

Tratamento de efluentes domésticos em sistema biológico de membranas nanocerâmicas para fins de reúso florestal

Treatment of domestic effluents in a biological system of nanoceramic membranes for forest reuse purposes

Igor Duarte Rosa Lima¹; Vicente de Paulo Silva²; Rosângela Gomes Tavares³; Alex Souza Moraes⁴; Ronaldo Faustino da Silva⁵

- ¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Recife/PE, Brasil. Email: igorduarterl@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7781-9685>
- ² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Recife/PE, Brasil. Email: vicenteufrpe@yahoo.com.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1435-9335>
- ³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Recife/PE, Brasil. Email: rosangelagomestavares@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8400-3759>
- ⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Recife/PE, Brasil. Email: alex.moraes@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4324-8271>
- ⁵ Instituto Federal de Pernambuco, Departamento de Meio Ambiente, Recife/PE, Brasil. Email: ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8097-9420>

Resumo: O esgotamento no Brasil apresenta 54,1% dos esgotos coletados e 49,1% tratados. Logo, tecnologias devem ser implementadas para remover os contaminantes para que retornem ao meio ambiente dentro dos padrões. Entre as tecnologias: Unidade de Qualidade de Água, tubulação em PEAD destinada a separar sólidos e óleos e reator de membranas nanocerâmicas denominado Biogill, que possui fases aeróbias, anaeróbias e anóxicas associadas a uma eficiência de remoção de DBO de 90% e nutrientes de 80%. Para contribuir com o aumento desses índices, uma ETE foi construída em um residencial localizado na cidade de Barra de São Miguel. O esgoto tratado foi reutilizado para produção de mudas de aroeira do sertão e ipê roxo, bem como foi realizado uma análise morfofisiológica e estatística das mudas em relação a produção com água potável. Entre os resultados: atendimento em sua totalidade a resolução CONAMA nº 430/11; atendimento às normas de reúso ABNT NBR 13.969/1999, PROSAB, COEMA nº 2/2017 e SES/SMA/SSRH nº 1/2017, exceto turbidez e DBO, sendo necessário melhorias no tratamento terciário. Por fim, o efluente apresentou melhores resultados para o desenvolvimento das mudas do que a água, contudo pela ANOVA e teste de tukey ($p < 0,05$) não se obteve diferenciação significativa.

Palavras-chave: Tecnologias Ambientais; Reutilização do Esgoto; Ipê; Aroeira.

Abstract: Sewage in Brazil represents 54.1% of sewage collected and 49.1% treated. Therefore, technologies must be innovative to remove contaminants so that they return to the environment within standards. Among the technologies: Water Quality Unit, traditional HDPE designed for the separation of solids and oils and a nanoceramic membrane reactor called Biogill, which has aerobic, anaerobic and anoxic phases associated with a BOD removal efficiency of 90% and nutrients of 80%. To contribute to the increase in these rates, an ETE was built in a residential building located in the city of Barra de São Miguel. The treated sewage was reused to produce Aroeira do Sertão and Ipê Roxo seedlings, as well as a morphophysiological and statistical analysis of the seedlings in relation to production with drinking water. Among the results: full compliance with CONAMA resolution nº 430/11; compliance with reuse standards ABNT NBR 13.969/1999, PROSAB, COEMA nº 2/2017 and SES/SMA/SSRH nº 1/2017, except turbidity and BOD, requiring improvements in tertiary treatment. Finally, the effluent showed better results for the development of seedlings than water, however, using ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$), no significant classification was obtained.

Keywords: Environmental Technologies; Effluent Reuse; Ipe; Aroeira.

Recebido: 29/07/2024; Aceito: 08/01/2025; Publicado: 22/01/2025.

1. Introdução

Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente, esgoto sanitário é a denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais e águas de infiltração na rede coletora. Logo, conforme a Lei 14.026/21, uma das vertentes do saneamento básico é o tratamento desses efluentes.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o atendimento nas áreas urbanas quanto as redes coletoras de esgoto é de 61,9%. Já em relação ao tratamento de efluentes chega a 78,5%. Entretanto, quando se compara os esgotos gerados e tratados em todas as áreas, a estatística é menor, chegando a um índice de 49,1% (SNIS, 2019).

Em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), os componentes ambiental, social e econômico relacionam-se. Do ponto de vista social é a forma de prevenir doenças de veiculação hídrica, do ponto de vista ambiental melhoria da qualidade dos corpos hídricos e no contexto econômico destacar-se o aumento da expansão industrial.

O Brasil apesar de ser um dos países mais ricos em água doce do Mundo, a contaminação dos cursos de água, os usos múltiplos e a falta de gestão contribuem para a poluição (PAULINO *et al.*, 2012). De acordo com a Agência Nacional de Águas dos 2.082,7 m³/s retirados dos corpos hídricos, cerca de 52% são destinados para irrigação, 23,8% para abastecimento público e 9,1% para indústria (ANA, 2019). Neste sentido, a reutilização dos esgotos domésticos tratados torna-se viável.

A aplicação de esgoto tratado em espécies florestais pode contribuir para o aumento da produtividade e no aumento das matérias-primas das indústrias de madeira, farmacêutica, alimentícia e cosmética (SENAR, 2018).

Conforme a Lei 6.938/81, degradação ambiental é entendida como uma alteração adversa da qualidade do meio ambiente. Com isso, o desmatamento é um dos principais impactos nas espécies florestais. De acordo com dados do sistema Deter do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre agosto de 2019 e julho de 2020, ocorreu um aumento de 34,5% quanto ao desmatamento na Amazônia. Segundo a Embrapa (2004), 98,8% das áreas degradadas estão ligadas às atividades de produção e extrativismo.

Desse modo, objetiva-se avaliar o tratamento de esgoto sanitário oriundo de um residencial em sistema biológico de membranas nanocerâmicas para fins de reúso florestal, comparando os aspectos morfofisiológicos (altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas) da espécie florestal ipê roxo e aroeira do sertão mediante a aplicação do efluente tratado e água potável.

2. Metodologia

Para analisar todo o projeto que foi implementado, algumas variáveis foram levadas em consideração, entre elas: o projeto da ETE, os parâmetros de caracterização físico-químicos e biológicos da água de abastecimento público, efluente tratado e do solo juntamente com seus planos de monitoramento, além dos requisitos construtivos do viveiro de mudas.

2.1. Estação de Tratamento de Efluentes e Plano de Monitoramento

Para a definição da ETE, foi realizada uma análise do espaço disponível pelo residencial e realizado uma caracterização físico-química do efluente bruto. Para fins de dimensionamento, foram usadas as seguintes variáveis: vazão de 32 m³/dia, adotando-se um coeficiente de retorno de 80%, consumo per capita de água de 120 L/hab.dia e aproximadamente 334 habitantes.

Conforme a figura 1, o projeto implementado possuía o seguinte fluxo: estação elevatória, UQA, uma unidade da tecnologia BioGill, filtro de carvão ativado, cloração e tanque de contato. Após o tratamento, o efluente era direcionado para um tanque de reúso e posteriormente distribuído sobre a unidade de produção de mudas.

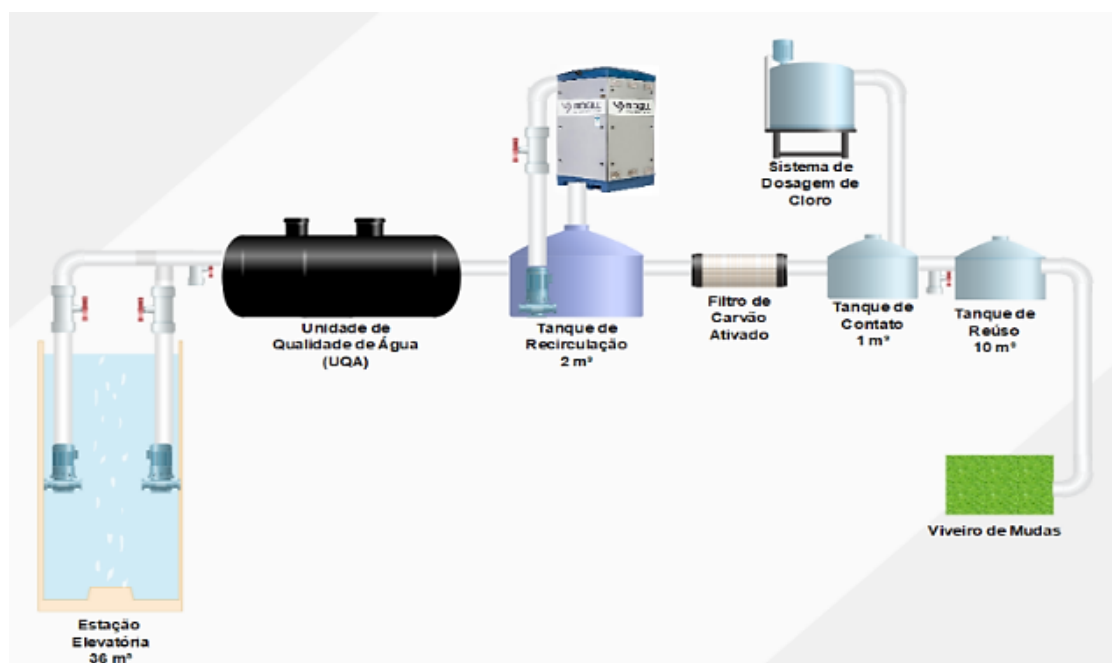


Figura 1 – Fluxograma da ETE.
Fonte: Autores (2023).



Figura 2 – Área da ETE.
Fonte: Autores (2023).



Figura 3 – ETE.
Fonte: Autores (2023).

Após a implementação do projeto, foi aguardado um período de 15 dias para o desenvolvimento do biofilme e em seguida foi realizado a caracterização físico-química e biológica do solo e da água potável em laboratório privado, exceto pH e temperatura que foram realizadas em campo. Salienta-se que foi realizado apenas uma análise de água devido à baixa variabilidade nos parâmetros. Quanto ao efluente, as análises eram realizadas sempre no último dia do mês e em laboratório privado, totalizando quatro análises. As coletas de efluente bruto eram realizadas após estação elevatória e as de efluente tratado após tanque de contato.

O solo foi coletado pela metodologia da Embrapa (2012), que consistiu em coletar cerca de 20 amostras simples de 500 gramas de solo em pontos diferentes a uma profundidade de até 20 cm, a partir disto foi realizado uma coleta de 500 gramas da mistura do solo que foi armazenada em sacola plástica para encaminhamento e análise. Foram realizadas duas análises de solo: antes da irrigação do efluente tratado e após o fim do experimento, com o intuito de verificar as condições finais do solo pós fertirrigação. A figura 4 demonstra a coleta do solo.



Figura 4 – Coleta do Solo.
Fonte: Autores (2023).

As tabelas 1 e 2 elencam as análises que foram realizadas no período, bem como os seus quantitativos.

Tabela 1 – Plano de Monitoramento do Esgoto.

Parâmetro	Número de Análise (Água)	Número de Análise (Efluente)
DBO	1	4
pH	1	4
Temperatura	1	4
Cálcio	1	4
Magnésio	1	4
Sódio	1	4
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)	1	4
SST	1	4
Turbidez	1	4

Fonte: Autores (2023).

Tabela 2 – Plano de Monitoramento do Solo.

Parâmetro	Número de Análises
Índice de Saturação por bases	2
pH	2
Material Orgânico	2
Fósforo	2
Potássio	2
Ferro	2
Cálcio	2
Sódio	2
Magnésio	2
Alumínio	2
Zinco	2
Cobre	2
Manganês	2
CTC	2
Areia Total	2
Silte	2
Argila	2

Fonte: Autores (2023).

2.2. Caracterização do Viveiro

A definição das espécies florestais e a construção do viveiro foram auxiliadas pelo Instituto de Preservação da Mata Atlântica (IPMA). O IPMA é uma instituição de caráter cientista e preservacionista voltado para a implementação de programas de conservação e regeneração florestal (IPMA, 2019). As sementes escolhidas foram ipê roxo e aroeira do sertão, sendo cedidas pelo instituto, pois, conforme Oliveira (2016), ambas as espécies não necessitam de adubação, logo foi utilizado apenas a água potável (sem fertilização) e o esgoto tratado como forma de demonstrar a fertirrigação e por fim os resultados foram comparados com base nas normas de reúso: ABNT-NBR 13.969/1997, PROSAB (2007), COEMA nº 2/2017 e SES/SMA/SSRH nº 1/2017.

Quanto ao viveiro de mudas, foi criado um com duração de 4 meses ocupando 10 m² com sombrite 75%. A figura 5 demonstra o viveiro construído.



Figura 5 – Viveiro de Mudas.
Fonte: Autores (2023).

Para o experimento foram utilizadas 40 sementes (20 sementes de cada espécie florestal). As sementes foram colocadas em sacolas plásticas de tamanho padrão de 1 kg (figura 6) e enterradas a uma profundidade de 0,5 a 1 cm. Foi utilizado este método de produção devido ao menor custo de aquisição, menor estresse de plantio e eficiência.



Figura 6 – Solo nas Sacolas.
Fonte: Autores (2023).

Em relação a irrigação, as mudas foram irrigadas com 100% água potável e as demais com 100% de efluente tratado. O sistema adotado foi de microaspersão. Em cada sistema foi utilizado uma bomba e tanques de polietileno com capacidade de 10 m³ (efluente tratado) e 1 m³ (água potável). A irrigação ocorreu duas vezes ao dia: início da manhã e final da tarde. A determinação da quantidade de água necessária para rega e o tempo de irrigação foram definidos pela metodologia de Marouelli e Braga (2016), que leva em consideração as seguintes variáveis: turno de rega, evapotranspiração da cultura, eficiência do sistema de irrigação e a intensidade de aplicação de água. Diariamente, os cálculos eram realizados e repassados para o operador da ETE, que realizava a irrigação. Salienta-se que para o turno de rega, levou-se em consideração dados fornecidos pelo IPMA: sistema de irrigação com intensidade de aplicação de água de 17,5 mm/h e eficiência de 70%. A Embrapa (2022) considera que um sistema de microaspersão possui eficiência de 70% a 90% e intensidade de aplicação 14 a 18 mm/h.

2.3. Análise Estatística

Após germinação das sementes, as unidades experimentais foram distribuídas num Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). O DIC é utilizado para experimentos em condições homogêneas, sendo o mais simples dos delineamentos, onde os tratamentos são designados por sorteio. A figura 7 demonstra o delineamento experimental.

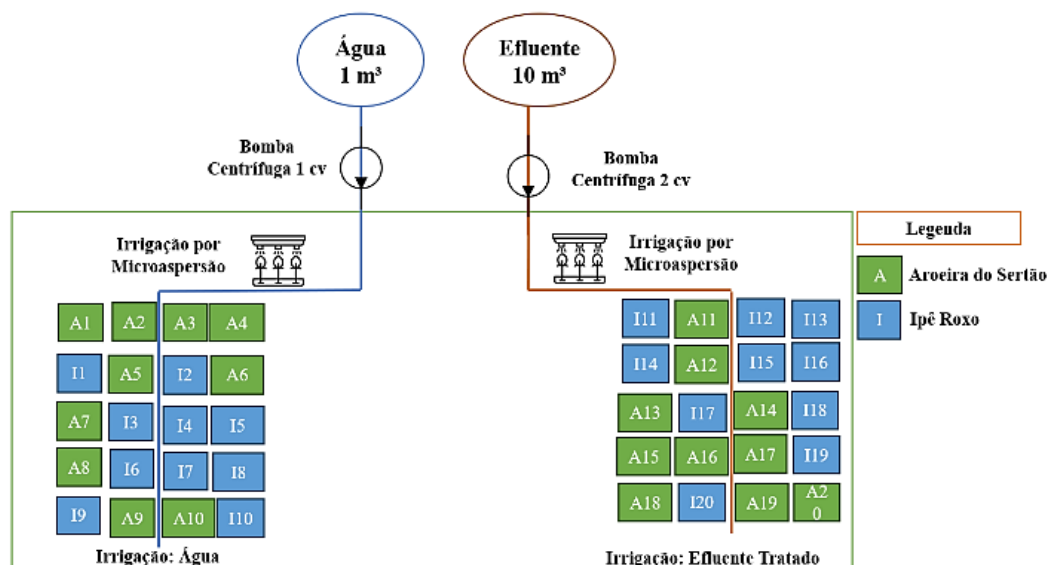


Figura 7 – DIC.
Fonte: Autores (2023).

Os dados foram monitorados a cada 14 dias ao longo de quatro meses e os dados foram extraídos a partir de uma régua milimetrada (altura da planta), paquímetro digital (diâmetro do caule) e visualmente (número de folhas). Os tratamentos foram identificados com plaquetas: esgoto tratado e água de abastecimento. Na análise de dados, foi utilizado o software Sisvar 5.6 e Past 4.06.

3. Resultados e discussão

Com base nas condições de projeto implementado, foi possível evidenciar a caracterização preliminar do efluente, a qualidade da água potável de abastecimento e do efluente bruto e tratado, as condições de solo e irrigação, além do crescimento morfofisiológico das mudas de ipê roxo e aroeira do sertão, sendo estes resultados avaliados estatisticamente.

3.1. Caracterização do Projeto

Para a execução do projeto da ETE, foi avaliado a área disponível e o efluente bruto. A tabela 3 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 3 – Caracterização da Área e Análise preliminar do efluente.

Parâmetro	Resultados
Área Disponível (m ²)	210
DBO (mg/L)	306,3
DQO (mg/L)	671,1
pH	6,9

Temperatura (°C)	25
Ssd (mL/L)	0,2

Fonte: Autores (2023).

Conforme Metcalf (2003), o efluente do residencial é classificado como concentração alta, visto que apresenta DBO acima de 300 mg/L e DQO acima de 650 mg/L.

3.2. Avaliação da Água e dos Efluentes

Ao longo do experimento, uma análise de água foi realizada, enquanto quatro análises de efluentes foram realizadas, considerando os parâmetros apresentados na tabela 1. A tabela 9 apresenta os resultados médios.

Tabela 4 – Resultados Médios para água e efluentes.

Parâmetro	Água	Efluente Bruto	Efluente Tratado
DBO (mg/L)	<3	356,9	32,5
pH	7,1	6,7	7,6
Temperatura (°C)	24	28,7	28,0
Cálcio (mg/L)	1,23	-	16,3
Magnésio (mg/L)	6,6	-	3,5
Sódio (mg/L)	11	-	168,9
RAS	5,5	-	56,1
SST (mg/L)	5	-	9,1
Turbidez (NTU)	7,9	-	5,7
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	0	-	56,4
Cloro Residual (mg/L)	0,2	-	0,7
Boro (mg/L)	0,1	-	0,1
Ssd (mL/L)	-	0,87	0,2

Fonte: Autores (2023).

Em relação a água, a cidade da Barra de São Miguel possui 92,71% da população com rede de abastecimento de água (SNIS, 2019). Conforme os trabalhos de Bezerra e Andrade (2016), Siqueira (2016) e Aparecida *et al* (2020) os resultados da água, sintetizados na tabela 4, condizem com o esperado. Em relação a variabilidade da qualidade, Sangel e Cavalcanti (2013), mencionam que a água apresenta baixa variabilidade, exceto os parâmetros de cor e ferro que variam conforme os fatores hidroclimáticos, isto é, evidencia-se que o trabalho apesar de ter realizado apenas uma coleta de água em período de verão, ocorreu uma baixa variabilidade dos parâmetros estipulados, visto que os fatores hidroclimáticos mantiveram-se semelhantes.

Em relação ao efluente, diversas tecnologias de tratamento podem ser utilizadas para gerar um esgoto de excelente qualidade para reúso. Experimentos envolvendo lagoas de estabilização em série como o de Arnaldo *et al* (2007) e Queiroz *et al* (2015), reatores UASB com lagoas de estabilização como o de Silva (2011) e Lambais *et al* (2019), produzem um efluente tratado de boa qualidade para reúso. Em relação aos experimentos envolvendo o reator BioGill, não foram encontrados trabalhos focados em reúso, contudo os experimentos de Taylor (2013) e Duarte (2021) apresentam resultados de efluente tratado satisfatórios.

Ainda, considerando os resultados apresentados na tabela 4 e comparando-os com as normas de reúso, é possível evidenciar as conformidades com os padrões.

Quanto a norma NBR 13.969/1997, está em conformidade com todos os padrões, exceto turbidez, que deveria ser inferior a 5 NTU. A NBR apresenta duas classes: a classe 2 direcionada ao reúso em lavagem de pisos, calçadas e irrigação no jardim, sendo não efetuado o enquadramento nesta classe e classe 4 direcionada a pomares, forragens, pastagens para gado e cultivos por irrigação, atendida em sua totalidade. Em relação a norma PROSAB (2007), atendida em sua totalidade

para irrigação como parques e usos ornamentais. Quanto a COEMA 2/2017, atendida em sua totalidade, exceto o parâmetro de RAS, para fins agrícolas. Por fim, quanto a SES/SMA/SSRH nº 1/2017, esta norma segrega em dois usos: moderada – atendida parcialmente, exceto turbidez que deveria ser inferior ou igual a 2 NTU, coliformes termotolerantes que deveria ser menor que 200 NMP/100 mL, RAS que deveria ser entre 3 e 9 e DBO que deveria ser inferior ou igual a 30 mg/L. Esta modalidade contempla irrigação paisagística, lavagem de logradouro, construção civil, lavagem de veículos e combate a incêndio. Já modalidade severa, foi atendida parcialmente, exceto turbidez que deveria ser inferior ou igual a 2 NTU, DBO que deveria ser inferior ou igual a 10 mg/L, coliformes termotolerantes ausente e RAS inferior a 3. Esta modalidade foca em irrigação paisagística, lavagem de logradouro e construção civil.

Sendo assim, evidencia-se que é possível adotar melhorias na ETE, principalmente no tratamento terciário, adotando filtros de areia para redução do material orgânico e sólidos e melhorias no sistema de dosagem de cloro para eliminação total dos coliformes termotolerantes, bem como adoção de abrandador para eliminação dos sais no efluente.

3.3. Solo

Em relação a análise físico-química dos parâmetros do solo, foram realizadas duas análises: uma antes da fertirrigação e outra após fertirrigação. A tabela 5 e 6 demonstram os resultados.

Tabela 5 – Análise Física do Solo.

Parâmetro	Resultados
Areia Grossa (g/kg)	339
Areia Fina (g/kg)	216
Areia Total (g/kg)	555
Silte (g/kg)	225
Argila (g/kg)	220

Fonte: Autores (2023).

Tabela 6 – Análise Química do Solo.

Parâmetro	Pré-Fertirrigação	Pós-Fertirrigação
Índice de Saturação de Bases (%V)	84,9	82,2
pH	7	6,7
Materia Orgânica Total (%)	2,6	11,9
P (mg/L)	11	202
K (mg/L)	75	197
Fe (mg/L)	169,1	52,3
Ca (meq/100mL)	2,6	4,8
Na (mg/L)	30	82

Mg (meq/100mL)	2,7	2,2
Al (meq/100mL)	0	0
Zn (mg/L)	0,1	19,5
Cu (mg/L)	1	1
Mn (mg/L)	0,3	40,8
CTC (c.molc/dm ³)	5,6	7,8

Fonte: Autores (2023).

Considerando a tabela 4 e utilizando como base o triângulo textural – figura 8, evidencia-se que o solo é classificado como franco argiloso/arenoso. O solo franco encontrado é considerado um solo com propriedades praticamente iguais de areia, silte e argila (Brady *et al.*, 2013). Centeno *et al.* (2017) menciona que o solo apresenta boa capacidade de drenagem e retenção de água, além de índice médio de erodibilidade. Em contraponto, a CPRM (2005), menciona que os solos dessa região são considerados profundos e de baixa fertilidade natural, o que não foi evidenciado.

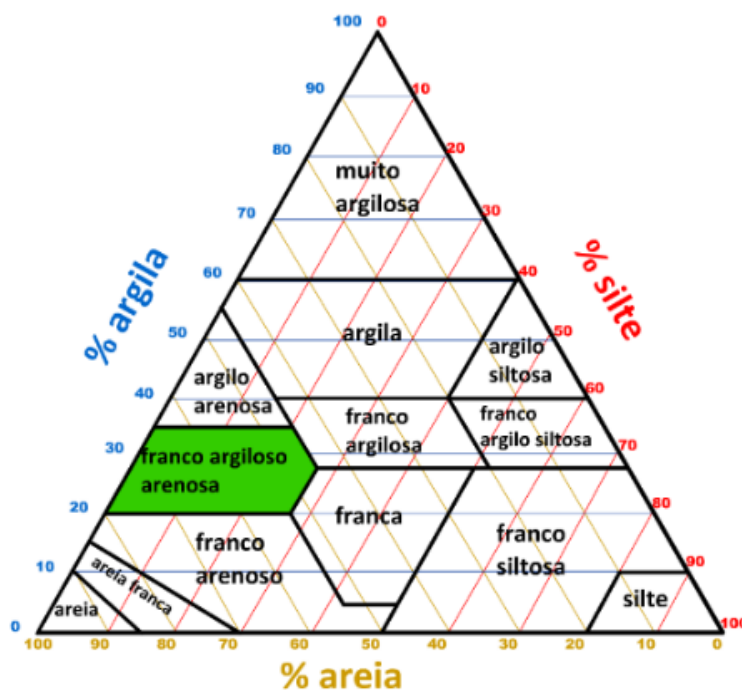


Figura 8 – Classificação do Solo.

Fonte: Autores (2023).

3.4. Irrigação

Considerando a metodologia de Marouelli e Braga (2016), a tabela 7 demonstra os resultados médios da temperatura, umidade, lâmina e tempo de irrigação. Almeida (2009) menciona que os sistemas de microaspersão são os mais afetados

pelos sedimentos que reduzem a vida útil dos componentes do sistema de irrigação, além da presença de bactérias filamentosas que podem obstruir os aspersores.

Consoante a tabela 4, Nakayama e Bucks (1986) mencionam que a presença de sólidos em suspensão menores que 50 mg/L e populações bacterianas menores que 10.000 NMP/100 mL apresentam nenhuma restrição de uso. Dessa forma, ao longo do experimento, os aspersores não apresentaram problemas de obstrução.

Tabela 7 – Resultados médios da irrigação.

Parâmetro	Resultado
Temperatura do Dia (°C)	27,33
Umidade do Dia (%)	69,04
Lâmina a Ser Aplicada (mm)	4,44
Tempo de Irrigação (min)	15,18

Fonte: Autores (2023).

Arnaldo *et al* (2007) utilizando esgoto doméstico tratado para produção de mudas, utilizou apenas rega baseada na vazão dos microaspersores, obtendo-se bom desenvolvimento. Oliveira (2015) utilizou um sistema de aspersão convencional com lâmina uniforme de irrigação e tempo baseado no coeficiente de infiltração do efluente no solo, calculando a lâmina a partir dos índices de evapotranspiração da cultura, coeficiente de cultivo e evapotranspiração de referência, obtendo resultados satisfatórios de desenvolvimento das plantas. Já Amaral *et al* (2019) utilizou a técnica de capacidade de pote. Portanto, diferentes metodologias de irrigação podem ser utilizadas para obtenção de resultados satisfatórios.

3.5. Espécies Florestais

A tabela 8 e 9 apresentam os resultados das espécies florestais - aroeira do sertão (A) e ipê roxo (I) quanto aos parâmetros de: altura da planta (H), diâmetro do caule (D) e número de folhas (NF). Todos os dados foram coletados no ano de 2022, totalizando 140 dados para cada parâmetro.

Conforme as tabelas abaixo, os resultados para aroeira do sertão começaram a ser coletados na primeira semana de experimento, enquanto os de ipê a partir da segunda. Oliveira (2016) afirma que a germinação do ipê roxo ocorre entre 2 a 4 semanas, enquanto a da aroeira do sertão ocorre entre 1 a 3 semanas. Importante ressaltar que os tratamentos A2, I2, I4 e I13 não se desenvolveram.

Em relação ao tratamento A2, o Centro Nordestino de Informações sobre Plantas salienta que uma das principais causas para o não desenvolvimento é devido à má coleta da semente, a qual pode não ter sido coletada madura. Já em relação aos tratamentos I2, I4 e I13, Alves e Schlindwein (2018) mencionam que o principal fator do não crescimento do ipê roxo é um solo ácido, o qual afeta a disponibilidade de nutrientes, contudo isto não fica evidenciado na tabela 5. De certa forma, é importante realizar novos estudos para identificar as causas específicas do não desenvolvimento.

Ressalta-se que visualmente as mudas não apresentaram qualquer alteração morfofisiológica, isto é, doenças específicas, como clorose.



Figura 9 – Resultado Final de Desenvolvimento das Mudas: da esquerda à direita (irrigadas com água e irrigadas com esgoto).

Fonte: Autores (2023).

Tabela 8 – Resultados da Aroeira do Sertão.

Tipo	17/set			01/out			15/out			29/out			z	12/nov			26/nov			10/dez		
	H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF		H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF
A1	0	0	0	3,5	0,3	17	5,75	0,75	57	8	1,2	100		9	1,5	105	9,2	1,5	115	9,6	2,37	120
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	14	0,67	3	21	1,73	12	23,5	1,73	13	26	1,73	14		26	2,4	41	39	3,06	73	58	4,4	87
A4	0	0	0	1,5	0,67	5	2,75	0,74	9	4	0,81	14		9	0,97	30	24	2,89	139	44	2,92	166
A5	0	0	0	0	0	0	4	1,41	5	8	1,53	11		10,5	1,7	16	11	1,94	28	12,3	1,97	33
A6	0	0	0	0	0	0	4	1,27	5	8	1,51	11		10,5	1,7	16	12,5	1,88	23	13	2,13	40
A7	0	0	0	0	0	0	2	0,72	10	7	1,34	27		9,5	1,51	35	10,5	1,59	41	14	2,15	48
A8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		4	0,82	8	5,1	0,97	17	8,8	1,74	29
A9	0	0	0	3	1,65	24	4,25	1,69	25	5,5	1,73	26		12	2,14	35	30	3,18	77	39	4,74	109
A10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1,2	0,98	4	2,75	1,21	13	3,9	1,37	25
A11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2,5	0,97	4	3,8	1,17	6	7,4	2,05	17
A12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1,02	0,98	76	1,72	1,58	80	9,5	1,65	126
A13	0	0	0	1	0,41	2	9	1,12	3	17	1,96	5		17,2	1,98	7	18	2,12	16	19,2	2,87	27
A14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	32	3,32	11	40	4,8	19
A15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	0,17	6		2,5	0,38	7	5	0,63	15	7	1,48	16
A16	20	1,04	4	20	1,92	15	24	1,93	17	28,5	1,94	19		35	2,7	24	43	3,89	74	44	5	98
A17	0	0	0	0	0	0	7,2	1,37	14	8,5	2,35	23		18	2,55	36	49	3,61	45	53,5	3,77	87
A18	0	0	0	3	0,68	19	6	1,03	42	9	1,39	55		11	1,7	66	17	1,82	73	17,6	1,92	93
A19	0	0	0	0	0	0	1,5	1,03	21	1,8	1,39	27		1,92	1,52	39	5	1,96	16	22	1,97	58
A20	0	0	0	2,5	0,28	2	4,75	0,81	9	7	1,34	17		7,7	1,36	19	7,9	1,44	20	10,4	1,77	27

Fonte: Autores (2023).

Tabela 9 – Resultados do Ipê Roxo.

Tipo	17/set			01/out			15/out			29/out			12/nov			26/nov			10/dez		
	H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF	H	D	NF
A1	0	0	0	3,5	0,3	17	5,75	0,75	57	8	1,2	100	9	1,5	105	9,2	1,5	115	9,6	2,37	120
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	14	0,67	3	21	1,73	12	23,5	1,73	13	26	1,73	14	26	2,4	41	39	3,06	73	58	4,4	87
A4	0	0	0	1,5	0,67	5	2,75	0,74	9	4	0,81	14	9	0,97	30	24	2,89	139	44	2,92	166
A5	0	0	0	0	0	0	4	1,41	5	8	1,53	11	10,5	1,7	16	11	1,94	28	12,3	1,97	33
A6	0	0	0	0	0	0	4	1,27	5	8	1,51	11	10,5	1,7	16	12,5	1,88	23	13	2,13	40
A7	0	0	0	0	0	0	2	0,72	10	7	1,34	27	9,5	1,51	35	10,5	1,59	41	14	2,15	48
A8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0,82	8	5,1	0,97	17	8,8	1,74	29
A9	0	0	0	3	1,65	24	4,25	1,69	25	5,5	1,73	26	12	2,14	35	30	3,18	77	39	4,74	109
A10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0,98	4	2,75	1,21	13	3,9	1,37	25
A11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0,97	4	3,8	1,17	6	7,4	2,05	17
A12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,02	0,98	76	1,72	1,58	80	9,5	1,65	126
A13	0	0	0	1	0,41	2	9	1,12	3	17	1,96	5	17,2	1,98	7	18	2,12	16	19,2	2,87	27
A14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	3,32	11	40	4,8	19
A15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	0,17	6	2,5	0,38	7	5	0,63	15	7	1,48	16
A16	20	1,04	4	20	1,92	15	24	1,93	17	28,5	1,94	19	35	2,7	24	43	3,89	74	44	5	98
A17	0	0	0	0	0	0	7,2	1,37	14	8,5	2,35	23	18	2,55	36	49	3,61	45	53,5	3,77	87
A18	0	0	0	3	0,68	19	6	1,03	42	9	1,39	55	11	1,7	66	17	1,82	73	17,6	1,92	93
A19	0	0	0	0	0	0	1,5	1,03	21	1,8	1,39	27	1,92	1,52	39	5	1,96	16	22	1,97	58
A20	0	0	0	2,5	0,28	2	4,75	0,81	9	7	1,34	17	7,7	1,36	19	7,9	1,44	20	10,4	1,77	27

Fonte: Autores (2023).

3.6. Análise Estatística

A análise de variância (ANOVA) compara as variâncias entre as médias de tratamentos, auxiliando na identificação estatística de semelhança ou diferença (TIBCO, 2019). Para aplicação da ANOVA, é fundamental três suposições básicas: as observações serem independentes, distribuição normal e as variâncias em cada grupo devem ser aproximadamente iguais. Contudo, a ferramenta não auxilia na identificação de quais tratamento diferem entre si, sendo necessário a realização do teste de tukey (OLIVEIRA, 2019). Oliveira (2019) menciona que o teste de tukey realiza comparação entre todos os pares de tratamento.

Neste experimento, foi necessário averiguar as suposições da ANOVA para prosseguimento quanto ao teste de tukey, sendo necessário a realização do teste de shapiro-wilk. O teste demonstrou que não existiu normalidade ($p < 0,05$) nos dados devido a heterogeneidade, sendo necessário realizar uma transformação de dados para obedecer aos pressupostos da ANOVA. A transformação de dados foi realizada aplicando-se a fórmula da raiz quadrada, método mais utilizado para processos de contagem, nos dados de altura da planta e diâmetro do caule para aroeira do sertão e altura da planta para o ipê roxo. Após a transformação de dados, encontrou-se a normalidade dos dados. As tabelas abaixo demonstram a análise estatística realizada nos resultados finais de desenvolvimento das mudas após a transformação de dados.

Tabela 10 – Análise Estatística da Aroeira do Sertão.

Análise de Variância			
Parâmetro	Média Geral	Pr>Fc	Coefficiente de Variação (%)
Altura da Planta	4,2295	0,5286	47,80
Diâmetro do Caule	1,5230	0,4436	32,98
Número de Folhas	61,2500	0,6774	76,83
Teste de Tukey			
Parâmetro	Água	Esgoto	
Altura da Planta	3,9390 b	4,5200 b	
Diâmetro do Caule	1,4350 b	1,6110 b	
Número de Folhas	65,7000 b	56,8000 b	

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autores (2023).

Tabela 11 – Análise Estatística do Ipê Roxo.

Análise de Variância			
Parâmetro	Média Geral	Pr>Fc	Coefficiente de Variação (%)
Altura da Planta	3,3315	0,6086	59,63
Diâmetro do Caule	2,0280	0,9056	64,17
Número de Folhas	49,9000	0,3556	73,72
Teste de Tukey			
Parâmetro	Água	Esgoto	
Altura da Planta	3,1000 b	3,5630 b	
Diâmetro do Caule	1,9930 b	2,0630 b	
Número de Folhas	42,1000 b	57,7000 b	

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autores (2023).

A partir da análise da tabela 10 e 11 é possível identificar que a relação de “ $pr > fc$ ” foi maior que 0,05 para todos os parâmetros e ambas espécies florestais, identificando que os tratamentos não são significativos, isto é, são estatisticamente iguais. Em relação ao coeficiente de variação, Gomes (2009), em experimentos agrícolas, classificou acima de 30% em alto, ou seja, todos os parâmetros apresentaram coeficiente alto, sendo justificado pela grande heterogeneidade de dados.

Já pelo teste de tukey, os resultados não diferiram entre si, logo, estatisticamente são iguais. Embora a análise entre os tratamentos seja igual, é possível verificar que o efluente tratado apresentou as maiores médias para todos os parâmetros de desenvolvimento de mudas, exceto aroeira do sertão quanto ao de número de folhas.

Arnaldo *et al* (2007) utilizando esgoto doméstico tratado na produção de mudas de espécies florestais da caatinga, entre elas ipê roxo, identificou que os tratamentos possuíram interação significativa. As mudas de ipê roxo irrigadas com efluente tiveram o crescimento inicial inferior às irrigadas por água e após 30 dias do experimento apresentaram desenvolvimento superior para as variáveis de altura da planta e diâmetro do caule. A figura 10 demonstra graficamente que após os 28 dias de cultivo, as mudas irrigadas com efluente tratado obtiveram desempenho maior que às irrigadas com água em termos de altura da planta. Já a figura 11 demonstra que só foi possível verificar um diâmetro de caule maior para as mudas de efluente tratado após os 98 dias de experimento.

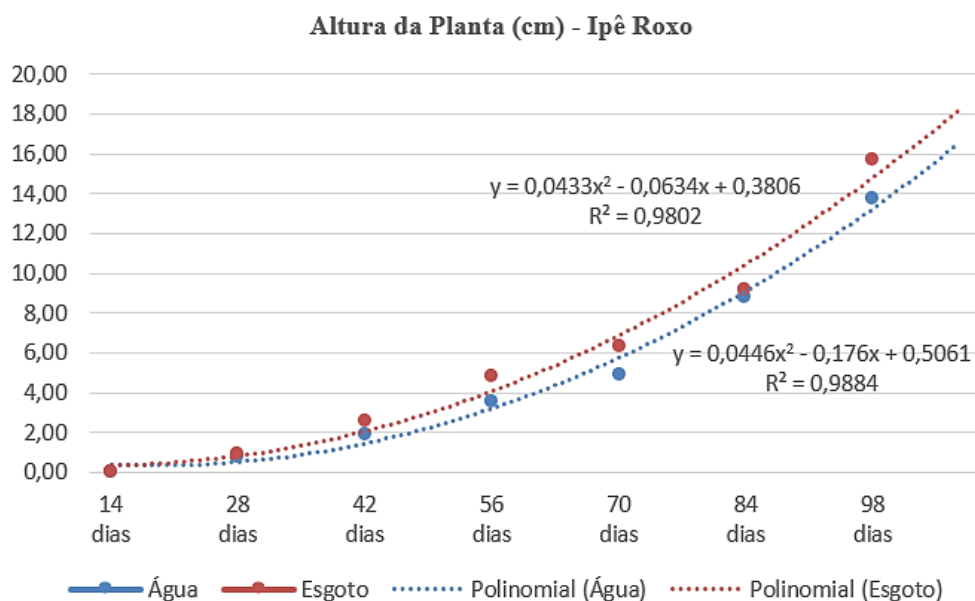


Figura 10 – Comparação Gráfica do Ipê Roxo em cada fase para o parâmetro de altura da planta.

Fonte: Autores (2023).

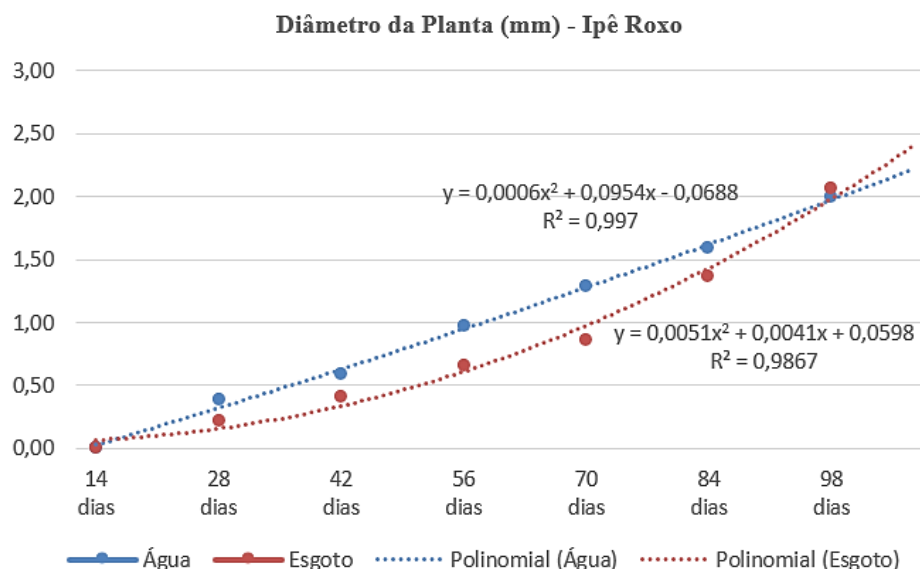


Figura 11 – Comparação Gráfica do Ipê Roxo em cada fase para o parâmetro de diâmetro do caule.
Fonte: Autores (2023).

Amaral *et al* (2019) produzindo mudas de ipê roxo irrigadas com efluente tratado, verificou que a média da altura da planta para as mudas irrigadas com esgoto foi superior em 1,94 cm quando comparadas com as de água. Foi visto ainda, que não ocorreu diferença significativa na quantidade de folhas médias, evidenciado também neste trabalho conforme figura abaixo.

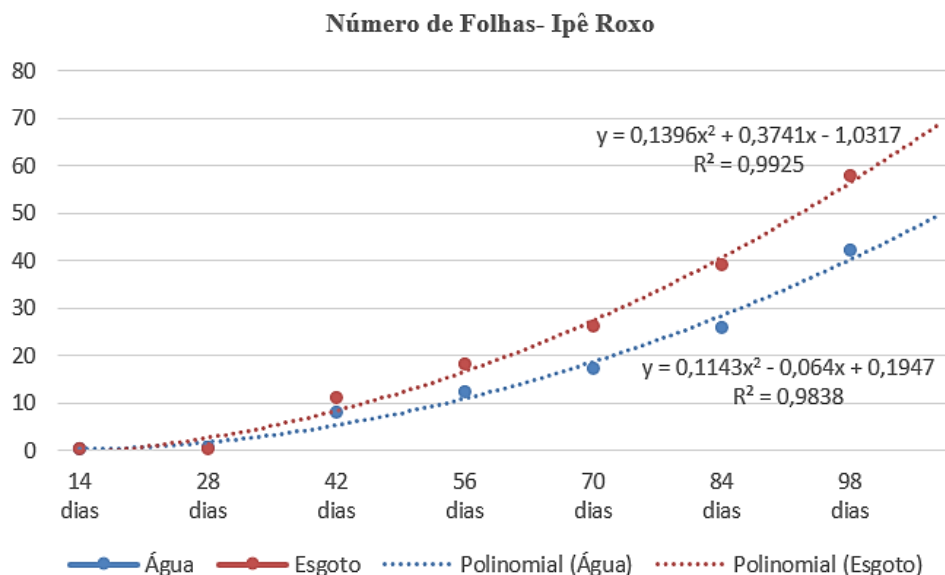


Figura 12 – Comparação Gráfica do Ipê Roxo em cada fase para o parâmetro de número de folhas.
Fonte: Autores (2023).

Arnaldo (2006) produzindo mudas florestais de ipê roxo e aroeira do sertão em um DIC com esgoto tratado e água em um período de 105 dias, identificou que as mudas apresentaram altura média maior para irrigação com efluente do que com água. Para aroeira 14,72 cm e 24,48 respectivamente e ipê cerca de 13 cm e 24,3 cm, respectivamente. Identificou-se

ainda que os tratamentos destas mudas, estatisticamente, apresentaram significativa variação quanto a irrigação. Em relação ao diâmetro do caule, para ambas as espécies, o esgoto tratado apresentou melhor resposta. Para aroeira 3,37 mm e 3,84 mm e ipê cerca de 6,68 mm e 10,34 mm, nessa ordem. O autor verificou ainda, quanto a este parâmetro, que os tratamentos de aroeira não foram afetados pela qualidade da água irrigada, possuindo diâmetros semelhantes, sendo que apenas as de ipê roxo foram afetadas. As figuras abaixo demonstram os resultados graficamente para aroeira do sertão.

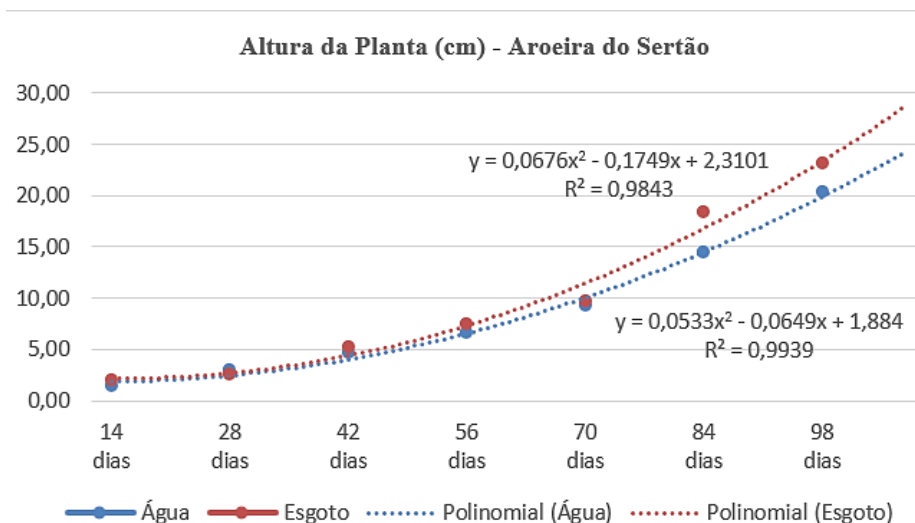


Figura 13 – Comparação Gráfica da Aroeira do Sertão em cada fase para o parâmetro de altura da planta.
Fonte: Autores (2023).

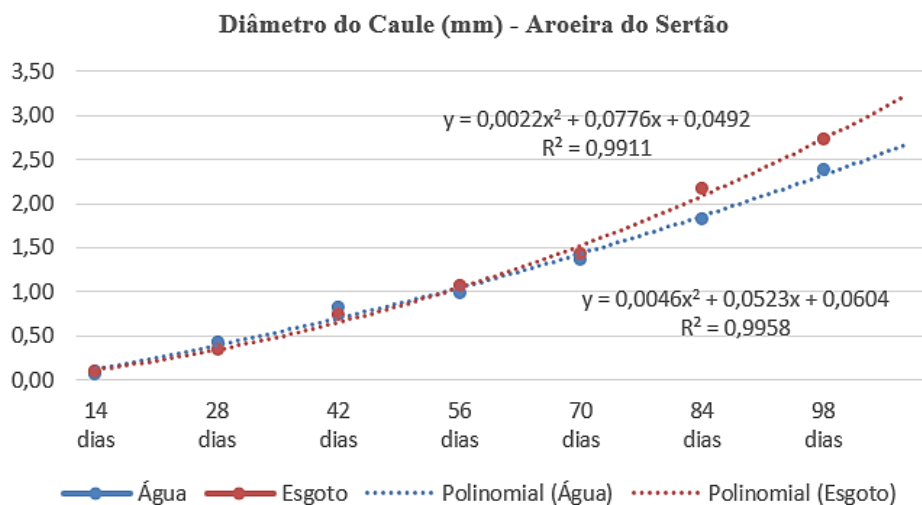


Figura 14 – Comparação Gráfica da Aroeira do Sertão em cada fase para o parâmetro de diâmetro do caule.
Fonte: Autores (2023).

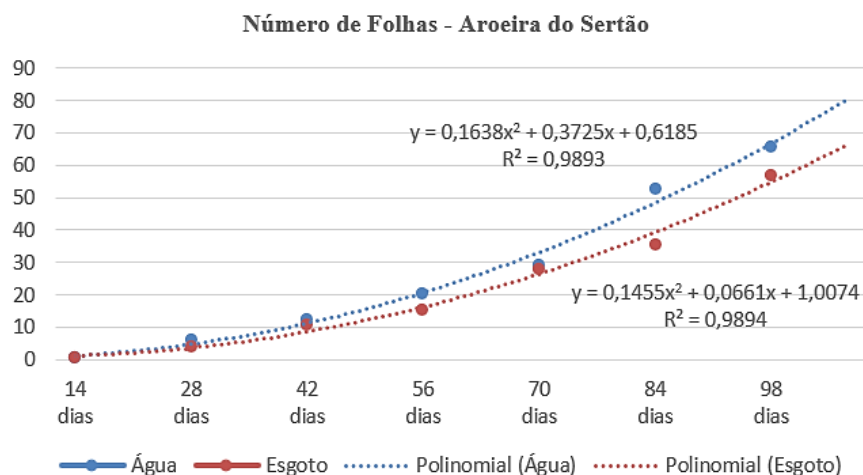


Figura 15 – Comparação Gráfica da Aroeira do Sertão em cada fase para o parâmetro de número de folhas.
Fonte: Autores (2023).

Brito *et al* (2018) utilizando água residuária na produção de mudas de aroeira do sertão em um DIC com duração de 150 dias, identificou que o desenvolvimento das mudas em termos de altura, diâmetro e número de folhas foi significativamente maior que as irrigadas com água. Ambos os tratamentos apresentaram diferença significativa pelo teste de tukey a 5%.

Apesar dos dados estatísticos não terem sido significativamente distintos, as médias de desenvolvimento das mudas para ambas as espécies foram maiores no efluente tratado devido a maior concentração de macronutrientes e material orgânico. Já em relação ao número de folhas, único parâmetro cujo a água obteve maior resultado do que o efluente tratado, no caso da aroeira do sertão, isto pode ser explicado devido ao tempo do experimento, Brito *et al* (2018) afirma que até os 90 dias iniciais, a espécie ainda não entra no estágio de clímax. Além disso, Pacheco *et al* (2011) afirma que devido a variabilidade genética explicada pela heterogeneidade fisiológica das sementes, pode ser um fator que afeta o desenvolvimento.

4. Considerações Finais

Com base nos resultados apresentados, foi possível identificar as seguintes conclusões:

- O efluente tratado não atendeu as normas de reúso da ABNT NBR 13.969/1997 e SES/SMA/SSRH N° 1/2017 em sua totalidade, principalmente quanto aos parâmetros de turbidez e DBO, sendo necessário adotar melhorias no tratamento terciário;
- O efluente tratado apresentou melhores resultados para o desenvolvimento morfofisiológico das mudas, tanto para a aroeira do sertão quanto para o ipê roxo, devido a elevada concentração de nutrientes e material orgânico em comparação a água, exceto o número de folhas para aroeira do sertão, mas estatisticamente pelo teste de tukey a 5% não obtiveram significativas diferenças quanto a qualidade de irrigação;
- A prática do reúso de efluentes deve ser mais difundida devido a grande viabilidade econômica e ambiental;
- Novos estudos devem ser conduzidos para identificar as causas do não crescimento das mudas A2, I2, I4 e I13, visto que o experimento em questão obedeceu a todas as variáveis de controle.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2019. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- AMARAL, Elizabeth; IONEKURA, Márcio; COSTA, Joelithon. Produção de Mudas de Ipê Roxo irrigadas com efluente doméstico tratado para fins de reflorestamento. Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, [s. l.], ed. 30, p. 1-10, 2019.

- APARECIDA, Maria; LIMA, Taine; THIAGO, Jefferson; ARAÚJO, Cristiano; LIRA, Hemeson. Qualidade de água designada para abastecimento público de Rio Branco - AC. Direitos Sociais em tempos de crise, [s. l.], p. 1-11, 2020.
- ARNALDO, Beranger; DANTAS, José; ANTUNES, Vera Lúcia; SALES, Joelma. Uso de esgoto doméstico tratado na produção de mudas de espécies florestais da caatinga. Principia, João Pessoa, n. 15, p. 1-6, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. RJ. 1997.
- BEZERRA, Cléssia; ANDRADE, Thiago. Qualidade da água em uma escola municipal do alto sertão paraibano. Temas em Saúde, João Pessoa, v. 16, ed. 3, p. 1-18, 2016.
- BIOGILL. Technical Design Manual. 3ª versão. Setembro, 2015.
- BRASIL. Lei 6.938 de 1981: Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. 1981.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Brasil, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il.
- RESOLUÇÃO Nº 430 DE 13/05/2011 (FEDERAL) – Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2011.
- BRITO, Raimundo, NETO, Miguel, MORAIS, Maria, DA SILVA, Dias, NILDO, Lira, R.B.. (2018). Use of wastewater in the production of Aroeira seedlings. Revista Caatinga. 31. 687-694. 10.1590/1983-21252018v31n318rc.
- CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente (Coema). Resolução nº 02, de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. CE. 2017.
- CENTENO, L.N.; Guevara, M.D.F.; Cecconello, S.T.; Sousa, R.O. & Timm, L.C. (2017) - Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, vol. 4, n. 1, p. 31-37.
- CNPI. Banco de Dados de Imagens do Centro Nordestino de Informações das Plantas. [S. l.], 2010. Disponível em: http://www.cnpi.org.br/banco_img/Aroeira/index.html. Acesso em: 22 mar. 2022.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Barra de São Miguel, estado de Alagoas. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- DUARTE, I. (2021). Estudo de Caso: Aplicação de Nanotecnologia em uma Estação De Tratamento de Efluentes Domésticos em São Miguel dos Milagres – Alagoas. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS, 7(1), 51.
- EMBRAPA. Degradação do solo: um problema rural e urbano. [S.l.: s.n.], 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17938389/especial-30-anos-tecnologias-ajudam-a-recuperar-areas-degradadas> Acesso em: 11 de jun. de 2021.
- EMBRAPA. Orientações para coleta de solo para análise. 2ª edição: 2012.
- GOMES, F. P. 2009. Curso de estatística experimental. 15 th ed. FEALQ, Piracicaba.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. A estimativa da taxa de desmatamento por corte raso para a Amazônia Legal em 2019 é de 9.762 km². INPE, [S. l.], p. 1-3, 18 nov. 2019. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5294. Acesso em: 22 out. 2021.

- IPMA. Instituto de Preservação da Mata Atlântica: Sobre Nós/Objetivos. [S. l.], 2019. Disponível em: http://www.ipma.org.br/?page_id=7. Acesso em: 25 ago. 2021.
- LAMBAIS, G. R. et al. Águas residuárias na produção de mudas florestais do bioma caatinga. O semiárido brasileiro e suas especificidades, v. 53, p. 1–9, 2019.
- MAROUELLI, Waldir; BRAGA, Marcos. Irrigação Na Produção De Mudanças De Hortaliças. Campo e Negócios, [S. l.], p. 1-4, 6 dez. 2016.
- METCALF & EDDY, 2003, Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse, 4^a ed., New York: McGraw Hill.
- MOTA, S. et al. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB): Reúso de águas em irrigação e piscicultura. 2007.
- NAKAYAMA, F.S; BUCKS, D.A. Trickle irrigation for crop production: design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383p.
- OLIVEIRA, T. A., ALVES, L., MARTINS, A. C., & MORENO, M. I. (2015). A Importância do Solo Para o Desenvolvimento das Hortaliças. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, 11(22).
- OLIVEIRA, M. C. OGATA, R. S., ANDRADE, G. A, SANTOS, D. S., SOUZA, R. M., GUIMARÃES, T. C., JÚNIOR, M. C. S., PEREIRA, D. J. S., RIBEIRO, J. F. Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado. Rede de Sementes do Cerrado, 2016.
- OLIVEIRA, Bruno. Teste de Tukey para Comparações Múltiplas. Statplace, [S. l.], p. 1-2, 21 ago. 2019. Disponível em: <https://statplace.com.br/blog/comparacoes-multiplas-teste-de-tukey/>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- PACHECO, M. V.; SILVA, C. S. da; SILVEIRA, T. M. T.; HÖLBIG, L. dos S.; HARTER, F. S.; VILLELA, S. A. Physiological quality evaluation of the radii Schinus terebinthifolius seeds. Revista Brasileira de Sementes, v.33, n.4, p.762-767, 2011.
- PAULINO, Walt Disney; TEIXEIRA, Francisco José Coelho, 2012. A questão ambiental e a qualidade da água nas bacias hidrográficas do Nordeste. In: ANA – Agência Nacional de Águas. A Questão da Água no Nordeste/ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas. – Brasília, DF: CGEE.
- QUEIROZ, Adelmo; QUEIROZ, Sérgio; ARAGÃO, Carlos. (2015). Reuso de efluentes domésticos na irrigação por gotejamento do tomareiro. Pesquisa Agropecuária Pernambucana. 10.12661/pap.2015.006.
- SANGEL DE OLIVEIRA, Brunna Stefanny; CAVALCANTI DA CUNHA, Alan. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 9, núm. 2, abril-junio, 2014.
- SÃO PAULO. Resolução Conjunta SES/SMA/SSR n° 01, de 28 de Junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá outras providências. SP. 2017.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). Reflorestamento: produção de mudas florestais no bioma amazônico / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. (Senar). — 1. Ed. Brasília: Senar, 2018. 116 p.
- SILVA, A. A., & Schlindwein, J. A. (2018). Limitação Nutricional e Crescimento de Plantas de Ipê-Roxo em Latossolo Amarelo Distrófico na Omissão de Nutrientes. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, 5(2).
- SIQUEIRA, Lauda. Análise da qualidade da água para fins de abastecimento público no rio pardo, município de Ourinhos-SP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, [S. l.], p. 1-67, 1 mar. 2016.
- TAYLOR, Tony. Resort Wastewater Treatment System using BioGill Technology. BioGill Operations, Australia, 2013.

TIBCO. O que é Análise de Variância (ANOVA)? TIBCO Software, [S. l.], p. 1-2, 4 maio 2019.

TIGRE ADS. Unidade de Qualidade de Água: Ficha Técnica. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.tigre-ads.com/nova-nomenclatura-arquivos-tecnicos-2021/catalogo-unidade-de-qualidade-de-agua-uqa.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.