água + NPK). Nesse caso, embora as concentrações de amônio no solo terem sido maiores, esses valores foram extremamente elevados, com valor médio de 435,55 mg/kg. Em estudo realizado com arroz, Holzschuh et. al (2009) concluiu que o amônio é tóxico em concentrações elevadas. Segundo Flora et al. (2010), amônio em excesso é extremamente prejudicial e tóxico para a planta e a toxidez de N interfere na absorção de outros nutrientes disponíveis, uma vez que o excesso de um nutriente pode levar à deficiência de outros.

Ainda de acordo com a avaliação da Tabela 9, as análises estatísticas não apresentaram diferença significativa entre nenhum dos tratamentos que utilizaram água potável (T1, T2, T3) ou esgoto (T7, T8 e T9), não sendo possível determinar o tratamento de melhor desempenho, em termos do parâmetro amônio, entre eles.

pH

De acordo com a Tabela 6 supra apresentada, para os três grupos de tratamentos (água potável, água potável + NPK e esgoto), os resultados das análises do pH não apresentaram uma diferença significativa entre as capacidades de pote, de forma que não foi possível apontar o melhor desempenho entre as CP's avaliadas. Por outro lado, entre as fontes hídricas utilizadas, de acordo com a Tabela 10, ocorreu uma diferença significativa entre os resultados para o parâmetro pH.

Tabela 10 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro pH.

Parâmetro	Unidade	T1, T2 e T3	T4, T5 e T6	T7, T8 e T9
		Água potável	Água potável + NPK	Água residuária
pH	-	4,46 a	3,96 b	4,74 c

Fonte: O autor (2018).

Nota: De acordo com o teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente entre si.

O potencial hidrogeniônico (pH) é um indicador da quantidade de íons hidrogênio (H^+) existentes no solo. Solos com acidez elevada (baixos valores de pH) geralmente apresentam: pobreza em bases (principalmente cálcio e magnésio), altos teores de alumínio tóxico, excesso de manganês e carência de determinados micronutrientes (RONQUIM, 2010). A Tabela 11 apresenta faixas de valores para interpretação dos resultados do pH.

Tabela 11 – Interpretação dos resultados do pH.

pH	Interpretação
< 4,4	Extremamente ácido
4,4 - 5,3	Fortemente ácido
5,4 - 6,5	Moderadamente ácido
6,6 - 7,3	Neutro
7,4 - 8,3	Moderadamente alcalino
> 8,3	Fortemente alcalino

FONTE: Freire et al. (2013).

Pela avaliação da Tabela 10, os valores médios de pH de 4,46 e de 4,74 encontrados, respectivamente, nos tratamentos em que se aplicou água potável (T1, T2 e T3) e esgoto (T7, T8 e T9), se enquadram na faixa de classificação fortemente ácida (4,4 – 5,3), conforme a Tabela 11. Já nos tratamentos em que se aplicou água potável + NPK (T4, T5 e T6), o valor médio foi de 3,96, classificando o solo como extremamente ácido (< 4,4).

Dessa forma, os valores do pH obtidos nos tratamentos que utilizaram esgoto (T7, T8 e T9), apesar de também apresentarem um nível de acidez elevado no solo, foram melhores do que os obtidos nos tratamentos que utilizaram água potável (acidez ligeiramente maior que a dos tratamentos com esgoto), e água potável + NPK (extremamente ácidos).

Em solos muito ácidos as plantas apresentam, geralmente, teores tóxicos ou deficientes em determinados elementos nutritivos. A acidez do solo pode ser corrigida através da calagem, ou seja, pela utilização de um corretivo que eleva os valores do pH do solo. A calagem é uma prática agrícola recomendada que gera, em muitos casos, benefícios econômicos e ambientais (FERREIRA, 2014).

A calagem proporciona inúmeros benefícios, dentre eles: aumento do pH, melhoria de propriedades físicas de alguns solos, aumento da saturação por bases (V%), neutralização do alumínio e manganês tóxicos, aumento dos teores de cálcio e magnésio, aumento da disponibilidade de fósforo, aumento da atividade de microrganismos (RONQUIM, 2010).

Observou-se que a aplicação da água residuária com pH elevado (pH = 8,2) não foi suficiente para elevar o pH do solo, que não apresentou diferença significativa entre o início do experimento (pH = 4,8) e o final do experimento (pH = 4,74).

Sódio

O sódio tem grande poder salino e em excesso saliniza o solo. Dessa forma, sua presença pode causar diversos problemas, como: Menor disponibilidade de nutrientes, menor potencial da água no solo, compactação do solo e menor crescimento radicular. Em solos saudáveis o teor de sódio geralmente é nulo ou se aproxima disso (LABORSOLO, 2016).

Conforme a Tabela 6 anteriormente apresentada, para os tratamentos que utilizaram água potável (T1, T2 e T3) e água residuária (T7, T8 e T9), a CP não foi um aspecto relevante para o teor de sódio no solo. Já para os tratamentos que utilizaram água potável + NPK (T4, T5 e T6), os valores da concentração de sódio em T4 (CP 70%) e T5 (CP 50%) conferiram um melhor estado para o solo, uma vez que apresentaram um valor médio de 0,3 cmolc dm⁻³ ligeiramente mais próximo de zero e estatisticamente diferente do resultado obtido em T6 (CP 30%), que apresentou um valor médio de 0,4 cmolc dm⁻³.

Diante desses resultados, optou-se por agrupar apenas os tratamentos com resultados semelhantes entre si, como exposto na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro sódio.

Parâmetro	Unidade	T1, T2 e T3	T4 e T5	T6	T7, T8 e T9
Na	cmolc/dm ³	0,22 a	0,34 a	0,26 a	1,24 c

Fonte: O autor (2018).

Nota: De acordo com o teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente entre si.

Pela avaliação da Tabela 12, constatou-se que não houve nenhum tratamento com concentração média semelhante à dos que utilizaram água residuária (T7, T8 e T9), com valor de 1,24 cmolc dm⁻³ mais elevado que os demais.

Os tratamentos que utilizaram água potável (T1, T2 e T3) e água potável + NPK (T4, T5 e T6), todos estatisticamente semelhantes para o parâmetro sódio, se mostraram mais favoráveis, nesse aspecto, ao cultivo das mudas, visto que apresentaram valores de sódio mais próximos de zero.

Saturação por bases (V)

Conforme a Tabela 6, para os tratamentos em que foram utilizados água potável (T1, T2 e T3) e água residuária (T7, T8 e T9), a CP não foi um aspecto relevante para a saturação por bases. Já para os tratamentos em que se aplicou água potável + NPK (T4, T5 e T6), os valores de V foram semelhantes para T4 (CP 70%) e T5 (CP 50%), com médias respectivas de 45,3% e 47,5% que foram superiores ao valor médio de 40% obtido em T6 (CP 30%).

Saturação por bases (V%) é a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem da capacidade de troca de cátions (RONQUIM, 2010). Além disso, é um indicativo das condições de fertilidade do solo, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Classificação do solo devido a saturação por bases.

Classificação	Características
Eutróficos (férteis)	$V \geq 50\%$
Distróficos (pouco férteis)	$V < 50\%$
Álicos (muito pobres)	$V < 50\%$; $m > 50\%$; $Al > 3\text{mmolc/dm}^3$

FONTE: Ronquim (2010).

Dessa forma, os resultados das análises de V para T4 (CP 70%) e T5 (CP 50%), apesar de também indicarem solos pouco férteis ($V < 50\%$), foram melhores que o de T6 (CP 30%). De acordo com Sobral (2015), solos com saturação por bases menor que 50% necessitam de correção. A correção do solo pode ser feita com calcário que eleva o pH e insolubiliza o alumínio trocável, tornando-o inofensivo para as raízes e processos do solo. Ronquim (2010) ressalta que um índice de V% baixo indica que com isso, o solo provavelmente será ácido, podendo conter alumínio em níveis prejudiciais às mudas.

Em termos de saturação por bases, as culturas costumam apresentar boa produtividade quando são obtidos valores no solo entre 50% e 80% e pH entre 6,0 e 6,5. Já solos com V% maiores que 70 indicam que não há necessidade de calagem (SOBRAL et. al, 2015).

Diante desses resultados, optou-se por agrupar apenas os tratamentos com resultados semelhantes entre si, como exposto na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro V.

Parâmetro	Unidade	T1, T2 e T3	T4 e T5	T6	T7, T8 e T9
V	%	29,14 c	46,2 ab	40 a	48,44 b

Fonte: O autor (2018).

Nota: De acordo com o teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente entre si.

Pela avaliação da Tabela 14, os resultados de todos os tratamentos foram inferiores a 50% e classificaram os solos como distróficos ou álicos. Em termos de saturação por bases, os resultados dos tratamentos T7, T8 e T9 (água residuária) foram os que mais se aproximaram de 50%, com valores médios de 48,44%, apresentando o melhor resultado para o solo, nesse aspecto, entre os tratamentos realizados.

Vale ressaltar que os tratamentos T4 e T5 (água potável + NPK, respectivamente, a 70% e a 50% da CP), com saturação por bases de 46,2%, foram estatisticamente semelhantes aos tratamentos T7, T8 e T9.

Saturação por Al (m)

Teixeira et al (2017) define a saturação por alumínio como um indicador da proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.

Segundo Ronquim (2010), o alumínio no solo se estabelece como principal inimigo de grande parte das culturas. Embora que para algumas plantas nativas, como as do Cerrado, o alumínio possa ser um elemento benéfico.

De acordo com Sobral et al. (2015), a presença de alumínio no solo pode ser prejudicial ao crescimento das raízes e pode influenciar na disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas. A Tabela 15 apresenta valores para interpretação dos resultados da saturação de alumínio no solo.

Tabela 15 – Classificação do nível de saturação por alumínio.

Classificação	m (%)
Muito baixo (não prejudicial)	< 5
Baixo (pouco prejudicial)	5 - 10
Médio (medianamente prejudicial)	10,1 - 20
Alto (prejudicial)	20,1 - 45
Muito alto (altamente prejudicial)	> 45

FONTE: Osaki (1991, apud RONQUIM, 2010)

De acordo com a Tabela 6, para os tratamentos que utilizaram água potável (T1, T2 e T3) e água residuária (T6, T7 e T8), a CP não foi um aspecto relevante para a saturação por alumínio. Por sua vez, dos tratamentos que utilizaram água potável + NPK (T4, T5 e T6), os tratamentos T4 (CP 70%) e T5 (CP 50%) foram semelhantes estatisticamente, com médias respectivas de

21,3% e 20%. Já o tratamento T6 (CP 30%), diferente estatisticamente de T4 e T5, apresentou um nível de saturação de alumínio de 32%.

Conforme a Tabela 15, a saturação por alumínio de todos os tratamentos que utilizaram água potável + NPK (T4, T5 e T6) foram classificadas como prejudiciais (categoria alta). Apesar disso, T4 (CP 70%) e T5 (CP 50%) apresentaram uma saturação por alumínio um pouco inferior, identificando uma situação menos prejudicial do que a de T6 (CP 30%).

A partir dessa avaliação agrupou-se os tratamentos que apresentaram resultados estatisticamente semelhantes, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados e análise estatística entre os tratamentos para o parâmetro m.

Parâmetro	Unidade	T1, T2 e T3	T4 e T5	T6	T7, T8 e T9
m	%	54,57 b	20,8 c	32 a	35,56 a

Fonte: O autor (2018).

Nota: De acordo com o teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente entre si.

A classificação apresentada na Tabela 15, enquadra o valor médio de saturação por alumínio nos tratamentos que utilizaram água potável (T1, T2 e T3) na classe muito alta, caracterizando um valor altamente prejudicial. Já os tratamentos que utilizaram água potável + NPK (T4, T5 e T6) e esgoto (T7, T8 e T9) se enquadraram na classe alta de saturação por alumínio, ainda considerada prejudicial, mas não tanto quanto nos tratamentos com água potável.

Dessa forma, por terem apresentado os menores valores, considerou-se os tratamentos T4 e T5 com água potável + NPK a 70% e a 50% da CP como os que obtiveram o melhor desempenho no quesito saturação por alumínio, sendo menos prejudiciais do que nos demais tratamentos.

7.3 Produtividade das mudas

A rega do experimento iniciou no dia 21/04/2018 e encerrou no dia 21/06/2018, totalizando 2 meses de experimento. Os primeiros sinais de germinação das sementes na superfície do substrato apareceram com uma semana nos tratamentos T1 e T7 que utilizaram 70% da CP e foram irrigados, respectivamente, com água potável e com esgoto, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Primeiros sinais de germinação das sementes: (a) T1 – Água CP 70%; (b) T7 – Esgoto CP 70%.

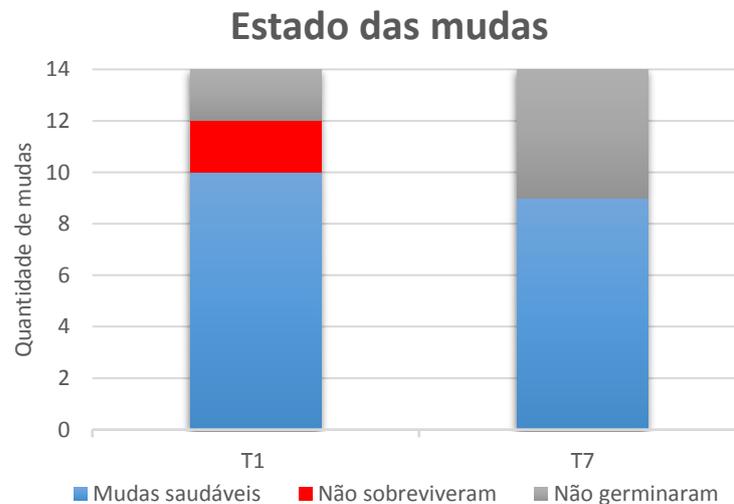


FONTE: O autor (2018).

Com quase duas semanas do início do experimento algumas mudas começaram a atingir alturas significativas de 1 cm e, com isso, iniciou-se o monitoramento da altura e número de folhas das plantas, cujos resultados serão discutidos nos próximos tópicos.

Ao longo do experimento algumas mudas não resistiram às condições impostas aos tratamentos. O estado das mudas ao final do experimento está resumido na Figura 10.

Figura 10 – Estado das mudas ao final do experimento.



FONTE: O autor (2018).

Nota: T1 – Água potável a 70% da CP; T7 – Esgoto a 70% da CP.

Observou-se que T1 (água potável a 70% da CP) desenvolveu o maior número de mudas saudáveis até o final do experimento, com um total de 10 mudas, seguido de T7 (esgoto a 70% da CP) que apresentou 8. Os demais tratamentos não foram abordados na Figura 11 por não terem germinado nenhuma semente ou por terem germinado, mas não sobrevivido.

Os tratamentos T4, T5 e T6 que utilizaram água + NPK não foram condizentes com as necessidades das plantas e se mostraram inviáveis para o cultivo das sementes de Ipê Roxo, uma vez que nenhuma muda saudável estava presente ao final do experimento nesses tratamentos.

Da mesma forma, os tratamentos T2, T3, T5, T6, T8 e T9 com estresse hídrico de 50% e de 30% da capacidade de pote, também não foram satisfatórios para a produção das mudas, uma vez que nenhuma muda saudável estava presente ao final do experimento nesses tratamentos.

Com isso, o desenvolvimento das mudas dos tratamentos T1 a T9 foi produtivo apenas nos tratamentos utilizando:

- Esgoto a 70% da capacidade de pote;
- Água a 70% da capacidade de pote.

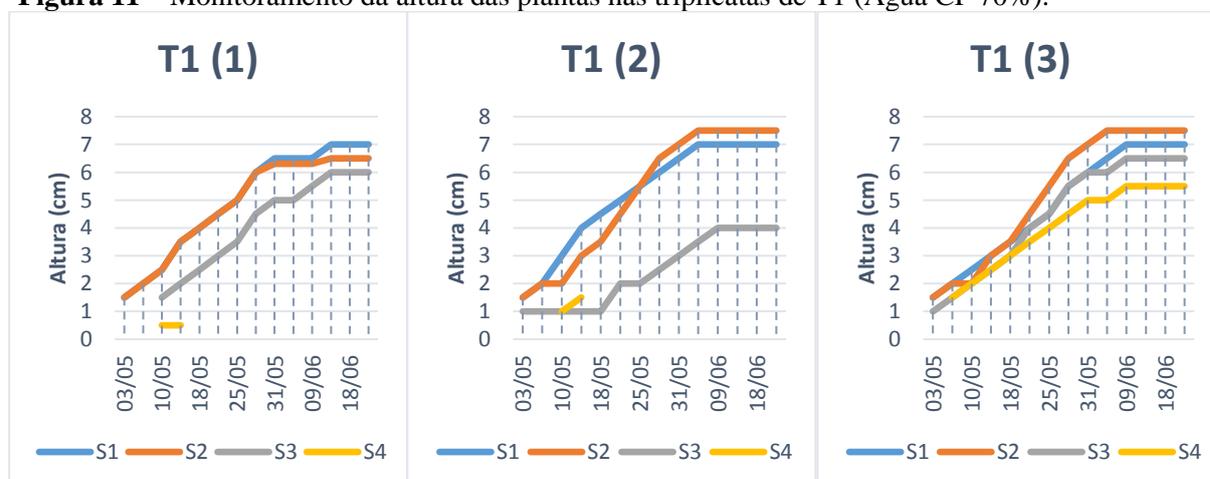
7.3.1 Altura das plantas

Tratamentos com água potável

Dos tratamentos que utilizaram água potável, apenas o tratamento T1, referente ao tratamento com essa fonte hídrica a 70% da capacidade de pote, apresentou mudas saudáveis ao final do experimento.

A Figura 11 apresenta o crescimento altimétrico das mudas ao longo do experimento para as triplicatas do tratamento T1, que desenvolveram mudas com altura média geral de 6,4 cm. A altura média em cada pote separadamente foi de 6,50 cm para o pote 1, 6,17 cm para o pote 2 e 6,50 cm para o pote 3. Os três potes desenvolveram as quatro sementes plantadas neles, porém nos potes 1 e 2 uma das plantas (S4) não resistiu.

Figura 11 – Monitoramento da altura das plantas nas triplicatas de T1 (Água CP 70%).



FONTE: O autor (2018).

Nota: S = Semente.

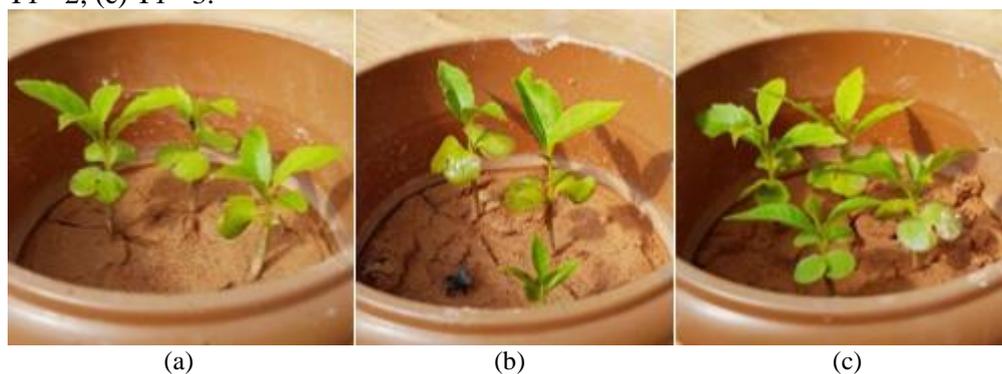
As triplicatas do tratamento T1 podem ser observadas no meio do experimento na Figura 12 e ao final dele na Figura 13.

Figura 12 – Triplicatas de T1 (Água CP70%) no meio do experimento: (a) T1 - 1; (b) T1 - 2; (c) T1 - 3.



FONTE: O autor (2018).

Figura 13 – Triplicatas de T1 (Água CP70%) ao final do experimento: (a) T1 - 1; (b) T1 - 2; (c) T1 - 3.



FONTE: O autor (2018).

Tratamentos com água potável + NPK

Dos tratamentos que utilizaram água potável + NPK, apenas o pote 2 do tratamento T4, referente ao tratamento com essa fonte hídrica a 70% da capacidade de pote, germinou sementes.

Das quatro sementes apenas duas germinaram, mas mesmo assim não sobreviveram às condições impostas ao tratamento, adquirindo uma coloração preta nas folhas e morrendo em seguida (Figura 14).

Figura 14 – Monitoramento da altura das plantas de T4 (2).

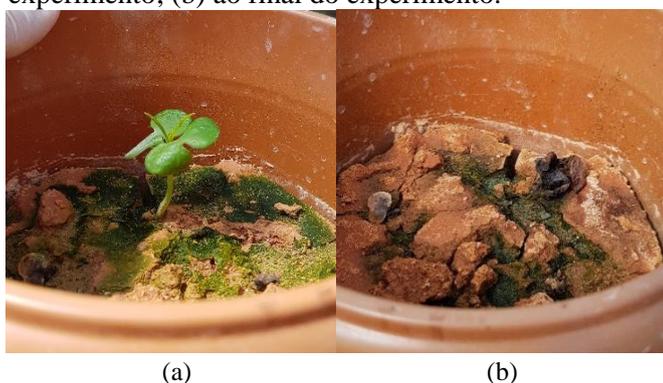


FONTE: O autor (2018).

Nota: T4 = Água + NPK CP70%; S = Semente.

As imagens do pote 2 do tratamento T4 no meio do experimento e ao final do experimento são apresentadas na Figura 15.

Figura 15 – Pote 2 do tratamento T4: (a) no meio do experimento; (b) ao final do experimento.



FONTE: O autor (2018).

Nota: T4 = Água + NPK CP70%.

Tratamentos com água residuária (esgoto)

Dos tratamentos que utilizaram água residuária, apenas o tratamento T7, referente ao tratamento com esgoto a 70% da capacidade de pote, apresentou mudas saudáveis ao final do experimento, com altura média geral de 8,38 cm.

O crescimento altimétrico das triplicatas de T7 ao longo do experimento é apresentado na Figura 16. A altura média em cada pote separadamente foi de 8,00 cm para o pote 1, 8,83 cm para o pote 2 e 8,17 cm para o pote 3.

Figura 16 – Monitoramento da altura das plantas nas triplicatas de T7 (Esgoto CP 70%).

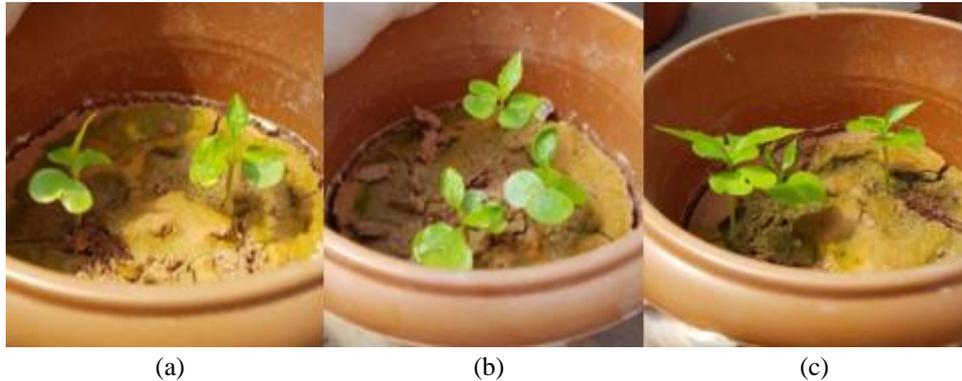


FONTE: O autor (2018).

Nota: S = Semente.

As triplicatas do tratamento T7 podem ser observadas no meio do experimento na Figura 17 e ao final dele na Figura 18.

Figura 17 – Triplicatas de T7 (Esgoto CP70%) no meio do experimento: (a) T7 - 1; (b) T7 - 2; (c) T7 - 3.



FONTE: O autor (2018).

Figura 18 – Triplicatas de T7 (Esgoto CP70%) ao final do experimento: (a) T7 - 1; (b) T7 - 2; (c) T7 - 3.



FONTE: O autor (2018).

A Tabela 17 traz o resultado das medições das alturas das plantas que estavam no final do experimento. As análises estatísticas foram feitas entre os potes de um mesmo tratamento e entre os tratamentos.

Dessa forma, estão dispostas as médias das alturas entre as sementes que germinaram por pote, visto que foram plantadas quatro sementes em cada um deles, e também as médias gerais das alturas dentro de um mesmo tratamento.

Tabela 17 – Altura média das plantas (T1 e T7)

Tratamento*	CP (%)	Pote	Altura média/Pote (cm)**	Altura média geral (cm)**
T1	70	1	6,50 a	6,39 a
		2	6,17 a	
		3	6,50 a	
T7	70	1	8,00 b	8,33 b
		2	8,83 b	
		3	8,17 b	

FONTE: O autor (2018).

* Tratamento – T1: água potável a 70% da CP; T7: água residuária a 70% da CP; **pelo teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente;

Nota-se que as alturas das mudas foram semelhantes entre os potes de um mesmo tratamento. Já os resultados das estatísticas entre os tratamentos mostram que houve uma diferença significativa entre eles no quesito altura das mudas.

Dessa forma, o tratamento T7, que utilizou esgoto e 70% da CP para irrigação, se mostrou o mais eficaz em termos de altura para o cultivo das mudas, uma vez que as mesmas atingiram alturas maiores, com valor médio de 8,33 cm.

Vale ressaltar que foram desconsideradas nas médias as sementes plantadas que não germinaram, bem como as que germinaram, mas não sobreviveram às condições impostas ao experimento.

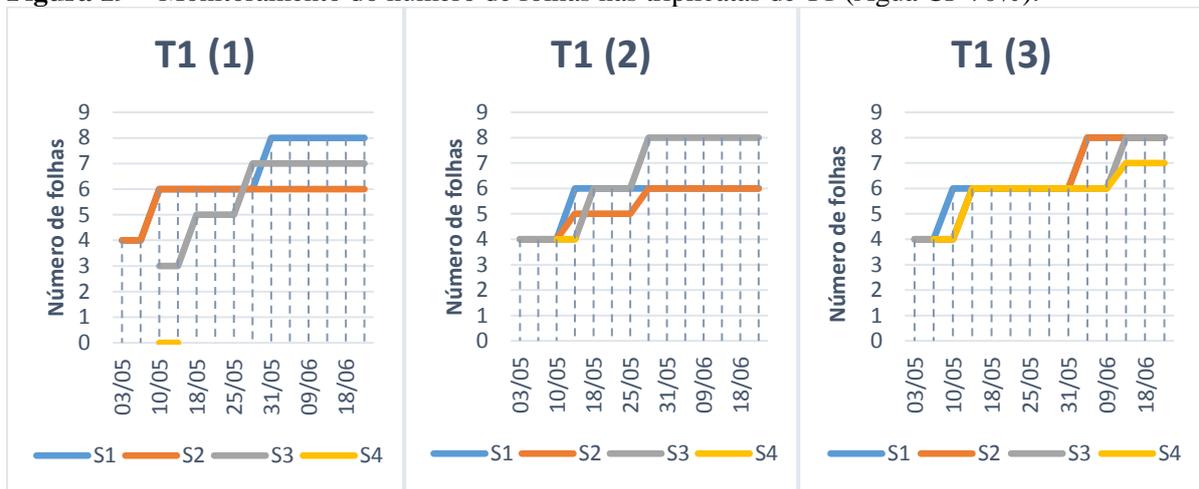
7.3.2 Número de folhas

Tratamentos com água potável

Dos tratamentos que utilizaram água potável apenas o tratamento T1, referente ao tratamento com água a 70% da capacidade de pote, apresentou mudas saudáveis ao final do experimento.

O tratamento T1 apresentou mudas com um número médio de folhas de 7,14 cujo crescimento ao longo do experimento está representado graficamente na Figura 19 para as triplicatas deste tratamento. O número de folhas médio em cada pote separadamente foi de 7,00 para o pote 1, 6,67 para o pote 2 e 7,75 para o pote 3.

Figura 19 – Monitoramento do número de folhas nas triplicatas de T1 (Água CP 70%).



FONTE: O autor (2018).

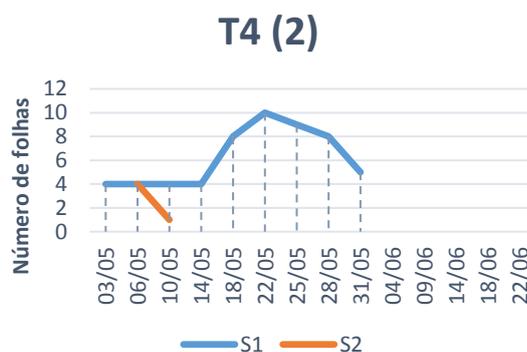
Nota: S = Semente.

Tratamentos com água potável + NPK

Dos tratamentos que utilizaram água potável + NPK apenas o pote 2 do tratamento T4, referente ao tratamento com água + NPK e 70% da capacidade de pote, germinou sementes.

O gráfico da Figura 20 apresenta o crescimento do número de folhas das mudas do pote 2 do tratamento T4. A partir dele observou-se que das quatro sementes, apenas duas germinaram, mas mesmo assim não sobreviveram às condições impostas ao tratamento.

Figura 20 – Monitoramento do número de folhas de T4 (Água + NPK CP 70% 2).



FONTE: O autor (2018).

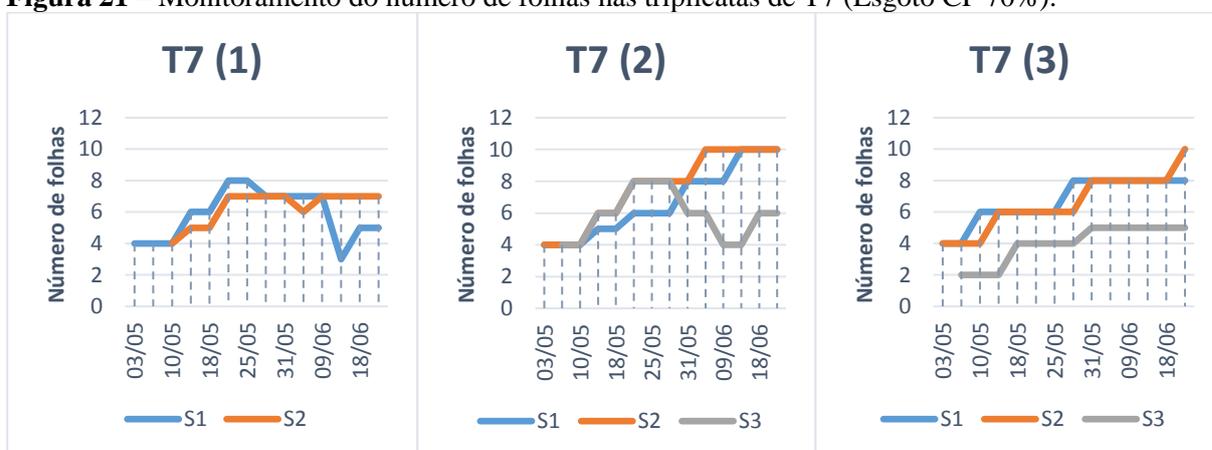
Nota: S = Semente.

Tratamentos com água residuária

Dos tratamentos que utilizaram esgoto, apenas o tratamento T7, referente ao tratamento com esgoto a 70% da capacidade de pote, apresentou mudas saudáveis ao final do experimento.

O tratamento T7 desenvolveu mudas com um número médio de folhas de 7,45 cujo crescimento ao longo do experimento está representado graficamente na Figura 21 para as triplicatas deste tratamento. O número de folhas médio em cada pote separadamente foi de 6,00 para o pote 1, 8,67 para o pote 2 e 7,67 para o pote 3.

Figura 21 – Monitoramento do número de folhas nas triplicatas de T7 (Esgoto CP 70%).



FONTE: O autor (2018).

Nota: S = Semente.

Os resultados das medições do número de folhas das plantas que estavam presentes ao final do experimento são apresentados na Tabela 18. As análises estatísticas foram feitas entre os potes de um mesmo tratamento e entre os tratamentos.

Estão dispostas as médias do número de folhas entre as sementes que germinaram por pote, visto que foram plantadas quatro sementes em cada um deles, e também as médias gerais do número de folhas dentro de um mesmo tratamento.

Tabela 18 – Número de folhas médio (T1 e T7)

Tratamento*	CP (%)	Pote	Número de Folhas	
			Média/Pote**	Média Geral**
T1	70	1	7,00 ns	7,14 ns
		2	6,67 ns	
		3	7,75 ns	
T7	70	1	6,00 ns	7,45 ns
		2	8,67 ns	
		3	7,67 ns	

FONTE: O autor (2018).

* Tratamento – T1: água potável a 70% da CP; T7: água residuária a 70% da CP; **pelo teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente; ns: diferença não significativa.

Vale ressaltar que foram desconsideradas nas médias as sementes plantadas que não germinaram, bem como as que germinaram, mas não sobreviveram às condições impostas ao experimento.

Nota-se que o número de folhas foi semelhante entre os potes de um mesmo tratamento e conclui-se que esse parâmetro de crescimento não foi um aspecto relevante para a determinação do tratamento de melhor desempenho, visto que também não houve diferença significativa entre os tratamentos T1 e T7.

7.3.3 *Massa seca final*

Os resultados da massa seca da parte aérea e radicular das mudas que se estavam presentes no final do experimento são apresentados na Tabela 19. As análises estatísticas foram feitas entre os potes de um mesmo e entre os tratamentos.

Estão dispostas as médias da massa seca entre as sementes que germinaram por pote, visto que foram plantadas quatro sementes em cada um deles, e também as médias gerais da massa seca dentro de um mesmo tratamento.

Vale ressaltar que foram desconsideradas nas médias as sementes plantadas que não germinaram, bem como as que germinaram, mas não sobreviveram às condições impostas ao experimento.

Observou-se que a massa seca das plantas foi semelhante estatisticamente entre os potes de um mesmo tratamento.

Os maiores valores de massa seca caracterizam um maior desenvolvimento das mudas. Dessa forma, os melhores desempenhos para massa seca foram obtidos em T7, ou seja, nos tratamentos que utilizaram esgoto a 70% da CP, com valores médios de 0,1920 g para a parte aérea das mudas e 0,0352 g para a parte radicular.

Tabela 19 – Massa seca final da parte aérea e radicular dos tratamentos T1 e T7.

Tratamento*	Pote	Média/Pote (g)		Média geral (g)	
		Parte aérea**	Raiz**	Parte aérea	Raiz
T1	1	0,1026 a	0,0241 a	0,1137 a	0,0258 a
	2	0,1134 a	0,0221 a		
	3	0,1252 a	0,0313 a		
T7	1	0,1635 b	0,0343 b	0,1920 b	0,0352 b
	2	0,2371 b	0,0387 b		
	3	0,1753 b	0,0327 b		

FONTE: O autor (2018).

*Tratamento – T1: água potável a 70% da CP; T7: água residuária a 70% da CP; **pelo teste de Tukey, médias com mesma letra não diferem significativamente; ns: diferença não significativa.

8 CONCLUSÃO

8.1 Análise das características químicas das fontes hídricas

As análises químicas das fontes hídricas mostraram que a água potável sem adição de fertilizante e o esgoto atenderam as recomendações para os parâmetros pH, nitrogênio amoniacal e STD. Contudo, os tratamentos que utilizaram esgoto foram beneficiados pela maior disponibilidade de nitrogênio e fósforo, visto que dos tratamentos que desenvolveram mudas, o que utilizou esgoto apresentou a maior produtividade.

A adição do NPK à água acarretou em uma diminuição do pH da solução, elevando a acidez à um nível não recomendado para a irrigação agrícola. Além disso, elevou a concentração de STD, nitrogênio amoniacal e de fósforo em níveis que, ao serem utilizados diariamente para irrigação, provocaram um resultado tóxico. Recomenda-se a fertilização com NPK apenas no início do cultivo e em intervalos de 2 semanas, de forma que não eleve de forma demasiada os nutrientes a níveis prejudiciais.

Em relação a condutividade elétrica, a água potável sem adição de fertilizante foi a única fonte hídrica que apresentou um resultado aceitável em termos de salinidade. O esgoto e a solução nutritiva apresentaram níveis de salinidade muito elevados, impróprios para a irrigação agrícola.

Para o cultivo de árvores, a WHO (2013) não estabelece padrões para o número de coliformes fecais presentes na água residuária, sendo aceitável o resultado obtido para o esgoto. Apesar disso, segundo valores limites apresentados pela ABNT NBR 13.969/97 (tanque sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos), o número de coliformes fecais obtido na análise do esgoto se encontra acima do recomendável para essa atividade. Dessa forma, os resultados obtidos indicaram que o uso de esgoto doméstico tratado para irrigação de mudas de Ipê Roxo apenas foi viável quanto aos aspectos agronômicos e sanitários estabelecidos pela OMS, exceto no quesito salinidade.

8.2 Influência de diferentes percentuais da CP no solo

Para os tratamentos em que se aplicou água potável e esgoto, a capacidade de pote de 30% conferiu o melhor resultado para os solos, visto que apresentou concentrações de amônio no solo mais satisfatórias e que os demais parâmetros analisados não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Para os tratamentos em que se aplicou água potável + NPK, as capacidades de pote de 50% e de 70% apresentaram os melhores resultados para os solos. Os tratamentos com essas CP's apresentaram uma maior saturação por bases e uma menor concentração de sódio (características de solos mais saudáveis), além de uma menor saturação por alumínio (menos prejudicial). Os demais parâmetros não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e por isso não influenciaram na determinação da melhor CP para o solo.

8.3 Influência dos diferentes tratamentos no solo

As concentrações de fósforo e amônio foram tóxicas para os tratamentos em que se aplicou água potável + NPK para irrigação. Dessa forma, os tratamentos com água potável e esgoto apresentaram os melhores resultados para esses parâmetros.

As análises dos solos ao final do experimento demonstraram que os mesmos permaneceram com um nível de acidez elevada, independente do pH das fontes hídricas aplicadas. Solos muito ácidos são desfavoráveis para o cultivo de plantas, apresentando teores tóxicos ou deficientes de alguns elementos nutritivos. Dessa forma, recomenda-se a correção da acidez do solo em estudos futuros através da calagem.

Em termos da saturação por bases, os resultados para os tratamentos com esgoto, apesar de também classificarem o solo como distrófico (pouco fértil), foram os que apresentaram a maior porcentagem em comparação aos solos dos demais tratamentos. Já as concentrações de sódio conferiram melhores condições ao solo nos tratamentos que utilizaram água potável e água potável + NPK, os quais apresentaram valores próximos de zero (característica de solos saudáveis).

Os resultados da saturação por alumínio foram mais satisfatórios para os solos dos tratamentos com água potável + NPK a 50% e a 70% da CP. Apesar disso, também foram classificados como prejudiciais.

De maneira geral, os solos dos tratamentos com esgoto apresentaram as melhores características para a produção das mudas. Contudo, recomenda-se a correção da acidez do solo em estudos futuros, o que pode ser feito através da calagem

8.4 Influência de diferentes percentuais da CP na produtividade das mudas

A capacidade de pote de 70% foi a que obteve o melhor desempenho entre os tratamentos, visto que as CP's de 30% e 50% não foram capazes de desenvolver nenhuma muda.

A capacidade de pote de 30%, apesar de ter conferido características mais satisfatórias aos solos dos tratamentos em que se aplicou água potável e esgoto, não foi suficiente para a determinação desta como a melhor capacidade para a produtividade das mudas.

De uma maneira geral, a cultura não consegue se desenvolver em níveis de estresse hídrico tão baixos. Dessa forma, recomenda-se a utilização de capacidades de pote em torno de 70% para o cultivo de mudas de Ipê Roxo com o solo da área degradada.

8.5 Influência dos diferentes tratamentos na produtividade das mudas

Os tratamentos com água + NPK e os tratamentos que utilizaram 30% e 50% da CP não foram satisfatórios para o estudo, uma vez que não apresentaram nenhuma muda ao final do experimento.

As mudas conseguiram se desenvolver apenas nos tratamentos T1 e T7 que trabalharam a 70% da CP com, respectivamente, água potável e esgoto. Contudo, T7 apresentou o melhor desempenho no quesito altura e massa seca das mudas, tanto da parte aérea quanto da radicular.

A maior disponibilidade de P e amônio obtida no tratamento T7 (esgoto a 70% da CP), em relação a T1, provavelmente contribuiu para que a produtividade dele fosse maior, já que são nutrientes que as plantas necessitam em maiores quantidades.

O número de folhas não foi determinante para a avaliação do melhor tratamento pois seus resultados não apresentaram diferença significativa entre si.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, João Paulo Nobre de; et al. **Utilização de esgoto doméstico tratado na produção de mudas de maracujazeiro amarelo.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 4, p. 69-75, 2012.

ALMEIDA, Otávio Álvares de; **Qualidade da água de irrigação.** Cruz das Almas - BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Quantidade e qualidade** [s.d.] Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

ANDRADE, L. O. et al. **Produção de mudas de girassol irrigadas com efluente doméstico tratado e cultivadas em diferentes substratos.** Bento Gonçalves – RS, 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969:** Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L; ROUSSEAU, G. X. **Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de cróton floribundus...** R. Árvore, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 335-342, 2003.

BERNARDES, R. S. **Estabilização de poluentes por disposição no solo.** Revista DAE, vol. 46, n. 145, p. 129-148, 1986.

BERNARDI, C.C. **Reuso de água para irrigação.** (Monografia) Especialização Lato-Sensu. Programa de Gestão Sustentável da Agricultura irrigada. Área de concentração em Planejamento Estratégico. FGV. Brasília, DF, 2003.

CARLESSO, Reimar. **Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas.** Ciência Rural, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

CARVALHO, N.L. et al. **Reutilização de águas residuárias**. Revista Monografias Ambientais, v. 13, n. 2, p. 3164-3171, 2014.

CASAROLI, D.; LIER, Q. J.; **Critérios para determinação da capacidade de vaso**. 2007.

CORDEIRO, Gilberto Gomes. **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas)**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001.

COSTA, Monalisa Soares et al. **Produção de mudas de timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado**. Irriga, v. 1, n. 01, p. 408, 2012.

CROOK, J.; SANTOS, H. F. **Critérios de qualidade da água para reuso**. Revista DAE, n. 174, 1993.

CRUZ, J. L.; PECALANI, C. R.; ARAÚJO, W. L. **EFEITO DO NITRATO E AMÔNIO SOBRE O CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM MANDIOCA**. Bragantia, Campinas, v. 65, n. 3, 2006.

DIAS, LÚCIA BORGES. **Água nas plantas**. Universidade Federal de Lavras, Lavras–MG, 2008.

FERREIRA, M. C. M.; **Avaliação da “necessidade em cal” em Andossolos da ilha Terceira – Açores**. Universidade dos Açores – Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo, 2014.

FLORA, Ana Paula; et al. **ESTRESSE NUTRICIONAL EM PLANTAS**, 2010. Disponível em <<https://www.webartigos.com/artigos/estresse-nutricional-em-plantas/34518> >. Acesso em: 16 set. 2018.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. ABES. Rio de Janeiro, 2006.

FONTENELLI, J. V.; **Métodos de manutenção de umidade do solo no cultivo do girassol e cártamo em condições controladas**. Rondópolis – MT, 2014.

FREIRE, Luiz Rodrigues; et. al. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF – Embrapa, 2013.

GOMES, A. O. **Reuso de efluente tratado para recuperação de área degradada**. Recife, PE. 2016.

GRANT, C.A.; et al. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Informações Agronômicas, nº 95, 2001.

HOLZSCHUH, M. J. et al.; **Resposta do arroz irrigado ao suprimento de amônio e nitrato**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

IBF, INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS, **Ipê Roxo – Tabebuia avellanedae**. Disponível em <<https://www.ibflorestas.org.br/venda-de-mudas/142-ipe-roxo-tabebuia-avellanedae.html>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

IBF, INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS, **Quais os benefícios do reflorestamento?** Disponível em < <https://www.ibflorestas.org.br/mudas-nativas/155-quais-os-beneficios-do-reflorestamento>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

JUVENAL, Thais Linhares; MATTOS, René Luiz Grion. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. BNDES setorial, Rio de Janeiro, n. 16, 2002.

KLEIN, Cláudia; AGNE, Sandra Aparecida Antonini. **FÓSFORO DE NUTRIENTE À POLUENTE**. REGET/UFSM, 2012.

LABORSOLO. **Solo compactado e baixa produtividade? Verifique a presença de Sódio (Na) no solo**. Disponível em < <https://www.laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/solo-compactado-e-baixa-produtividade-verifique-a-presenca-de-sodio-na-no-solo> >. Acesso em: 18 set. 2018.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; DOS SANTOS, Hilton Felício. **Reúso de água**. Editora Manole Ltda, 2003.

MASCARENHAS J. C. et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Tamandaré, Estado de Pernambuco CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

MENDES, A. M. S. **Introdução a fertilidade do solo**. Barreiras – BA, 2007.

MONTE, H. do; ALBUQUERQUE, A **Reutilização de Águas Residuais**. Série Guias Técnicos, v. 14, p. 978-989, 2010.

OLIVEIRA, J. F. et al. **EFEITO DA APLICAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MULUNGU**, 2012.

PAZ, Vital Pedro da Silva; TEODORO, Reges Eduardo Franco; MENDONÇA, Fernando Campos. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente**. 2000.

POSTEL, S.L.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R. **Human Appropriation of Renewable Fresh Water**. Science, 1996.

REGO, J. de L. et al. **Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p. 155-159, 2005.

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas – Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

SANTOS, J.S. dos et al. **Plantas nativas do bioma caatinga produzidas com esgoto doméstico tratado**. Revista Científica da UFPA, v. 6, n. 1, 2007.

SILVA, Robson José et al. **Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado**. Eng. sanit. ambient, v. 20, n. 2, p. 323-330, 2015.

SILVA, Leonaria Luna et al. **Utilização de efluentes domésticos no crescimento da pimenta (Capsicum chinense), cultivar tekila bode vermelha**. Agropecuária Técnica, v. 35, n. 1, p. 121-133, 2014.

SILVA, Jairo Bezerra et al. **A crise hídrica global e as propostas do Banco Mundial e da ONU para seu enfrentamento.** Revista Cronos, v. 11, n. 2, 2012.

SOBRAL, L. F. S.; et. al. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos.** Aracaju – Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

SOUZA, L. A.; OLIVEIRA, J. H. G.; **Morfologia e anatomia das plântulas de *Tabebuia avellanedae*...** Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR. 2004.

SOUZA FILHO, Edécio José de.; **Reúso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido pernambucano.** Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE. 2013.

TEIXEIRA, Paulo César; et. al. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3 ed, Brasília, DF – Embrapa, 2017.

TELLES, D.D.; COSTA, R.P. **REÚSO DA ÁGUA: conceitos, teorias e práticas.** 2 ed. São Paulo – SP: Blucher, 2010.

TOMÉ, Luciana Mota; MOTA, Suetônio; BEZERRA, Francisco César. **Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado.** 1997.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse.** Technical Report N° EPA/625/R-92/004. Washington: USEPA, 1992.