



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



BIANCA ANACLETO ARAUJO DE SOUSA

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA

Cajazeiras
2019

BIANCA ANACLETO ARAÚJO DE SOUSA

**IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PARA
TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba -
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Nome do Orientador

Cajazeiras
2019

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catálogo na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

S725i

Sousa, Bianca Anacleto Araújo de

Implantação e avaliação de um sistema para tratamento de água cinza / Bianca Anacleto Araújo de Sousa; orientador Cícero de Sousa Nogueira Neto.- Cajazeiras, 2019.-

55 f.: il.

Orientador: Cícero de Sousa Nogueira Neto.

TCC (Bacharelado em Eng. Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019.

1. Saneamento básico 2. Tratamento de efluentes 3.
Fitorremediação I. Título

628.3 (0.067)

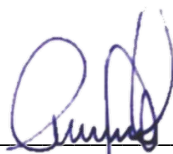
BIANCA ANACLETO ARAÚJO DE SOUSA

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA

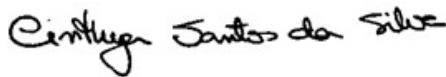
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 28 de setembro de 2019.

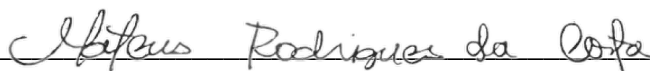
BANCA EXAMINADORA



Cícero de Souza Nogueira Neto – IFPB - *Campus* Cajazeiras
Orientador



Cinthya dos Santos Silva – IFPB - *Campus* Cajazeiras
Examinador 1



Mateus Rodrigues da Costa – IFPB - *Campus* Cajazeiras
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal da Paraíba - IFPB, *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de realização dessa pesquisa. A todos os professores, que se mostraram grandes incentivadores ao longo de toda a minha formação. Aos professores Cinthya dos Santos Silva e Mateus Rodrigues da Costa por aceitarem participar da banca e contribuir com o aprimoramento deste trabalho. Aos demais servidores do instituto que colaboraram nessa fase tão decisiva que foi o desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso. Aos colaboradores da Empresa Diagonal, prestadora de serviços ao Instituto, os quais auxiliaram de várias maneiras na fase de execução do experimento.

Ao IFPB, *Campus* Sousa, Unidade de São Gonçalo, que de forma tão solícita cedeu as mudas cultivadas no viveiro do setor de Agroecologia, para a aplicação no sistema.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, em nome do colaborador Carlos Celço Formiga Gomes, pelo apoio na realização das análises de qualidade da água.

Ao professor orientador Cícero de Souza Nogueira Neto, que me instruiu de maneira tão sábia no decorrer desse trabalho, como também em muitos outros desenvolvidos anteriormente. Agradeço a experiência e conhecimento compartilhados, dia a dia, que tanto ajudaram minha formação profissional, por ser também um exemplo de humanidade e integridade.

Aos meus colegas e também discentes dessa instituição, com os quais pude contar diversas vezes durante o decorrer do curso e que sem dúvida foram essenciais para essa conquista. Aos amigos, Alexandra Amador de Abreu, Amanda Jéssica Rodrigues, Breno Francisco Pereira, Geovany Ferreira Barrozo, Jéssica Silva, Leonardo Dias de Souza e Victor Valério Landim, com os quais pude dividir várias alegrias e também incertezas vividas nos últimos anos, agradeço a amizade, o respeito e o apoio.

"Todas as vitórias ocultam uma abdicação."

Simone de Beauvoir

RESUMO

A água é um recurso natural essencial para manutenção da vida e para o seu desenvolvimento. A ela estão atrelados inúmeros fatores de progresso, de modo que a sua falta, além de dificultar a vida da população, impossibilita que diversas atividades geradoras de renda sejam realizadas. É importante sempre garantir a sua disponibilidade, tanto em quantidade, quanto em qualidade. O Brasil, mesmo possuindo grandes bacias hidrográficas, sofre com escassez de água devido a má distribuição da densidade populacional, que se concentra em áreas de baixa disponibilidade hídrica, destacando-se também a grande degradação da qualidade dessas águas. Nesse sentido, nota-se a necessidade de propostas que promovam o saneamento básico e o aumento na oferta de água à população. A hipótese discutida nesse trabalho foi a eficiência de um sistema para tratar água cinza, que são aquelas oriundas de pia de cozinha, verificando a eficácia na remoção de poluentes por uma camada vegetal, associada a um tratamento de filtração. A implantação do sistema piloto foi no Instituto Federal da Paraíba - IFPB, *Campus* Cajazeiras. A pesquisa evidenciou algumas das adversidades presentes na execução de pesquisas experimentais, ratificando a importância do desenvolvimento de estudos no âmbito do ecosaneamento, como uma possível solução para áreas desprovidas estruturas de esgotamento sanitário. Os resultados das variáveis físico-químicas da água mostraram que alguns parâmetros como, pH, cor e turbidez, se encontram dentro dos limites permitidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005). Entretanto, Salinidade, CE e SDT não obtiveram resultados satisfatórios.

Palavras-Chave: Tratamento de Efluentes; Saneamento Básico; Fitorremediação.

ABSTRACT

Water is an essential natural resource for maintaining life and for its development. Many factors of progress are linked to it, so that its lack, in addition to hindering the life of the population, makes it impossible for several income-generating activities to be carried out. It is important to always ensure your availability, both in quantity and in quality. Brazil, even possessing large river basins, suffers from water scarcity due to poor distribution of population density, which focuses on areas of low water availability, highlighting also the great degradation of the quality of these waters . In this sense, we note the need for proposals that promote basic sanitation and the increase in water supply to the population. The hypothesis discussed in this work was the efficiency of a system to treat gray water, which are those originating from a kitchen sink, verifying the efficacy in the removal of pollutants by a plant layer, associated with a filtration treatment. The implementation of the pilot system was at the Federal Institute of Paraíba-IFPB, Campus Cajazeiras. The research evidenced some of the adversities present in the execution of experimental researches, confirming the importance of the development of studies in the scope of ecosanitation, as a possible solution for areas devoid of depletion structures Health. The results of the physicochemical variables of water showed that some parameters, such as pH, color and turbidity, are within the limits allowed by CONAMA resolution 357/2005 (BRASIL, 2005). However, salinity, CE and SDT did not obtain satisfactory results.

Keywords: Wastewater treatment; Basic sanitation; Phytoremediation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxo da metodologia executada.	25
Figura 2: Esquema representativo dos componentes do sistema de tratamento.	26
Figura 3: a) Reservatório enterrado - R1; b) Reservatório elevado - R2; c) Tubo Ø25mm em formato de espinha de peixe implantada no R2 ao final da tubulação de recalque.	27
Figura 4: Disposição dos componentes do sistema de tratamento de acordo com o <i>layout</i> executado.....	30
Figura 5: a)Execução da alvenaria na ZR; b)Preenchimento da camada de areia nos FT antes de cobrir a tubulação de entrada; c)Tubulação Ø25mm em formato de espinha de peixe; d)Preenchimento da camada de brita nos FT.....	31
Figura 6: Colorímetro portátil usado na quantificação da CV.	32
Figura 7: Turbidímetro usado na quantificação da Turbidez.....	33
Figura 8: Equipamento usado na aferição dos SDT.....	33
Figura 9: Medição <i>in loco</i> para CE, Salinidade, OD e pH.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre a hipótese prevista para cada etapa do sistema e o seu real desempenho. ..46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo entre o pH médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.	36
Gráfico 2: Comparativo entre o pH no decorrer da pesquisa.	37
Gráfico 3: Comparativo entre o OD (mg/L) médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.....	37
Gráfico 4: Comparativo entre o OD (mg/L) medido no decorrer da pesquisa.	38
Gráfico 5: Comparativo entre a CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) média da água cinza e da água tratada pelo sistema.....	39
Gráfico 6: Comparativo entre a CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) medida no decorrer da pesquisa.	40
Gráfico 7: Comparativo entre os SDT (mg/L) médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.....	40
Gráfico 8: Comparativo entre os SDT (mg/L) medidos no decorrer da pesquisa.....	41
Gráfico 9: Comparativo entre a Salinidade (ppt) média da água cinza e da água tratada pelo sistema. ...	42
Gráfico 10: Comparativo entre a Salinidade (ppt) medida no decorrer da pesquisa.....	42
Gráfico 11: Comparativo entre a Turbidez (UNT) média da água cinza e da água tratada pelo sistema...	43
Gráfico 12: Comparativo entre a Turbidez (UNT) medida no decorrer da pesquisa.	43
Gráfico 13: Comparativo entre a CV (UC) média da água cinza e da água tratada pelo sistema.	44
Gráfico 14: Comparativo entre a CV (UC) medida no decorrer da pesquisa.	44
Gráfico 15: Comparativo entre o LPO médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.	45
Gráfico 16: Comparativo entre o LPO medido no decorrer da pesquisa.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACB - Água Cinza Bruta

CAGEPA - Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

CE - Condutividade Elétrica

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CV - Cor Verdadeira

FT - Filtro

IFPB - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

LPO - Limiar de Percepção Odorífica

OD - Oxigênio Dissolvido

ONU - Organização das Nações Unidas

pH - Potencial Hidrogeniônico

R1 - Reservatório 1

R2 - Reservatório 2

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

ZR - Zona de Raízes

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
ABSTRACT	1
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	1
LISTA DE TABELAS	1
LISTA DE GRÁFICOS	2
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	1
SUMÁRIO.....	2
CAPÍTULO 1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	13
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	13
1.2 HIPÓTESE	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 SANEAMENTO BÁSICO COMO UM NECESSIDADE HUMANA	17
2.2 QUALIDADE DA ÁGUA	19
2.2.1 Turbidez.....	20
2.2.2 Cor	20
2.2.3 Sólidos Dissolvidos Totais - SDT	20
2.2.4 Percepção de Odor.....	21
2.2.5 Condutividade Elétrica - CE.....	21
2.2.6 pH	22
2.2.7 Oxigênio Dissolvido - OD.....	22

2.3 CYMBOPOGON CITRATUS (DC.) STAPF (CAPIM SANTO)	22
CAPÍTULO 3. METODOLOGIA	25
3.1 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	25
3.2 PROJETO E EXECUÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	28
3.3 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA	31
3.3.1 Parâmetros Físicos	31
3.3.2 Parâmetros Químicos.....	35
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1 QUALIDADE DA ÁGUA	36
4.1.1 Parâmetros Químicos.....	36
4.1.2 Parâmetros Físicos.....	38
4.2 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	46
CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	47
5.1 REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A – PROJETO EXECUTIVO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	51
APÊNDICE B – RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DA ZONA DE RAÍZES..	52

CAPÍTULO 1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A disponibilidade hídrica é considerada um fator de progresso, pois possibilita o desenvolvimento de diversas atividades geradoras de renda, como, agricultura, a produção industrial, pesca, além disso, a oferta de água influencia a qualidade da vida humana. Assim, é importante sempre garantir a sua disponibilidade. Entretanto, esse recurso natural já se encontra em escassez em várias partes do mundo. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, Brasil, 2015), em seu relatório "Água para um mundo sustentável", até 2030 o planeta enfrentará um déficit de água de 40%, ou seja, a demanda por água deverá se tornar maior que a oferta. Ainda segundo a ONU, a gestão de recursos hídricos através de ações severas voltadas a preservação, regulamentação e controle é a melhor ferramenta para reverter essa situação.

O Brasil, mesmo possuindo grandes bacias hidrográficas, sofre com a escassez de água devido a má distribuição da densidade populacional, que se concentra em áreas de baixa disponibilidade hídrica, destacando-se também a grande degradação da qualidade dessas águas (TELLES & COSTA, 2010). Essa situação fica ainda mais difícil na Região Nordeste do país em razão de algumas características regionais intrínsecas, como a irregularidade pluviométrica, as altas temperaturas e a sazonalidade de seus mananciais, assim como, a própria intervenção humana predatória neste espaço, que contribui para contaminação dos corpos hídricos.

O saneamento básico e ambiental são elementos primordiais para saúde da população, o que torna o seu estudo e o aprimoramento de suas técnicas uma temática de suma importância para a sociedade. Um grande desafio a ser enfrentado refere-se a disposição adequada dos efluentes líquidos produzidos, esses, quando despejados sem tratamento no meio ambiente poluem o solo, o ar e também os corpos d'água receptores. O crescimento acelerado das cidades nem sempre consegue ser acompanhado pelos coletores públicos de esgoto e estações de tratamento, já que a construção dessas infraestruturas exigem um alto valor de investimento por parte da administração pública.

Um método que vem sendo amplamente estudado nos últimos anos é a utilização de mecanismos que propiciem o reúso de águas servidas. Esse tipo de tratamento se utiliza de processos artificiais de depuração e remoção de poluentes para tornar o efluente próprio a

reutilização para fins não potáveis ou para o lançamento e disposição final, mantendo a qualidade dos corpos d'água receptores. O tratamento de águas residuárias com vista na sua reutilização possibilita substituir o uso de água potável para fins menos nobres, aumentando assim a oferta de água e evitando que os efluentes sejam lançados sem tratamento no meio ambiente. Segundo Telles e Costa (2010), o reúso de águas servidas já acontece de forma não planejada, ao se lançar esgoto em um corpo hídrico e a água desse mesmo manancial ser consumida a jusante. Entretanto, quando esse efluente é lançado sem tratamento adequado há grandes chances de contaminação.

Uma técnica que tomou grande impulso nos últimos anos é a fitorremediação, é usada geralmente na descontaminação de solos poluídos por alguns herbicidas e metais pesados, mas que vem aos poucos situando-se com boa aplicação no tratamento de águas residuárias. A fitorremediação utiliza sistemas vegetais para recuperar águas e solos contaminados por poluentes orgânicos ou inorgânicos. Esse processo é baseado na capacidade que a zona radicular das plantas tem de biotransformar moléculas orgânicas exógenas. A rizosfera, como é denominada esta zona, tem sido desde então estudada por sua importante função de utilizar moléculas poluentes como fonte de nutrientes para os diversos microrganismos que coabitam nesta região (VENDRUSCOLO, et al. 2018). A grande vantagem desta técnica reside no seu baixo custo de implantação e manutenção, que a torna uma solução com muita potencialidade para contaminantes que se estendem por grandes áreas ou onde haja limitados recursos financeiros (LUIZ, et. al. 2016).

A fitorremediação quando usada em tratamento de esgoto é comumente associada a outros processos de tratamento. Existem inúmeras combinações de sistemas ou materiais empregados antes ou depois da zona de raízes. O intuito é contribuir com a descontaminação, assim a escolha da combinação mais adequada está condicionada ao tipo de poluente trabalhado.

Nesse contexto, percebe-se a importância do desenvolvimento de tecnologias que ampliem a oferta de água a população e principalmente se estas, estiverem voltadas a ações que promovam o saneamento básico e ambiental, como é o caso do tratamento de águas servidas para reúso, vista como uma oportuna alternativa para ambientes desprovidos de rede coletora de esgoto. O reúso de água, além de ser uma técnica de promoção da sustentabilidade, também acaba por gerar economia financeira. Vale ressaltar que o tratamento e desinfecção das mesmas são imprescindíveis para a utilização segura e esteticamente adequada dessa água.

1.2 HIPÓTESE

A hipótese testada neste trabalho é de que um sistema composto por uma zona de raízes associada ao tratamento de filtração por areia e brita é capaz de reduzir poluentes presentes nas águas cinzas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Implantar e avaliar o desempenho de um sistema de tratamento alternativo, para água cinza proveniente do refeitório do IFPB *Campus* Cajazeiras.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a água cinza coletada através de análises físico-químicas;
- Projetar e construir um sistema de tratamento de água cinza;
- Acompanhar o crescimento da cultura usada nesse sistema;
- Monitorar a qualidade da água tratada verificando a eficácia do processo, com base nas resoluções nº 357/2005e nº 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em seis capítulos, estruturados da seguinte forma:

Capítulo 1 - Apresentação do trabalho: Introduz e contextualiza a temática discutida. Mostra o porquê e como surgiu a idéia para esse estudo e quais os objetivos a serem alcançados com o seu desenvolvimento.

Capítulo 2 - Referencial Teórico: Mostra o estado da arte para outras pesquisas desenvolvidas sobre os sistemas de tratamento de água cinza, reúso de água e fitorremediação. Além de elucidar conceitos importantes para o entendimento do trabalho.

Capítulo 3 - Metodologia: Apresenta a metodologia, procedimentos e materiais utilizados na execução da pesquisa. Detalha a montagem do sistema, as formas de coleta e análise da qualidade da água e as ferramentas de inferência dos resultados.

Capítulo 4 - Resultados e Discussões: Discorre sobre o funcionamento do sistema de tratamento e os desafios da sua implantação. Apresenta os resultados das análises de qualidade da água, fazendo um comparativo com as legislações vigentes e outras referências literárias. Discute a viabilidade e as possibilidades de reúso do efluente.

Capítulo 5 - Considerações Finais e Recomendações: Traz as conclusões do estudo e recomendações para pesquisas futuras. Nesta seção são apresentados os trabalhos utilizados para embasar esta pesquisa.

Apêndices - Projeto executivo e relatórios de acompanhamento do sistema de tratamento.

CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SANEAMENTO BÁSICO COMO UM NECESSIDADE HUMANA

Desde que os homens passaram a se assentar em cidades, a coleta de águas servidas, hoje chamadas de esgoto sanitário, passava a ser uma preocupação daquelas civilizações. Durante a idade média não houve grandes avanços no que diz respeito as práticas de saneamento, conseqüentemente, essa época foi marcada por inúmeras epidemias (NUVOLARI, 2011).

No final da Idade Média, já existia uma relação, mesmo que intuitiva, entre saneamento do meio e processo de doença. No século XVIII, a causa das enfermidades era entendida pelas condições de vida e trabalho das populações e, com o advento da microbiologia, a concepção “ambiental” foi substituída pela “biológica”, subestimando-se a importância do ambiente físico e social (LIMA, 2001).

Mais tarde com a Revolução Industrial as cidades passaram a se desenvolver rapidamente, a migração da população rural para o ambiente urbano se intensificou, com isso os subúrbios passaram a ser ocupados pela classe operária e os arredores pelas indústrias. Entretanto, as cidades não apresentavam infraestrutura necessária para atender esse contingente, o que deixou essa população mais suscetível a problemas de saúde pública, principalmente aqueles advindos da falta de saneamento (NUVOLARI, 2011).

Na Inglaterra foi realizada uma grande reforma sanitária, que depois passou a ser seguida por outros países europeus. Passava-se a remover as fezes e os dejetos acumulados nos edifícios utilizando descargas líquidas, semelhantes às de hoje, transportando os detritos para as canalizações de águas pluviais. Entretanto, esses esgotos ainda eram lançados nos rios sem tratamento (LIMA; NUVOLARI, 2001; 2011).

Ao longo da história os problemas de saúde pública e de poluição do meio ambiente obrigaram a humanidade a encontrar soluções de saneamento para a coleta e o tratamento dos esgotos, o abastecimento de água segura para o consumo humano, a coleta e o tratamento dos resíduos sólidos e a drenagem das águas de chuva. Com o desenvolvimento científico e tecnológico, atualmente existem várias técnicas para resolver os problemas sanitários. Porém o crescimento da população, de suas necessidades e de seu consumo, também aumentam a degradação do meio ambiente. A exemplo, da água de qualidade para o consumo humano que passa a torna-se um recurso cada vez mais escasso, e os problemas de saneamento vão

tornam-se mais difíceis de serem solucionados e com um maior custo de implantação e manutenção das infraestruturas de serviços (RIBEIRO E ROOKE, 2010).

Na atualidade as tecnologias de tratamento de efluentes estão cada vez mais eficientes, porém, ainda não há uma universalização no acesso por parte da população, provocando assim uma situação de vulnerabilidade a essas pessoas as quais o sistema de saneamento não consegue atender.

O saneamento básico adequado é um dos indicadores de saúde e o direito à saúde se configura em um dos mais importantes, estando em nível de igualdade com o direito à vida, pode-se assegurar que o saneamento equivale ao mínimo existencial (CARCARÁ, 2019).

O tratamento de esgoto sanitário de forma descentralizada trata os esgotos domésticos próximo de sua fonte geradora, podendo ser implementado em áreas rurais ou em pequenas comunidades periféricas dos grandes assentamentos humanos (zonas periurbanas), tendo como principal característica apresentar baixos custos de investimento, de operação e de manutenção (RODRÍGUEZ, 2009; CAMPOS et. al. 2019).

Em geral, boa parte dos processos empregados nesse tipo de configuração são denominados genericamente de ecossaneamento, basicamente melhorias dos processos que ocorrem normalmente nos ecossistemas, com a vantagem de não necessitarem de investimentos tecnológicos e demandarem poucos insumos químicos (CAMPOS et. al. 2019).

Na década de 70 surgiu na Alemanha a concepção de tratar os esgotos por fluxo horizontal. A primeira *wetland* construída foi na cidade de Othfresen em 1974, e o procedimento foi nomeado como *Root Zone Method-RZM* que traduzido significa Método de Zona de Raízes. *Wetlands* são áreas de transição entre um sistema terrestre e um aquático. Podem existir na forma natural, brejos, várzeas, pântanos, manguezais ou lagos rasos, como também podem ser construídos, ecossistemas artificiais que reproduzem as características de *wetlands* naturais, utilizando plantas aquáticas e substratos como, brita, areia, bambu, casca de arroz, entre outros (SILVA, 2017).

Esse tipo de sistema tem baixo custo de implantação, operação e manutenção em relação aos sistemas convencionais. O Brasil é um dos países que oferecem excelentes condições climáticas e ambientais para a implantação deste tipo de sistema, além de apresentar uma enorme carência de tratamento de águas residuárias, especialmente nos pequenos e médios municípios.

No semiárido brasileiro, a produção estimada de esgoto bruto alcançou 423,3 milhões de m³/ano , contabilizando, desse total, um volume coletado de apenas 116,9 milhões de

m³/ano , cujo tratamento limitou-se a 89,1 milhões m³/ano. Desse volume total de esgoto produzido (423,3 milhões de m³/ano) nas áreas urbanas da região semiárida, somente 27,1% são coletados pelas redes separadoras convencionais, sendo a maior parte (72,9%) destinada às fossas, sumidouros, valas a céu aberto e/ou lançada, diretamente, nos corpos hídricos (MEDEIROS et al., 2014).

As águas cinza representam 67% do volume total das águas residuárias domésticas e são definidas como aquelas não provenientes de vasos sanitários, mas sim de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou edificações que contenham lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque. Em geral as águas cinza são compostas por 30% de fração orgânica e de 9 a 20% de nutrientes, repercutindo, quando adequadamente manejadas, em boa fonte nutricional às plantas. (INCERA et al., 2017).

O aproveitamento de água cinza pode resultar em economia de água potável, economia de energia elétrica e menor produção de esgoto sanitário na escala das edificações. Em uma escala maior, resulta em preservação dos mananciais de água, por diminuir a quantidade de água captada e por reduzir o lançamento de esgoto sanitário pelas áreas urbanas, além de reduzir o consumo de energia elétrica (INCERA et al., 2017).

Segundo Telles e Costa (2010), o reúso de água se ramifica em algumas classificações, tais como:

- Reúso indireto não planejado: quando o efluente não tratado é lançado em um corpo hídrico e a água desse mesmo corpo hídrico é consumida a jusante.
- Reúso indireto planejado: ocorre quando o efluente tratado é despejado de forma planejada em um manancial, que tem utilização de sua água a jusante.
- Reúso direto planejado: nesse caso os efluentes depois de tratados são encaminhados diretamente para seu ponto de reúso, não sendo descartados no meio ambiente.
- Reciclagem da água: é o reúso interno da água, antes sofrer qualquer tipo de tratamento ou ir para descarte.

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA apresenta resoluções que estabelecem o enquadramento das águas brutas, tanto para as águas superficiais, quanto para as águas subterrâneas. Trata-se da Resolução CONAMA N°357/2005 (BRASIL, 2005)

que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Segundo o CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) os rios são classificados de acordo com o grau de salinidade, em: água doce, salobra e salina, ou ainda de acordo com os seus usos múltiplos da água, podendo ser enquadrados como classe 1, 2 e 3. Em todos os casos, os enquadramentos são feitos a partir de parâmetros estabelecidos.

2.2.1 Turbidez

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETEB, a turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la. Esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam a turvação nas águas são maiores que os comprimentos de onda da luz branca (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

2.2.2 Cor

Na definição de cor em uma amostra, a turbidez causa interferência, absorvendo também parte da radiação eletromagnética. Esta coloração é dita aparente pois é como o ser humano a vê, mas na verdade é, em parte resultado da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão. Daí a diferenciação entre a Cor Verdadeira - CV e a cor aparente, que é incrementada pela turbidez. Para a obtenção da CV há a necessidade de se eliminar previamente a turbidez através de centrifugação, filtração ou sedimentação. A centrifugação é o método mais indicado pois na filtração ocorre adsorção de cor da amostra no papel de filtro e, na sedimentação, existem sólidos em suspensão que se sedimentam lentamente e não são removidos (VON SPERLING, 2014).

2.2.3 Sólidos Dissolvidos Totais - SDT

Sólidos Dissolvidos Totais - SDT remete a presença de material em estado coloidal orgânico e inorgânico, contidas num líquido sob formas moleculares ionizadas ou

microgranulares. Os SDT relacionam-se diretamente com a condutividade elétrica e a salinidade da água, devido a presença de íons comuns a quantificação desses parâmetros. Os SDT influenciam de maneira indireta a vida aquática, pois, impedem a penetração da luz, induzem o aquecimento da água o que, conseqüentemente, diminui a quantidade de oxigênio dissolvido no meio (VON SPERLING, 2014).

2.2.4 Percepção de Odor

A percepção de odor acontece através das sensações que são provocadas na captação de um estímulo pelo sistema olfativo. Cada substância odorante possui um limite de detecção ou percepção de odor que está relacionada à concentração mínima de odorante que produz uma sensação de mau cheiro. A percepção de odor é influenciada por diversos fatores e segundo Ferreira Filho e Alves (2006), o pode ser ocasionado por diversos motivos, como:

- Presença de constituintes inorgânicos em concentrações elevadas tais como o ferro, cloreto, sulfato, gás sulfídrico, entre outros.
- Existência de compostos orgânicos originários de fontes antropogênicas (fenóis, nitrofenóis) e demais compostos aromáticos (tetracloro de carbono, tetracloroetileno, etc...).
- Presença de compostos orgânicos originários de fontes biogênicas. É sabido que inúmeros microrganismos, notadamente certas algas, especialmente as cianofíceas (algas azuis), bem como os actinomicetos são responsáveis pela produção de certos compostos orgânicos, resultantes do seu metabolismo, que, sob certas condições ainda não totalmente conhecidas, são liberados para o meio.

De acordo com Richter (2009), o odor é uma característica organoléptica de avaliação subjetiva, não sendo passíveis de medição direta por instrumentos. Nesta caso na sua aferição o instrumento usado é o nariz, portanto, sujeito a variações individuais.

2.2.5 Condutividade Elétrica - CE

A condutividade elétrica - CE é um atributo químico que matem relação com a concentração iônica da solução, estando diretamente relacionada com as características geoquímicas e com as condições climáticas do local, cuja alteração, na água, está associada

aos elementos de sódio, cálcio e magnésio, juntamente com a salinidade da água (VON SPERLING, 2014).

2.2.6 pH

O potencial Hidrogeniônico -pH nas águas cinza depende da água de abastecimento, porém, produtos químicos como o detergente, podem provocar um aumento do pH. Esse é um parâmetro químico que expressa a atividade ou concentração do íon hidrogênio, influenciando assim na dinâmica dos ecossistemas aquáticos naturais. (NORONHA, et al. 2010).

2.2.7 Oxigênio Dissolvido - OD

O oxigênio dissolvido - OD é um parâmetro essencial para avaliação da qualidade do tratamento de águas residuárias e também fundamental na manutenção da salubridade do corpo d'água receptor. Isso porque a concentração de OD é um fator determinante na respiração de peixes e na existência de microorganismos naturais do sistema aquático.

De acordo com Yang, et al. (2018) longos períodos na ausência total, ou parcial de oxigênio levam a uma deterioração significativa na qualidade da água, porque nutrientes e metais continuam a se difundir desencadeando o crescimento de algas ou cianobactérias, que por sua vez diminuem a penetração de luz solar nas partes mais profundas do manancial.

O teor de Oxigênio Dissolvido -OD constitui um dos parâmetros químicos hidrológicos mais importantes na avaliação da qualidade das águas e de possíveis impactos ambientais, tais como, eutrofização e poluição orgânica O lançamento direto de efluentes contendo alta carga de matéria orgânica em um corpo d'água eleva o consumo de OD. Conseqüentemente o decaimento na concentração de OD resulta em um dos principais problemas de poluição de corpos d'água, afetando negativamente a biota aquática (VON SPERLING, 2005).

2.3 CYMBOPOGON CITRATUS (DC.) STAPF (CAPIM SANTO)

Cymbopogon citratus, pertence à família Poaceae, que engloba cerca de 500 gêneros e aproximadamente 8.000 espécies essencialmente herbáceas, denominadas genericamente de

gramíneas. O gênero *Cymbopogon* inclui cerca de 30 espécies de gramíneas perenes aromáticas, sendo a maioria destas nativas da região tropical do Velho Mundo. O nome deste gênero, *Cymbopogon*, deriva de *kymbe* (barco) e *pogon* (barba); em referência ao arranjo da sua inflorescência (espiga) (GOMES, 2015; University, 2003).

Trata-se de uma planta nativa da Índia, mas que facilmente se adaptou e desenvolveu-se em solo brasileiro, espécie de clima tropical a sub-tropical, a sua melhor adaptação se encontra nas zonas onde a temperatura média mensal é de 24-26° C, valores de temperatura acima de 35° C afetam seu crescimento, sobretudo quando o fornecimento hídrico é deficiente. É também conhecido como capim cidró, capim cheiroso, capim santo e capim cidreira entre outros nomes, a depender da região (GOMES, 2015).

Erva perene, frondosa e robusta que se propaga no formato de touceiras e possui uma taxa de multiplicação de 1/10, ou seja, com 1.000 m², planta-se 01 hectare (10.000 m²). O espaçamento deve ser de 50 cm entre plantas e 50 a 75 cm entrelinhas. Colheita após 06 meses do plantio. Efetua-se 02 a 03 cortes por ano, permanecendo produtiva por 05 a 08 anos. Rendimento de 12 a 15 ton. de folhas verdes/corte/hectare, com teor médio de óleo de 0,2 a 0,35% (RIBEIRO; DINIZ, 2008). Possui coloração verde-pálida e uma de suas características organolépticas mais marcantes é o odor aromático agradável, característico de limão.

A raiz é o órgão especializado para a fixação da planta no solo e para a absorção de água e sais minerais em solução, podendo ainda desempenhar as funções de reserva de substâncias e de aeração em plantas aquáticas, entre outras. As raízes do *Cymbopogon citratus* possuem uma estrutura primária, poliarca, ou seja, designada pela existência de vários feixes vasculares numa posição circular.

Esta espécie é cultivada em praticamente em todos os países tropicais. No Brasil, a produção desta espécie ocorre destacadamente nas Regiões Sul e Sudeste. No Estado do Paraná, maior produtor de plantas medicinais aromáticas do País, a produção de capim-limão ocupa posição de destaque. Nos segmentos industrial e supermercadista na região Sul, especialmente na cidade de Curitiba, o chá de capim-limão, tem sido apontado como um dos principais chás comercializados pelas empresas do ramo (GOMES, 2015).

No Nordeste do Brasil, apesar da grande influência dos meios de comunicação e do número crescente de farmácias na região, o uso de plantas medicinais ainda é freqüente, tanto no meio rural e urbano, sendo comum principalmente neste último, a presença de raizeiros em pontos estratégicos de algumas cidades. De acordo com Matos (2002), 90% da população

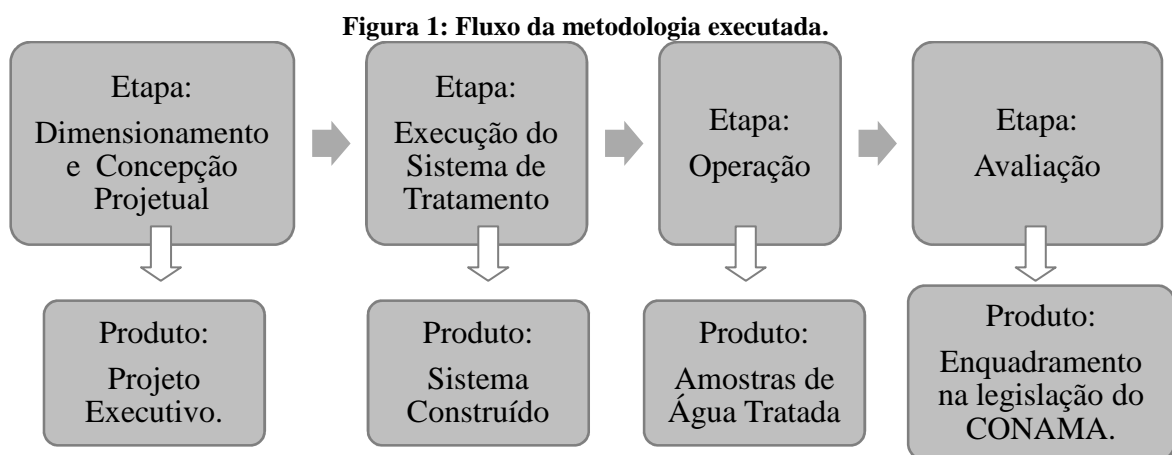
economicamente carente do Nordeste brasileiro recorrem às plantas medicinais para a cura de seus problemas de saúde.

O “chá” ou “abafado” das folhas frescas ou secas de *cymbopogon citratus* é muito utilizado na medicina popular em quase todos os continentes e abrange uma ampla gama de indicações. Possui ação diurética e alguns estudos já sugerem ação anti-hipertensiva do *cymbopogon citratus*, entretanto o uso do decocto das folhas apresentava somente efeito diurético quando administrado pela via oral, o que parecia ocorrer por eventos independentes da ação direta sobre os vasos ou depressão cardíaca. A ação calmante, espasmolítica leve e diurética do *Cymbopogon citratus* comprovada é atribuída ao citral presente no óleo essencial e pode contribuir para seu efeito antihipertensivo (SANTOS; OLIVEIRA; DUARTE, 2015; PASSOS et al., 2012). Apesar de não haver comprovação científica o *cymbopogon citratus* é também muito utilizado como febrífugo.

Além do uso medicinal, o óleo essencial do capim-limão, extraído das folhas, tem emprego tanto na indústria alimentícia, como flavorizante e aromatizante, quanto na indústria farmacêutica na produção de fitoterápicos, inseticidas, cosméticos e perfumaria.

CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa. A obtenção de dados aconteceu pela execução de um projeto piloto, instalado no IFPB *Campus* Cajazeiras, mais precisamente em uma área de jardim próxima ao refeitório desse *Campus*. A Figura 1, apresenta um fluxograma com as etapas realizadas para consolidação da metodologia dessa pesquisa, mostrando também o produto gerado em cada fase.



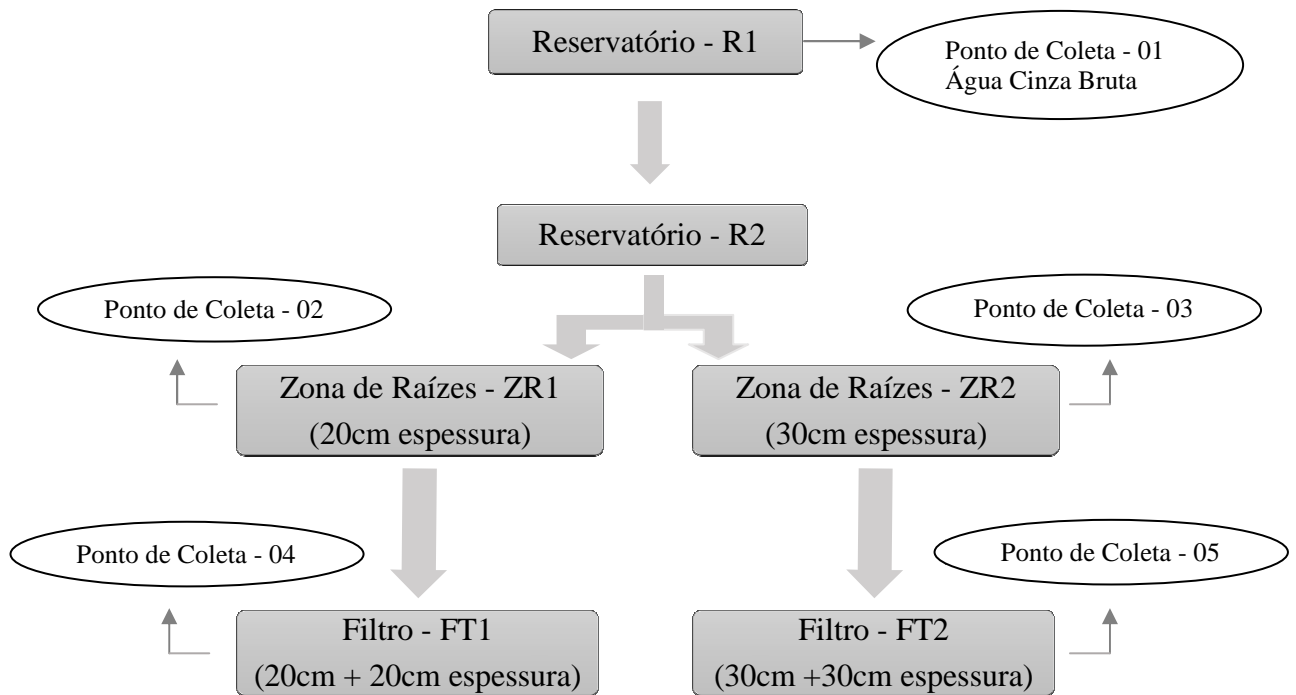
Fonte: O Autor, 2019.

3.1 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

O sistema executado possui dois módulos, cada módulo é constituído por uma Zona de Raízes - ZR seguida por um Filtro - FT de areia e brita. Os dois conjuntos foram alimentados com água cinza, proveniente da pia do refeitório do *Campus* supracitado. Entretanto, antes de adentrar os módulos esse líquido era acumulado em um Reservatório - R1 enterrado e depois bombeado para um Reservatório - R2 elevado, de onde escoava por gravidade até os dois conjuntos formado pela ZR seguida do FT (Figura 2).

As amostras de água foram coletadas em cinco pontos (Figura 2), a primeira amostra era de água cinza bruta retirada do R1 que servia para caracterizar o afluente do sistema, a segunda e a terceira foram coletadas após a passagem pelas ZR1 e ZR2 respectivamente, já a quarta e quinta amostra tratava-se do efluente final do sistema coletada após os FT1 e FT2.

Figura 2: Esquema representativo dos componentes do sistema de tratamento.



Fonte: O Autor, 2019.

Os sistemas foram operacionalizados durante o período de três semanas, nas quais realizavam-se diariamente um ciclo de funcionamento, ou seja, a água cinza era acumulada no R1, bombeada para o R2, de onde era liberada por gravidade para os módulos compostos cada um por uma ZR e um FT. Sendo nesse período coletadas 10 amostras para análise da qualidade da água, uma por dia.

a) Reservatórios

A água cinza bruta foi captada em um Reservatório - R1 de 300l, logo após sua passagem pela caixa de gordura já preexistente na instalação sanitária (Figura 3a). O R1 foi alocado no mesmo nível do solo de forma a possibilitar a captação do esgoto que saía da caixa de gordura. Nesse reservatório estava inserida uma tubulação de sucção de Ø25mm, que bombeava o fluido para um outro reservatório R2 mais elevado. No R1 a tubulação de sucção estava localizada na metade de sua altura, assim evitava-se a captação de partículas sólidas maiores que se sedimentam no fundo da caixa, bem como a espuma criada na sua superfície. Quando atingia seu volume máximo uma canalização funcionava como extravasor e conduzia o excesso de efluente para a rede coletora de esgoto.

O segundo Reservatório - R2, de 1000l garantia o volume e a altura necessária para que a água fosse introduzida na ZR (Figura 3b). Na segunda semana, houve um incremento no R2, na tentativa de aumentar o Oxigênio Dissolvido - OD na água, para isso, foi instalada uma extensão da tubulação de recalque em tubo Ø25mm no formato de espinha de peixe, com vários furos, por onde a água passava aumentando assim a sua superfície de contato com o ar (Figura 3c). Desse modo, o R2 passava a atuar desde então também como um aerador. Os reservatórios eram de polietileno e a bomba instalada possuía a altura máxima de sucção de 7 m.c.a, potência de 1/2 CV, e pressão máxima de 32 m.c.a.

Figura 3: a) Reservatório enterrado - R1; b) Reservatório elevado - R2; c) Tubo Ø25mm em formato de espinha de peixe implantada no R2 ao final da tubulação de recalque.



Fonte: O Autor, 2019.

b) Zona de Raízes - ZR

O *Cymbopogon citratus* utilizado na zona de raízes foi adquirido através de uma touceira matriz já crescida, com aproximadamente 1m de altura, disponível no viveiro de mudas do IFPB, Campus Sousa. A sua propagação se deu por meio da divisão e corte dessa touceira em perfilhos com aproximadamente 10 cm de altura. Os perfilhos foram cultivados em solo argilo-arenoso, com adição de esterco curtido para enraizarem e facilitar assim a multiplicação desse material. As mudas foram irrigadas com água potável, manualmente com ajuda de um regador, uma vez por dia por 22 dias após o plantio. Passado esse período iniciou-se o experimento, com irrigação mecanizada, feita apenas com a água cinza captada. O experimento possui duas zonas de raízes, a primeira ZR1 com dimensões (1,00x1,00x0,20)m, a segunda ZR2 (1,00x1,00x0,30)m.

c) Filtros - FT

Em seguida a ZR1 ligava-se o primeiro Filtro - FT1 que apresenta dimensões internas (1,00x1,00x0,40)m e possui uma camada de areia sobreposta a um camada de brita, ambas com dimensão de 0,20m. Enquanto que a ZR2 conecta-se ao segundo Filtro - FT2 que apresenta dimensões (1,00x1,00x0,60)m e possui a disposição de camadas semelhante ao FT-1, no entanto com dimensão de 0,30m.

3.2 PROJETO E EXECUÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Primeiro calculou-se uma vazão teórica, buscando prever o volume de efluente que o refeitório produzia diariamente. O cálculo foi baseado na NBR 7229/1993 que atribui para restaurantes e similares um consumo estimado de 25 l/dia. A previsão de volume útil foi fundamentada na NBR 13969/1997 em função dessa contribuição diária (Equação 1). O número de contribuintes trata-se da quantidade de refeições servidas diariamente no refeitório e o tempo de detenção hidráulica foi obtido na própria NBR 13969/1997.

$$V_u = 1,6 * N * C * T \quad (1)$$

$$V_u = 1,6 * N * C * T$$

$$V_u = 1,6 * 900 * 25 * 0,5$$

$$V_u = 18000 \text{ litros}$$

Onde: V_u = Volume útil;

N = Número de contribuintes;

C = Contribuição diária;

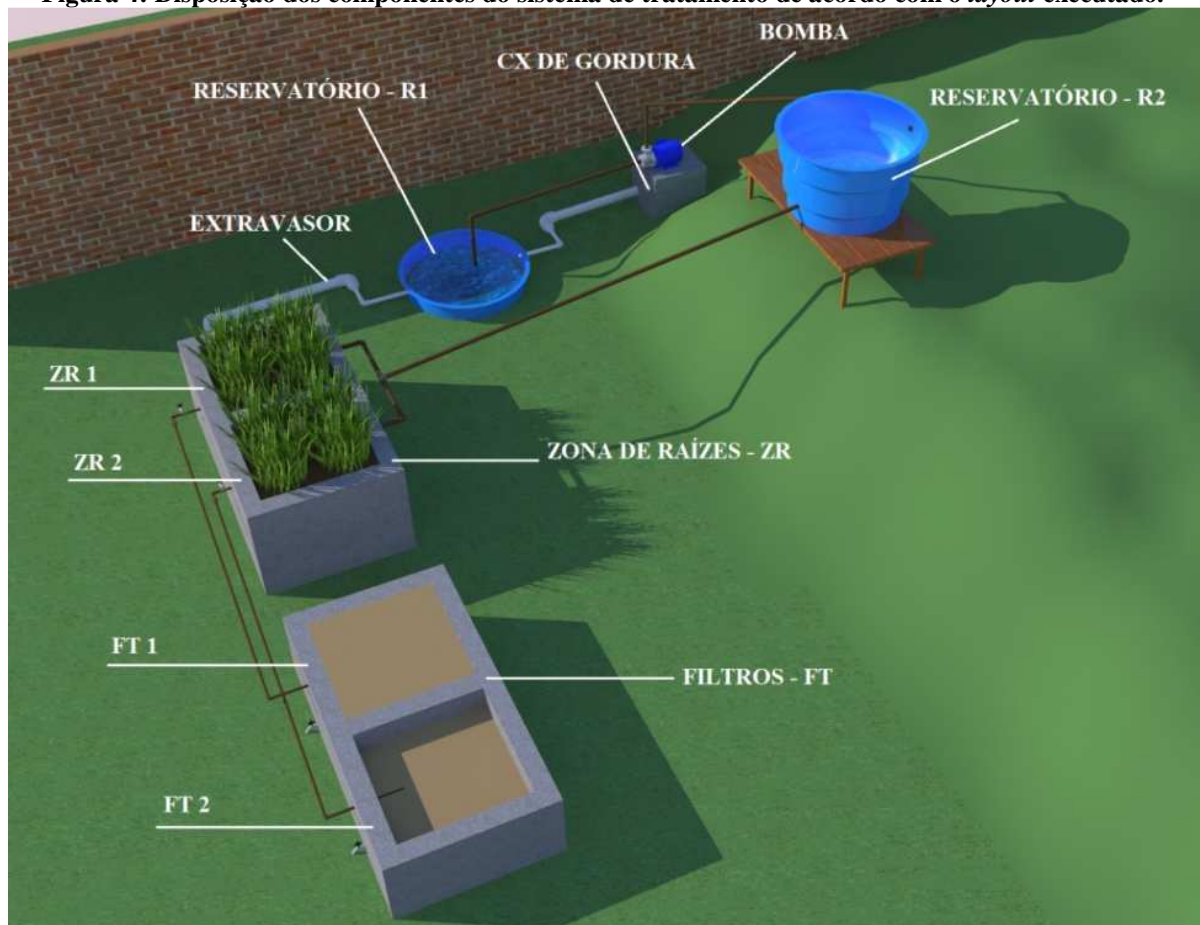
T = Tempo de detenção hidráulica (em dias).

A concepção do sistema surgiu da idéia de um conjunto simples e barato, que de forma natural melhorasse os parâmetros de qualidade do efluente produzido, tornando-o próprio ao reúso não-potável. Para isso, considerou-se o emprego de materiais de fácil obtenção, que poderiam advir até mesmo de reaproveitamento, e processos construtivos tradicionais, capazes de serem realizados por mão de obra pouco especializada. Além dessas, outras reflexões foram decisivas ao processo de concepção, como as seguintes:

- A união da zona de raízes com os filtros deveria ser feita de modo a permitir a coleta nesse ponto;
- A entrada do efluente na zona de raízes não poderia ser feita diretamente da rede de esgoto: a vazão teórica calculada era muito grande para um sistema piloto atender, além de existirem muitos sedimentos e graxas que poderiam obstruir o sistema;
- Era necessário um reservatório para controlar o volume de entrada no sistema, assim como também servir de caixa de sedimentação, já que foi constatada a forte presença de sólidos (pedaços de alimentos);
- Foram executados dos módulos com as mesmas características, os quais se diferem apenas pela espessura das camadas de material de enchimento. Assim poderia ser testada a influência da quantidade de material empregado.

Com base nessas considerações supracitadas elaborou-se nos softwares AutoCad e Sketchup o Projeto Executivo apresentado no Apêndice 01. O *layout* mostrado na Figura 4 foi definido de acordo com o espaço disponível e que permitisse melhor aproveitamento do desnível no terreno.

Figura 4: Disposição dos componentes do sistema de tratamento de acordo com o *layout* executado.



Fonte: O Autor, 2019.

Os módulos foram executados em alvenaria e revestidos apenas internamente com argamassa industrializada. Na ZR se fez necessário também a impermeabilização na parte interna. Antes do preenchimento com solo na ZR a alvenaria foi forrada com uma lona para reforçar a impermeabilização e uma manta geotêxtil evitando que o solo fosse carregado até a tubulação de saída. Nos Filtros a alvenaria também foi forrada com uma lona e uma manta geotêxtil, colocada para separar as camadas de brita e areia. Tanto na ZR, quanto nos FT havia uma tubulação subsuperficial em formato de espinha de peixe com furos em toda sua extensão por onde a água entrava (Figura 5).

Figura 5: a)Execução da alvenaria na ZR; b)Preenchimento da camada de areia nos FT antes de cobrir a tubulação de entrada; c)Tubulação Ø25mm em formato de espinha de peixe; d)Preenchimento da camada de brita nos FT.



Fonte: O Autor, 2019.

3.3 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

3.3.1 Parâmetros Físicos

Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente a água nessa experiência foram, a Cor Verdadeira - CV, a Turbidez, Condutividade Elétrica - CE, a Temperatura, os níveis de Sólidos Dissolvidos Totais - SDT e o Odor dessa substância. Vale ressaltar que as amostras foram encaminhadas para análise no laboratório de saneamento da CAGEPA, já nas aferições *in loco* houve o acompanhamento por parte da equipe da técnica dessa companhia.

A cor das águas tem sido historicamente medida através de comparação visual, empregando-se soluções padrão de cor e fonte de luz. Para estudos envolvendo necessidades de medidas com maior grau de precisão, existem outros métodos mais precisos. Nesse estudo a determinação da cor foi realizada pelo método colorimétrico de acordo com *Standard methods for the examination of water and wastewater* " (APHA, 2012), Métodos padrão para o exame de água e águas residuárias", utilizando o colorímetro portátil (figura 6).

Figura 6: Colorímetro portátil usado na quantificação da CV.



Fonte: O Autor, 2019.

A análise de turbidez foi realizada através do Turbidímetro PoliControl, esse aparelho é um detector de luz normalmente obtida por meio de lâmpadas de mercúrio, lâmpadas de tungstênio, laser ou diodos de emissão para quantificar a turbidez (Figura 7). O princípio de funcionamento dos turbidímetros, baseia-se na emissão de um feixe luminoso e na detecção da luz refletida pelas partículas em suspensão ou diferença de intensidade entre a luz emitida e recebida, normalmente medida em Unidade Nefelométrica de Turbidez - UNT.

Figura 7: Turbidímetro usado na quantificação da Turbidez.



Fonte: O Autor, 2019.

Os Sólidos Dissolvidos Totais - SDT, foram quantificados por um condutivímetro de bancada que é um instrumento digital compacto e de boa precisão (Figura 8). As medições são feitas pela imersão de um eletrodo na amostra e a leitura realizada em mg/L.

Figura 8: Equipamento usado na aferição dos SDT.



Fonte: O Autor, 2019.

A forma de obtenção dos valores de CE nessa pesquisa foi através do método potenciométrico, a unidade de medida era microsiemens ($\mu\text{s}/\text{cm}$). Para aferição das medidas em campo logo após a coleta das amostras, o aparelho utilizado foi um multimedidor portátil

(Figura 9). O mesmo eletrodo usado para quantificar a CE media a Salinidade da água. O procedimento remetia aos seguintes passos:

1. Ligar o aparelho e deixar calibrar durante aproximadamente 10 minutos;
2. Lavar a sonda de condutividade elétrica com água destilada e enxugar com papel absorvente macio;
3. Proceder a leitura de CE da amostra;
4. Proceder a leitura de Salinidade da amostra;
5. Após a leitura da amostra, lavar o eletrodo com água destilada e guardar, ou prosseguir para a próxima amostra.

Figura 9: Medição *in loco* para CE, Salinidade, OD e pH.



Fonte: O Autor, 2019.

A condutividade elétrica é uma propriedade que depende expressivamente da temperatura. Devido a isso, os dados de condutividade elétrica devem ser acompanhados da temperatura na qual foi medida. Para propósitos comparativos de dados de condutividade elétrica, define-se uma das temperaturas de referência (20 °C ou 25 °C). Nesse estudo considerou-se o valor 20°C e para a transformação dos valores medidos em campo se fez uso da seguinte equação:

$$CE \text{ a } 20^{\circ}\text{C} = \frac{CE \text{ medida}}{1 - (0,0208(20 - T))} \quad (2)$$

Onde: CE medida = Condutividade elétrica medida em campo;
 T = Temperatura que acompanha a medição em campo.

Nesse estudo, para avaliar se houve redução do mau cheiro, característico de águas servidas, se utilizou uma metodologia descrita por Richter (2009), como Limiar de Percepção Odorífica - LPO. Nesse método, são feitas diluições sucessivas em uma amostra de água, da qual se deseja determinar o odor, em água destilada, de modo a completar 200ml, essas diluição são feitas sempre com a mesma quantidade de água destilada, até que a mistura apresente odor quase que imperceptível. O LPO então é determinado pela equação:

$$LPO = \frac{A + B}{A} \quad (3)$$

Onde: A = Volume da amostra de água com odor;

B = Volume da amostra de água adicionada para completar 200ml.

O odor por se tratar de uma característica organoléptica, pode apresentar variações relacionadas a padrões e gostos particularmente individuais, por esse motivo todos os ensaios de percepção odorífica foram realizados pelo mesmo indivíduo, buscando minimizar essas variações. Além disso, o sentido olfativo está susceptível a sofrer adaptações ao meio, devido a exposição prolongada, ou frequente a um determinado estímulo, desse modo, buscou-se estabelecer intervalos entre as análises. De modo que se efetuaram três ensaios, um em cada semana. O valor de LPO é adimensional, objetiva apenas estabelecer uma escala de variação de odor, para mais ou para menos.

3.3.2 Parâmetros Químicos

Fazendo uso do mesmo aparelho e do mesmo procedimento descrito para o parâmetro CE, foi medido pH e Oxigênio Dissolvido - OD.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 QUALIDADE DA ÁGUA

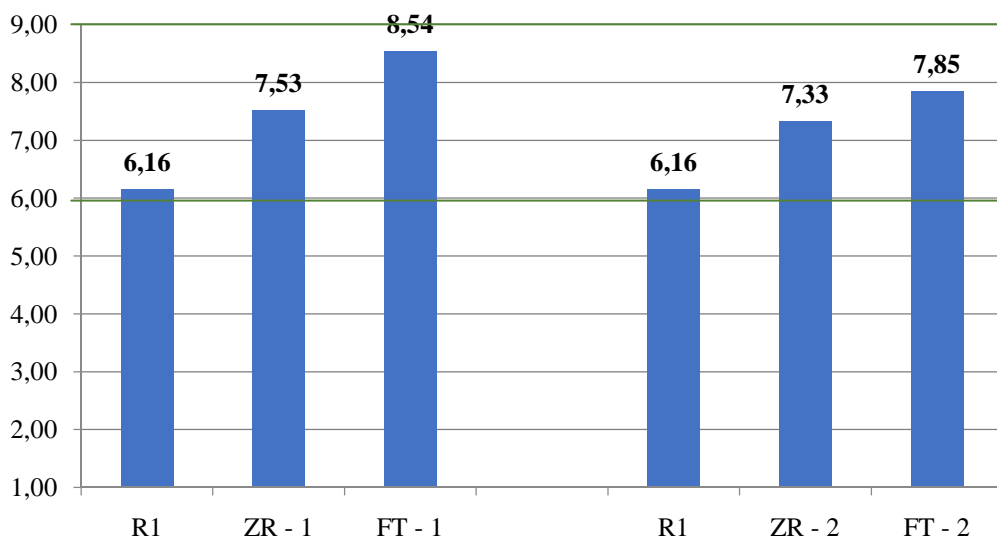
Nesta seção são apresentados os resultados inerentes a os ensaios de qualidade da água, mostrando a quantificação dos parâmetros analisados. Os gráficos mostram a média de cada etapa do tratamento e a linha de tendência que cada ponto de coleta segue, através de uma curva polinomial de segundo grau.

4.1.1 Parâmetros Químicos

a) pH

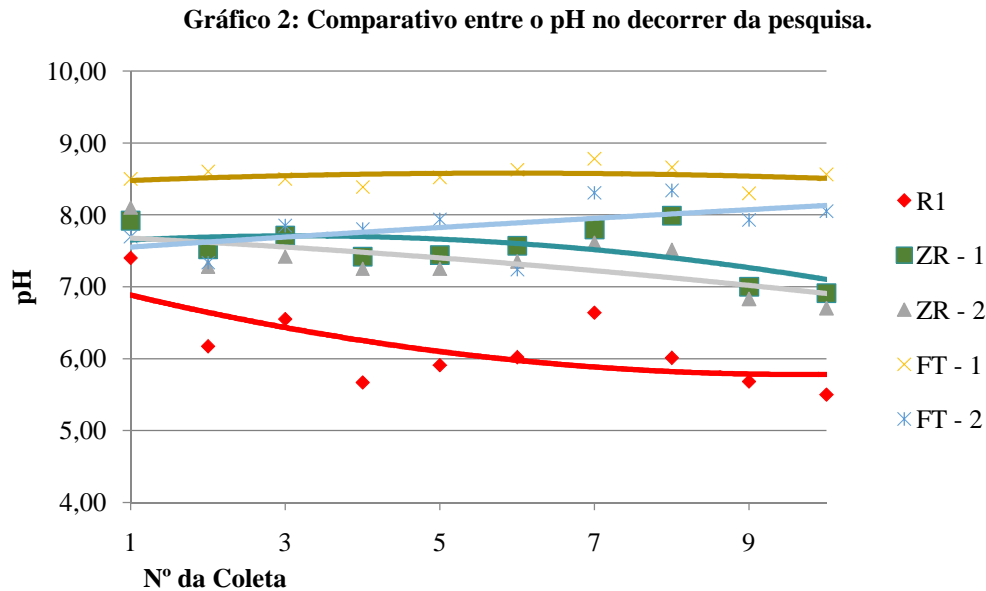
O pH, potencial hidrogeniônico é medido pela quantidade de prótons de H^+ , e representa a concentração ácida ou alcalina do ambiente aquático. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), é permitido que as águas doces classe 1 e 2 tenham um pH entre 6,0 a 9,0 e as águas salobras classe 1 pH entre 6,5 a 8. Já para o padrão de lançamento de efluentes o CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) estabelece que os valores permitidos estão fixados entre 5 e 9. Para valor médio mostrado no Gráfico 1, o efluente se encontra dentro dos padrões estabelecidos.

Gráfico 1: Comparativo entre o pH médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

O Gráfico 2, mostra as variações ao longo do tempo de estudo, assim a análise torna-se mais minuciosa, constatando-se que a ACB, apresentou pH abaixo de 6,00 em alguns pontos.

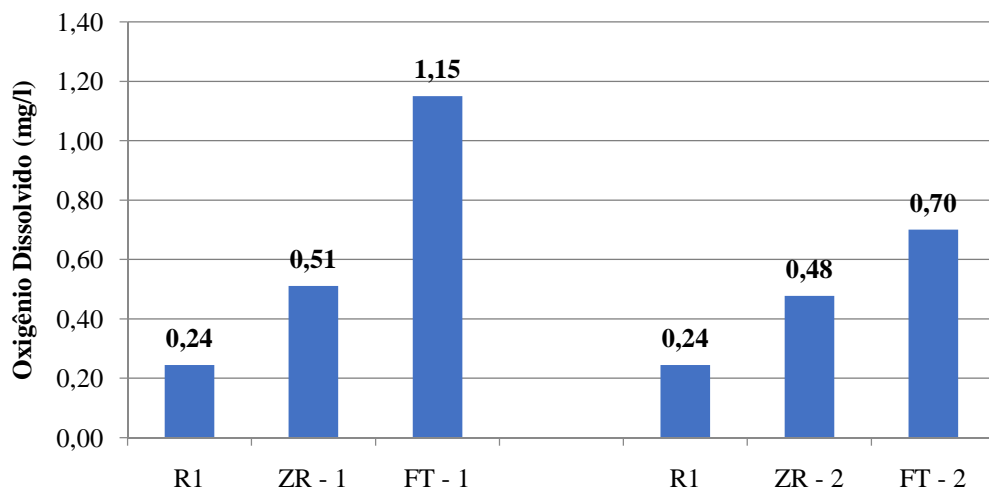


Fonte: O Autor, 2019.

b) Oxigênio Dissolvido - OD

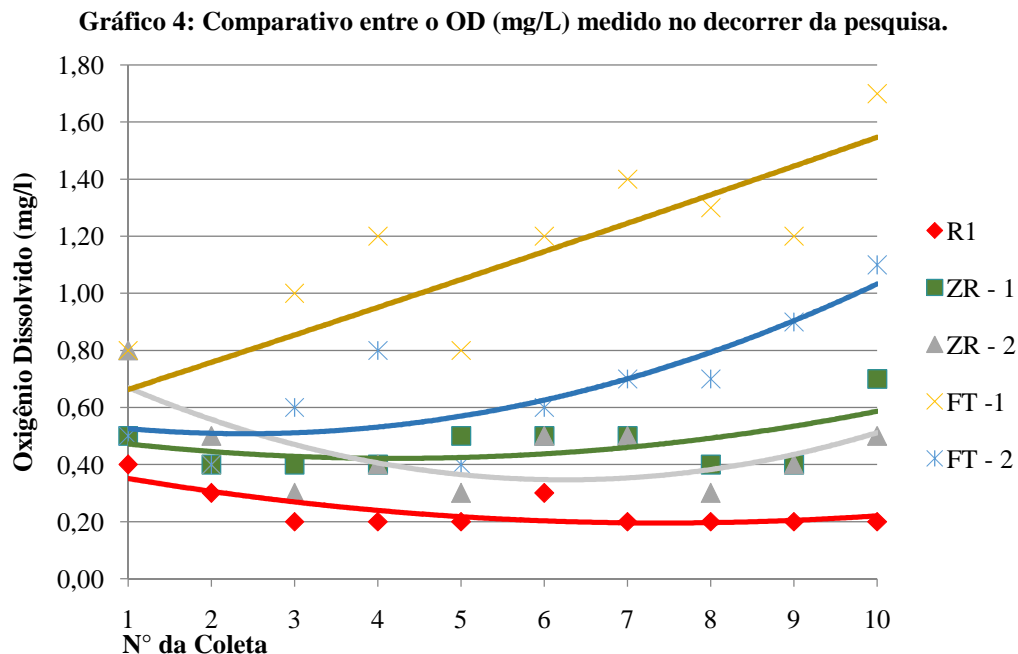
A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece que o OD, em qualquer amostra, não deve ser inferior a 3mg/L. O efluente do sistema não é capaz de atender essa condição, no entanto o Gráfico 3 mostra que o OD da água se elevou após sua passagem no sistema.

Gráfico 3: Comparativo entre o OD (mg/L) médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

Pelo Gráfico 4, podemos notar que o FT -1 demonstrou melhores resultados em todas as análises de OD, mesmo possuindo menor espessura das suas camadas. Porém durante as coletas era observado que no FT-1 o fluido demorava mais tempo filtrando, assim essa retenção pode ter melhorado o processo de depuração da água cinza. No FT -2, o processo de filtração era mais rápido, esse fato pode ser justificado por um possível dano na lona e na manta, que faria com que a água escoasse com maior velocidade. Outro quesito foi o incremento feito no R2, que acabou por influenciar o resultado desse parâmetro após a segunda semana de coleta, fazendo com que o OD da água aumente mesmo estando em menor quantidade na água cinza coletada no R1.



Fonte: O Autor, 2019.

4.1.2 Parâmetros Físicos

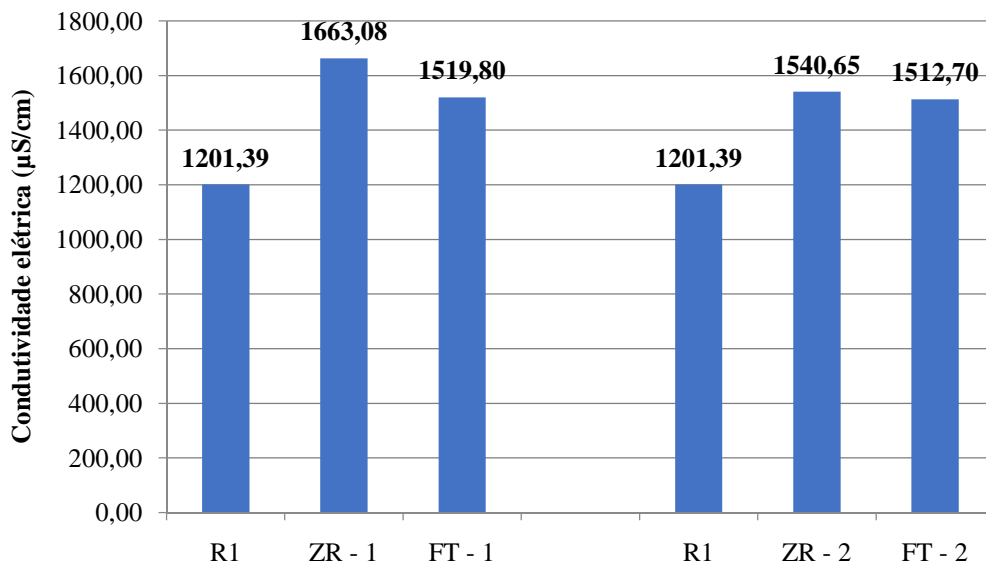
a) Condutividade Elétrica -CE

A CE está associada às concentrações iônicas presentes na água. Sólidos Dissolvidos Totais -SDT, é um indicador dessas concentrações iônicas. Os componentes primários que contribuem para a concentração de SDT são os sais de cálcio, magnésio, sódio, cloro, bicarbonato e enxofre (SOUSA, et al. 2014). Assim, podemos associar que os resultados obtidos para o aumento da CE e dos SDT pode ser consequência do também aumento da salinidade da água. Esses resultados embora, não desejáveis, não necessariamente indicam

falha no processo de tratamento ou ineficiência do sistema, isso pois, o aumento da salinidade neste caso foi atribuído ao solo utilizado, já que esses valores se elevam após a ZR e voltam a cair na passagem pelos filtros, como mostra o Gráfico 5.

O solo adquire características salino-sódico geralmente, devido a irrigação excessiva, excesso de fertilizantes, ou a má qualidade da água de irrigação (ALMEIDA, 2010). Como o sistema foi irrigado com água de poço antes de se iniciar a operação e aconteceu também a adição de esterco bovino para incrementar o crescimento vegetal, esses atributos podem ser consequência dessas antigas práticas.

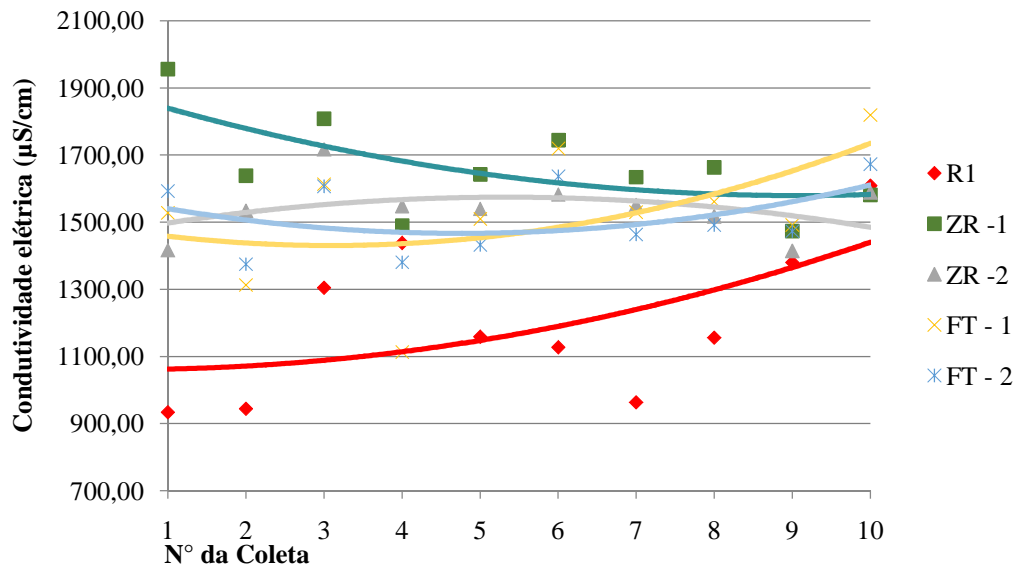
Gráfico 5: Comparativo entre a CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) média da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

O Gráfico 6 mostra que os valores de CE se elevaram principalmente nas primeiras análises, após a passagem pelo sistema, porém, no decorrer das medições a diferença na CE do R1 e do efluente do sistema passa a diminuir, isso pode indicar que absorção da água pela camada vegetal, implicaria na diminuição dos íons presentes no solo. Assim, se justificaria o comportamento decrescente nas linhas de tendência das ZR.

Gráfico 6: Comparativo entre a CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) medida no decorrer da pesquisa.

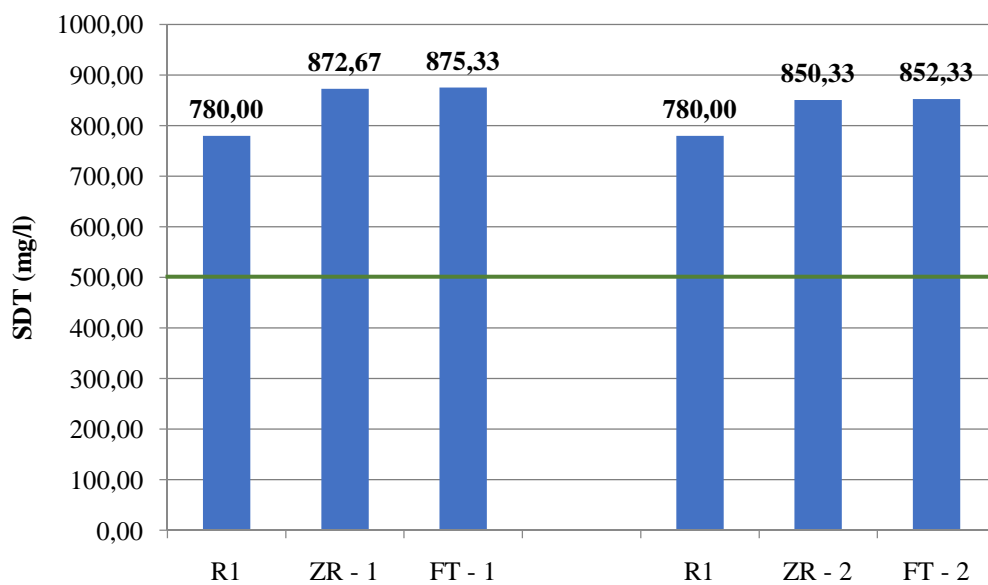


Fonte: O Autor, 2019.

b) Sólidos Dissolvidos Totais - SDT

No caso de SDT na Resolução CONAMA Nº 20/1986 (BRASIL, 1986), o valor máximo é de 500 mg/L. Isto vale também para águas de irrigação, uma vez que excesso de sólidos dissolvidos pode levar a graves problemas de salinização do solo. A presença de sólidos dissolvidos relaciona-se também com a condutividade elétrica da água.

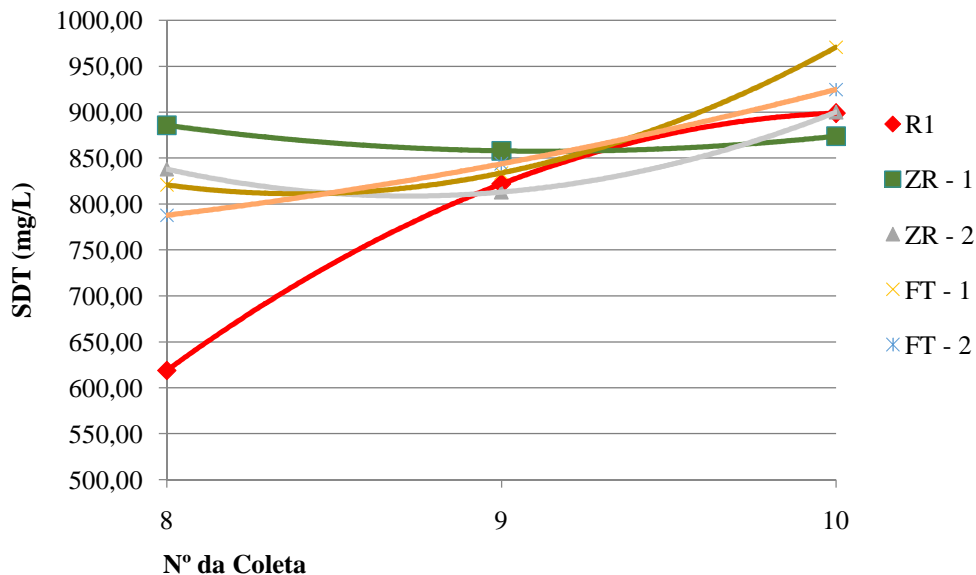
Gráfico 7: Comparativo entre os SDT (mg/L) médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

O sistema não atendeu as disposições da Resolução CONAMA N° 20/1986 (BRASIL, 1986), (Gráfico 7 e Gráfico 8) e ao contrário do esperado aumentou a quantidade SDT da água.

Gráfico 8: Comparativo entre os SDT (mg/L) medidos no decorrer da pesquisa.



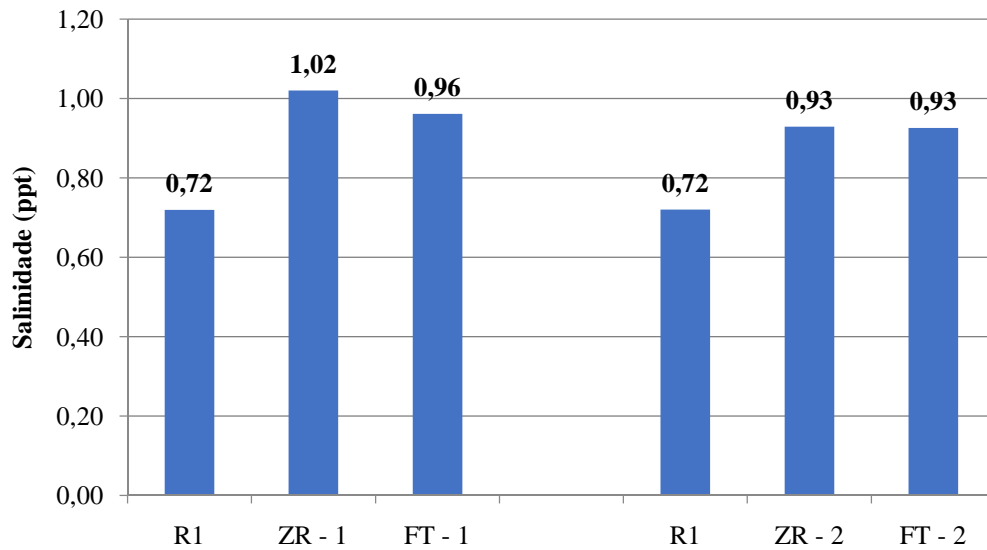
Fonte: O Autor, 2019.

c) Salinidade

Como já discutido anteriormente, a salinidade da água apresenta valores distintos para cada etapa do tratamento, sendo acentuado o aumento após a passagem do efluente pela ZR, com pico de maior valor é na ZR-1, que ao correlacionar com os dados referentes a CE nota-se a influência sobre os mesmo. Como observado na ACB e na ZR1, que apresentaram valores mínimos e máximos respectivamente, para ambos os parâmetros.

O Gráfico 9 mostra o valor médio para salinidade em cada etapa do sistema. Comparando a água cinza com o efluente de cada módulo, percebemos que a salinidade aumenta após a passagem do líquido pela ZR.

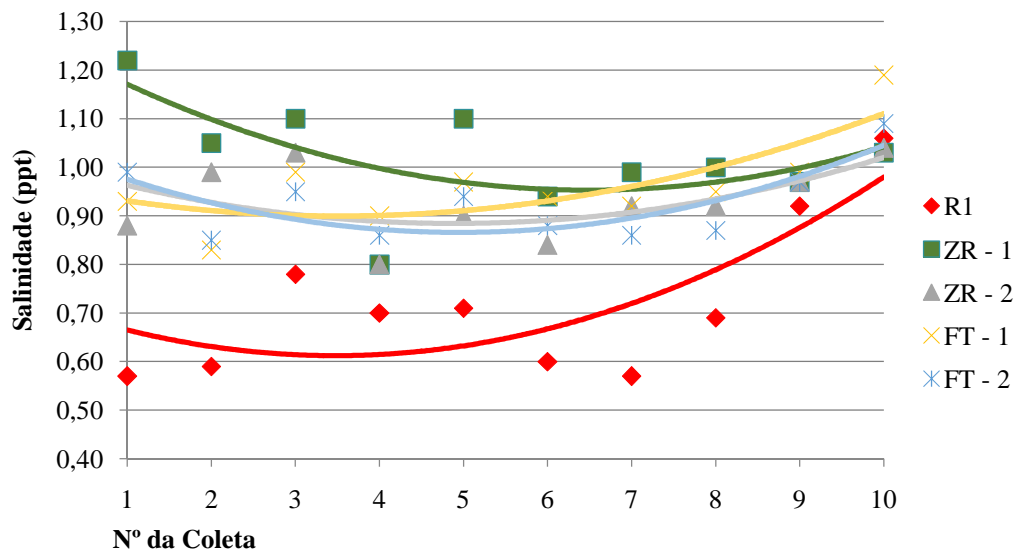
Gráfico 9: Comparativo entre a Salinidade (ppt) média da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

Pela análise do Gráfico 10, podemos observar que ele segue a mesma linha de tendência das medições de CE, o que corrobora para a associação entre esses parâmetros.

Gráfico 10: Comparativo entre a Salinidade (ppt) medida no decorrer da pesquisa.

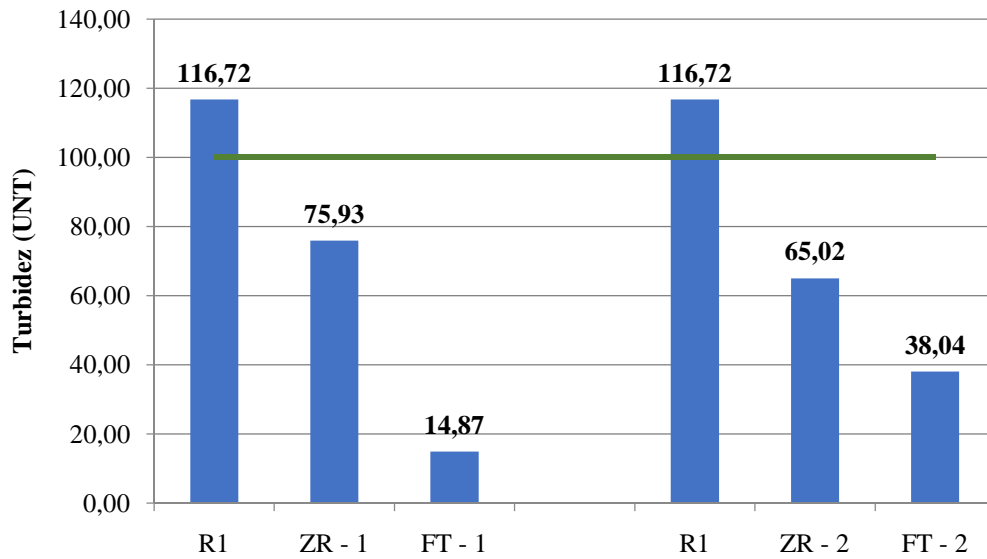


Fonte: O Autor, 2019.

d) Turbidez

Os valores permitidos segundo os padrões do CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) para águas doces classe 2, deve estar abaixo de 100 UNT, para águas doces de classe 1 abaixo de 40 UNT. Pela apreciação do Gráfico 11, podemos perceber que o sistema atuou com sucesso na remoção de turbidez da água.

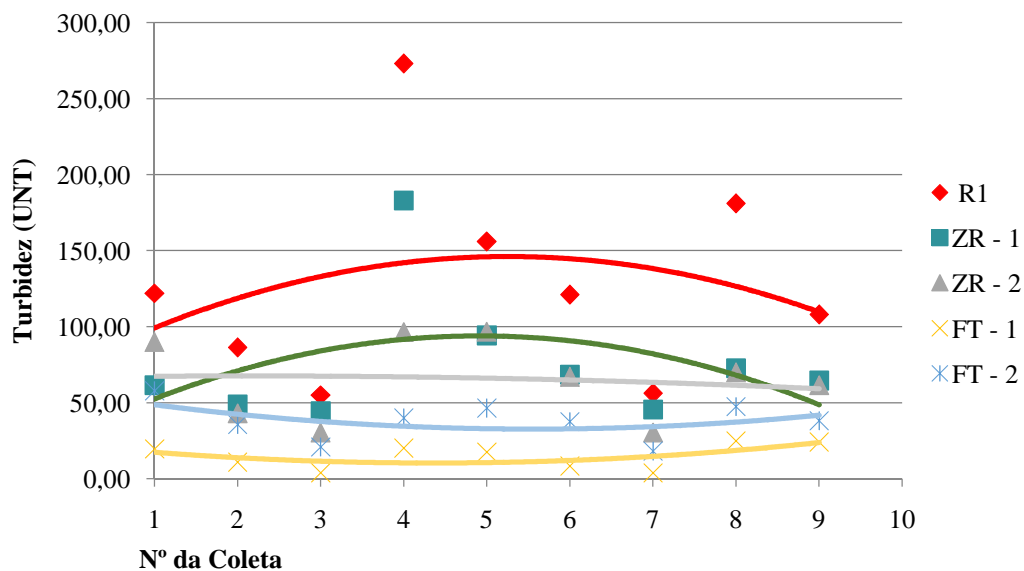
Gráfico 11: Comparativo entre a Turbidez (UNT) média da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

E como já visto em outros parâmetros o FT - 1 apresenta os melhores resultados. Neste parâmetro se enquadra no Padrão CONAMA para lançamento de efluentes (Gráfico 12).

Gráfico 12: Comparativo entre a Turbidez (UNT) medida no decorrer da pesquisa.



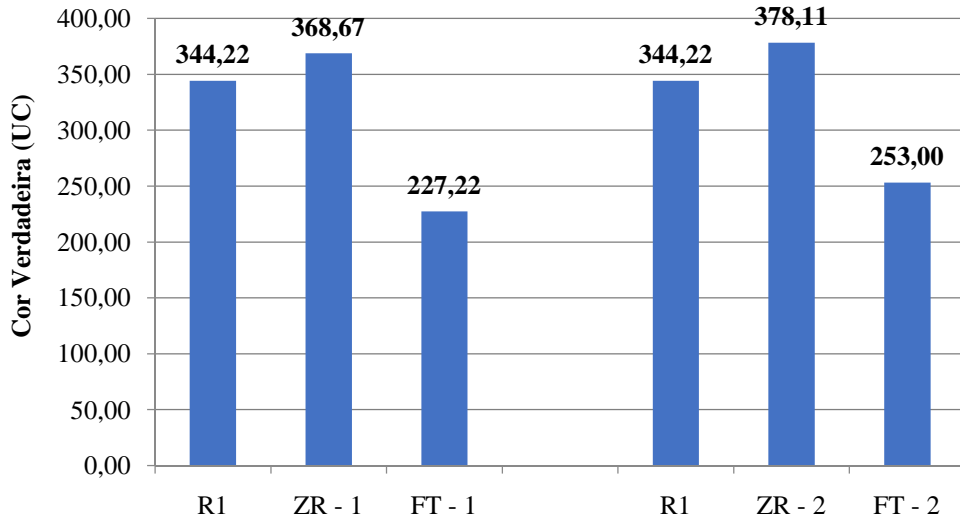
Fonte: O Autor, 2019.

e) Cor Verdadeira - CV

O sistema de tratamento foi capaz de remover uma parte da cor da ACB, entretanto, pelo Gráfico 13, podemos notar que a CV se elevava após a passagem pela ZR, e que a remoção da CV era realizada apenas pela etapa dos FT. Segundo Brasil (2014), a cor da água

é produzida pela reflexão de luz em partículas minúsculas, finamente dispersas de origem orgânica, como ácidos húmicos. Essa condição foi observada na ZR, pela presença de húmus proveniente da adubação com esterco bovino.

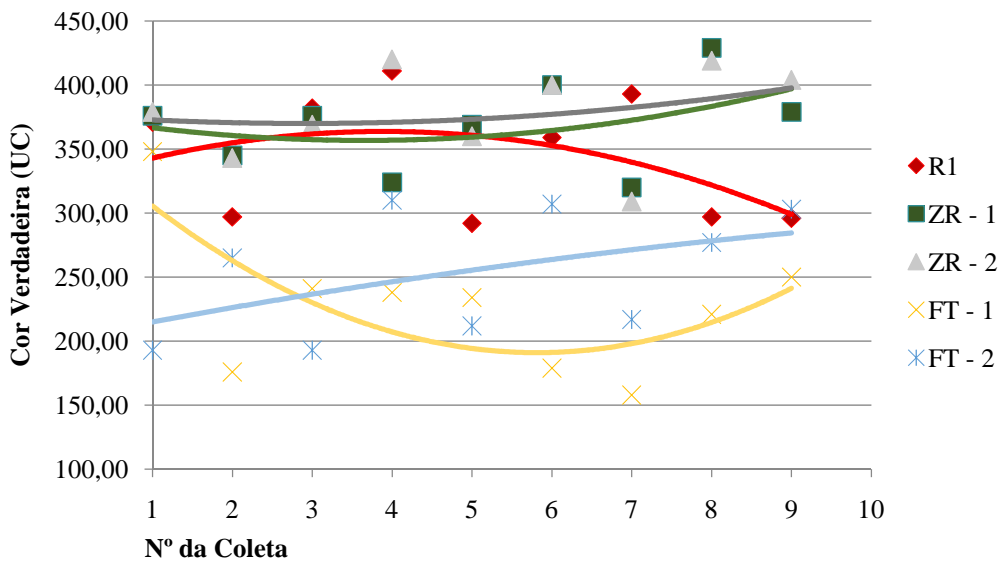
Gráfico 13: Comparativo entre a CV (UC) média da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

O Gráfico 14 mostra que mais uma vez o FT -1 apresentou melhores resultados, sendo o que melhor reduziu as unidades de CV. As ZR mostraram-se com valores de cor bem semelhantes no decorrer da pesquisa.

Gráfico 14: Comparativo entre a CV (UC) medida no decorrer da pesquisa.

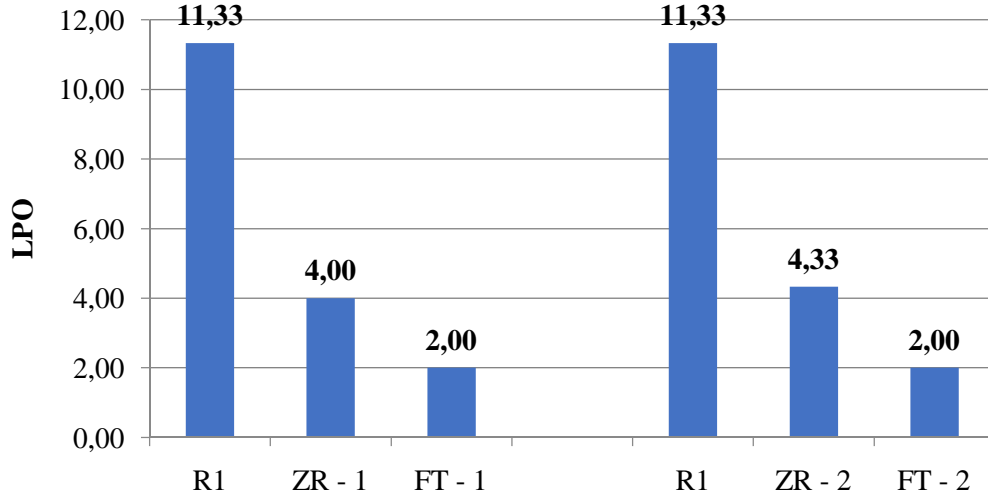


Fonte: O Autor, 2019.

f) Limiar de Percepção Odorífica - LPO

O Gráfico 25 mostra que houve uma redução do odor da água em todas as etapas do sistema. Após os FT o efluente apresentava o mesmo LPO, assim como comparando as ZR, o valor é bem próximo, desse modo, entende-se que as espessura das camadas não teve tanta influência nesse parâmetro.

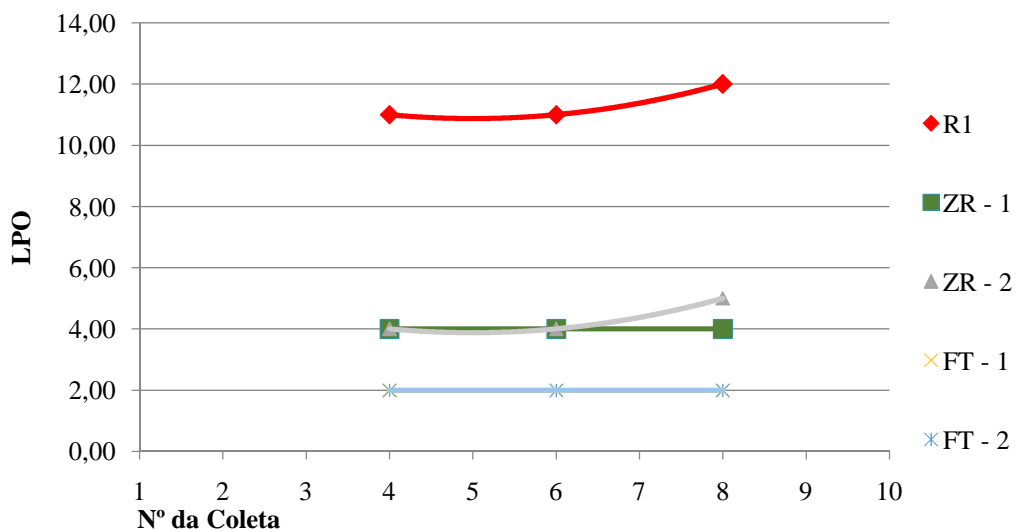
Gráfico 15: Comparativo entre o LPO médio da água cinza e da água tratada pelo sistema.



Fonte: O Autor, 2019.

Pelo Gráfico 16 observa-se um que a percepção ao estímulo olfativo nas águas não apresentou disparidade, o compreensível por se trata de efluentes advindo do mesmo local de mesmo uso (pia de cozinha).

Gráfico 16: Comparativo entre o LPO medido no decorrer da pesquisa.



Fonte: O Autor, 2019.

4.2 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Como já previsto o *Cymbopogon citratus*, resistiu bem a irrigação com água cinza, não houve mortalidade da camada vegetal. Todas as mudas se desenvolveram no tempo indicado pelo viveirista do IFPB. Durante a operação algumas infiltrações foram notadas na estrutura do sistema, o que dificultou a condição de detenção hidráulica, assim, optou-se por deixar o fluxo contínuo, entretanto a manta geotêxtil desacelerava o processo de circulação da água no sistema, que demorava cerca de 1 hora ou 1:30 para ser finalizado. A Tabela 1 mostra um resumo das condições avaliadas em detrimento das hipótese previstas para o sistema no início da pesquisa.

Tabela 1 - Comparativo entre a hipótese prevista para cada etapa do sistema e o seu real desempenho.

Etapa	Fenômeno	Objetivo	Resultado	Comentário
R1 - Sedimentação	Acumulo dos sólidos no fundo do reservatório.	Diminuição da matéria orgânica.	Atendido	A quantidade de sólidos retirada no fundo do reservatório ao final da pesquisa foi substancial se os mesmos fossem lançados no sistema, poderia acontecer avarias aos equipamentos e ao processo.
R2 - Aeração	Aumento da superfície de contato do fluido com o ar.	Elevação do Oxigênio Dissolvido - OD na água.	Parcialmente Atendido	As análises mostram que o OD aumentou. Entretanto, ainda em valores inferiores aos permitidos pela legislação.
ZR - Descontaminação	Absorção de nutrientes (íons)	Reduzir fósforo e nitrogênio.	Indeterminado	As análises realizadas não são passíveis a esse tipo de avaliação.
FT - Filtração, Depuração por retenção e/ou oxidação	Formação de biofilme em torno dos grãos do material filtrante.	Diminuição da Turbidez e da matéria orgânica presente.	Atendido	As análises mostram que houve redução na turbidez da água.

CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Em síntese esse trabalho evidenciou algumas das adversidades presentes na execução de pesquisas experimentais, ratificando a importância do desenvolvimento de estudos no âmbito do ecossaneamento, como uma possível solução para áreas desprovidas de estruturas de esgotamento sanitário. Devido a exiguidade de legislação vigente, a extensa diversidade de sistemas alternativos de tratamento de efluentes existentes, bem como, as particularidades de cada local de implantação dessas tecnologias, não se encontra com facilidade uma metodologia ou padrão a seguir no desenvolvimento desse tipo de estrutura. Com base nessa lacuna existente nas etapas iniciais esta pesquisa apresentou as etapas de concepção e execução do sistema proposto.

Os resultados das variáveis físico-químicas da água mostraram que as amostras apresentaram com alguns dos parâmetros aceitáveis para a legislação brasileira. Parâmetros como pH, cor e turbidez , se encontram dentro dos limites permitidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005). Entretanto, Salinidade e CE, não obtiveram resultados satisfatórios. A pesquisa tornaria-se ainda mais conclusiva se houvesse a possibilidade de analisar uma maior variedade de parâmetros de qualidade da água, como, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, Demanda Química de Oxigênio - DQO, nitrogênio e coliformes, para as quais o estudo ficou restringido por falta de materiais e equipamentos.

Perante os resultados apresentados, o sistema mostra-se como uma alternativa viável de execução e operação, entretanto, fica evidente a necessidade de melhorias em seus processos de tratamento do efluente, principalmente nos materiais empregados.

Para a infraestrutura do sistema recomenda-se que em trabalhos futuros a camada impermeabilizante seja colocada não apenas nas ZR, mas também nos filtros, já que foram constatadas infiltrações que além de gerar perda no volume, interferem no Tempo de Detenção Hidráulica - TDH da água. Outra opção são as tentativas de construção em materiais impermeáveis, que proporcionem quantificar diferentes períodos de TDH, para verificar a influência dessa variável no processo.

Outro ponto a ser considerado é a real necessidade de nutrição do solo, visto que o esterco utilizado como adubo nesse experimento implicou na elevação da salinidade do solo, que conseqüentemente aumentou a Condutividade Elétrica - CE, não desejável para a qualidade da água tratada. Além disso, a camada vegetal mostrou-se resistente a situações adversas, seria mais assertivo testar o *Cymbopogon citratus* em solos naturais sem adubação.

5.1 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro 1993.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

APHA, **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução - CONAMA n. 20**, 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento no território nacional. Diário Oficial da União, Brasília – DF, junho de 1986.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução - CONAMA n. 357**, 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília – DF, março de 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução - CONAMA n. 430**, 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes 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. Diário Oficial da União, Brasília – DF, maio de 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014.

CAMPOS, F.; GAMOA SÁ, M. T.; SPINOZA, Y. A.; BUENO, R. F. Otimização da remoção de nutrientes em sistema de zona de raízes por meio do uso de argila expandida e carvão ativado granular no leito filtrante. **Rev. DAE.**, São Paulo, v. 67, n. 218, p. 104-117, 2019.

CARCARA, M. S. M.; SILVA, E. A.; MOITA NETO, J. M. Saneamento básico como dignidade humana: entre o mínimo existencial e a reserva do possível. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 493-500, 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Variáveis da qualidade das águas. **CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 12 de janeiro de 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 05 de julho de 2019.

FERREIRA FILHO, S. S.; ALVES, R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 362-370, 2006.

GOMES, E. C.; NEGRELLE, R. R. B. Análise da cadeia produtiva do capim limão: estudo de caso **Rev. Bras. Pl. Med.**, Campinas, v.17, n.2, p.201-209, 2015.

INCERA, A. C.; AVELINO, A. F. T.; SOLÍS, A. F. Gray water and environmental externalities: International patterns of water pollution through a structural decomposition analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1174-1187, 2017.

LIMA, G. S. “Saneamento: Um indicador de qualidade ambiental a serviço da Qualidade de vida e saúde pública: Uma análise do município de Volta Redonda” *In*: 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...** João Pessoa (Paraíba-Brasil), 7-11 Set., CD-ROM, 2001.

LUIZ, M. B.; HIRATA, R.; TERADA, R. SARAIVA, F.; TASSE, N. Fitorremediação de Aquíferos Contaminados por Nitrato. *In*: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016, **Anais...** Campinas, (São Paulo-Brasil), Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1315>> Acesso em: 01 ago. 2019. p. 1-16.

MATOS, F. J. A. **Farmácias vivas: sistemas de utilização de plantas medicinais projetado para pequenas comunidades**. 4ª Edição. Fortaleza: Editora UFC, 2002.

MEDEIROS, S. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, D. B.; BATISTA, R. O.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; Lima, R. C. C.; Marin, A. M. P. **Esgotamento sanitário: panorama para o semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2014. 63p.

NORONHA, T. J. M.; SILVA, H. K.P.; DUARTE, M. M. M. B. Avaliação dos impactos antrópicos e a qualidade da água do Estuário do Rio Timbó, Pernambuco, Brasil. **CIENTEC-Rev. de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE**, v.2 n.1. 2010.

NUVOLARI, A.; MARTINELLI, A.; TELLES, D. D. et al. **Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2º Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

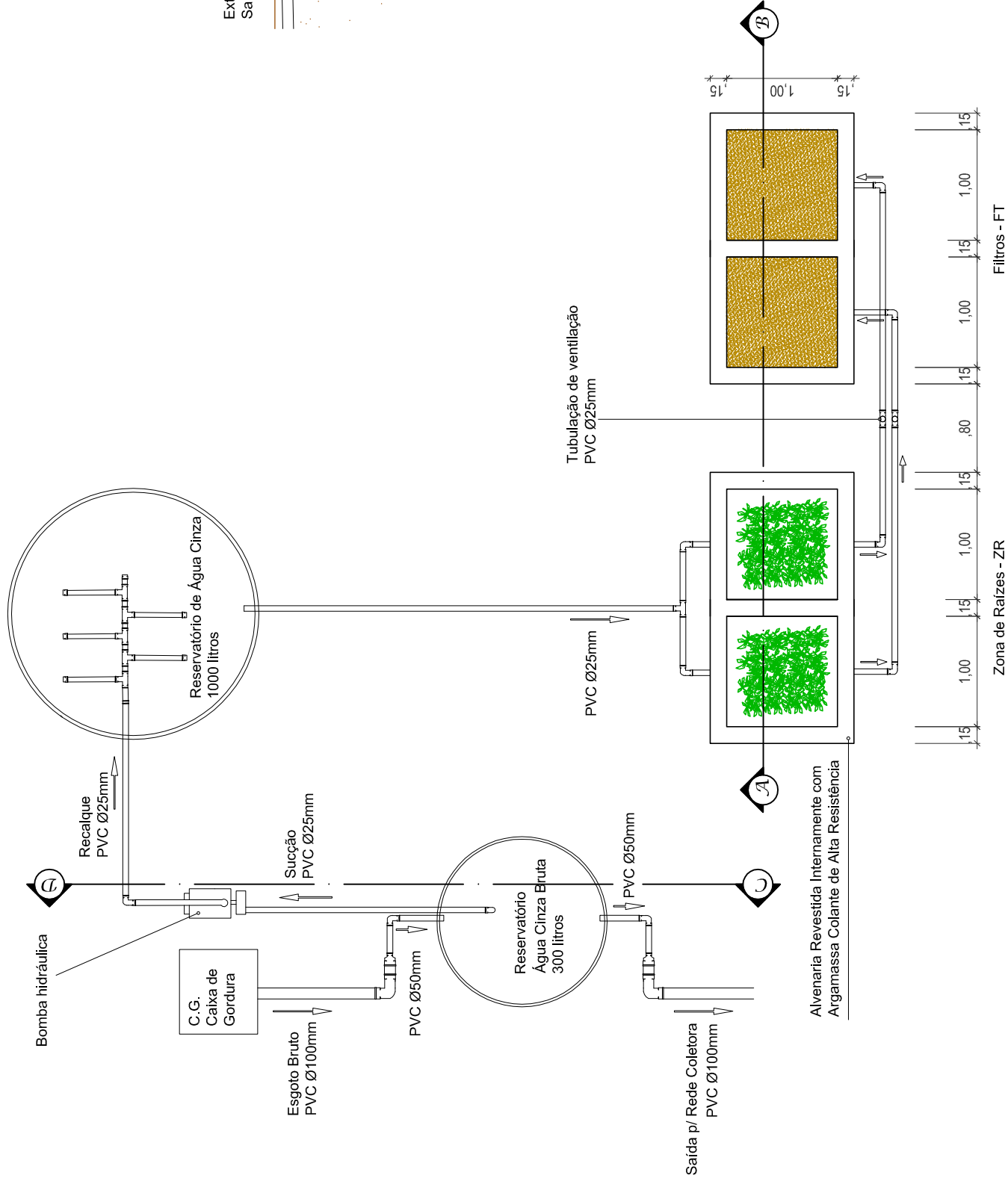
ONU Brasil. **Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. 2015. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/Loginarea/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>>. Acesso em: 20 de ago. de 2019. Curitiba, 2018. 78p.

PASSOS, C. S.; CARVALHO, L. N.; PONTES, R.B.; CAMPOS, R.R.; IKUTA, O.; BOIM, M. A. Blood pressure reducing effects of *Phalaris canariensis* in normotensive and spontaneously hypertensive rats. **Can J Physiol Pharmacol.**; v. 90, n. 2, p. 201-8, 2012.

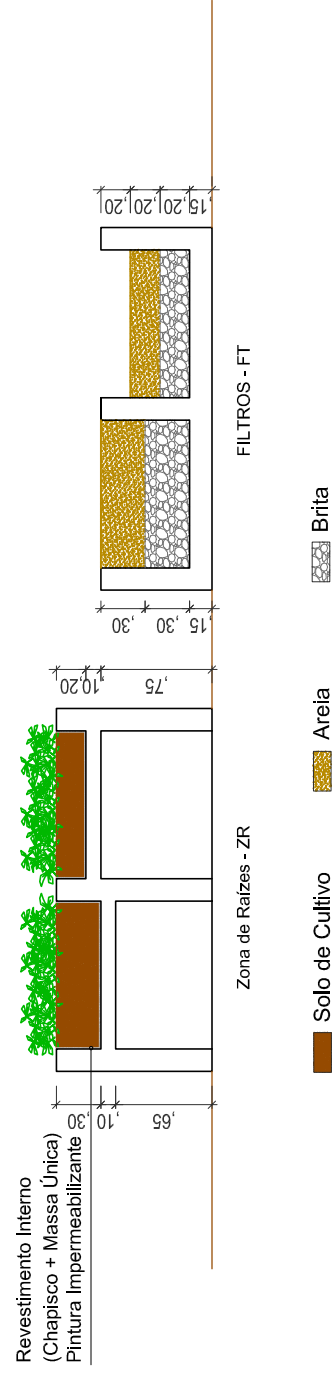
RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Trabalho de conclusão de Curso (Especialista em Análise Ambiental)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 36 p. 2010.

- RIBEIRO, P. G. F.; DINIZ, R. C. **Plantas aromáticas e medicinais -cultivo e utilização**. Londrina: IAPAR, 2008.
- RICHTER, C. A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento**. 1º Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- RODRÍGUEZ, L. B. El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. **Rev. Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, v. 30, n. 1, 2009.
- SANTOS N. M. G.; OLIVEIRA, B. A.; DUARTE M. R. Uso de plantas medicinais por pessoas com hipertensão. **Rev. da Rede de Enfermagem do Nordeste**, Fortaleza, v. 16, n. 6, p. 775-781, 2015.
- SILVA, L. D. **Wetlands construídos de fluxo vertical aplicados no pós-tratamento de efluentes de abatedouros de ovinos e bovinos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 90 p. 2017.
- SOUSA, T. M. I., FERREIRA, P. M. L., GARRIDO, J. W. A., QUEIROZ, M. M. F. & SILVA, F. M. **Qualidade ambiental da bacia do Rio Piarcó Piranhas Açu**. 2014. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3013>. Acesso em: 20 de jul. de 2019.
- TELLES, D. D. & COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2º Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2010.
- UNIVERSITY of Hawaii. **Botany Department. Poaceae (Gramineae)**. 2003. Disponível em: <http://www.botany.hawaii.edu/faculty/carr/po.htm>. Acesso em: 21 jul. 2019.
- VENDRUSCOLO, D.; SANTANA, N. A.; SOUTO, K. M. et al. Differential behavior of the summer cover crops in the absorption and translocation of copper. **Rev. Ciência Rural**, Santa Maria, v.48, n.12, e20180005, 2018.
- VON SPERLING, **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
- YANG L, TINGLIN H, XINLIN T. et al. Destratification and oxygenation efficiency of a water-lifting aerator system in a deepreservoir: Implications for optimal operation. **Journal of Environmental Science**. n.73 p. 9-19 2018.

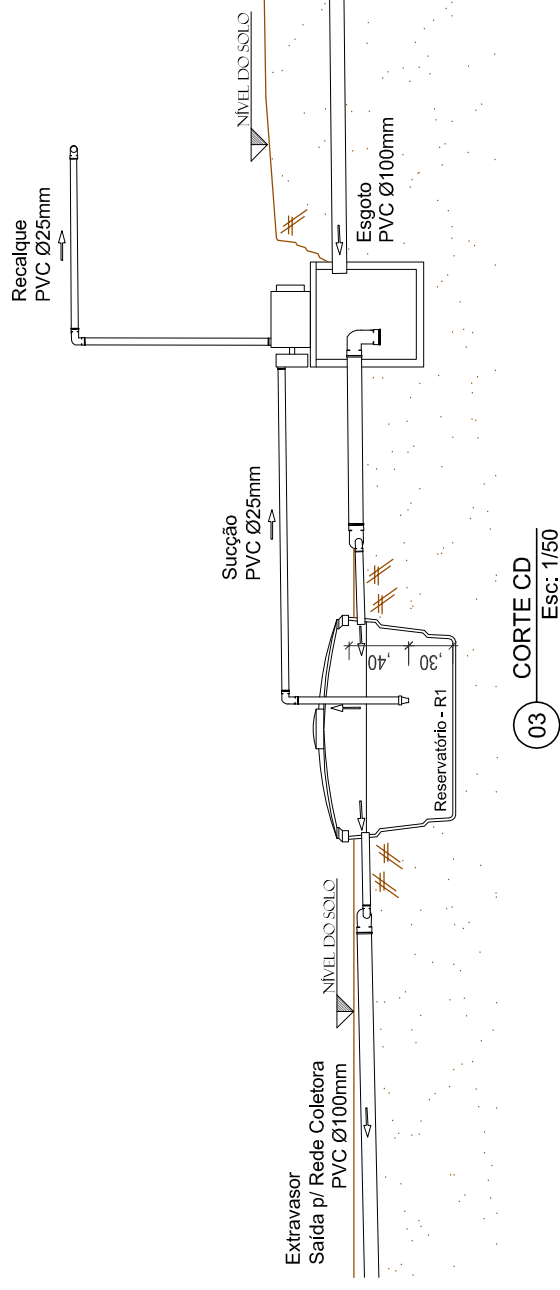
APÊNDICE A – PROJETO EXECUTIVO DO SISTEMA DE TRATAMENTO



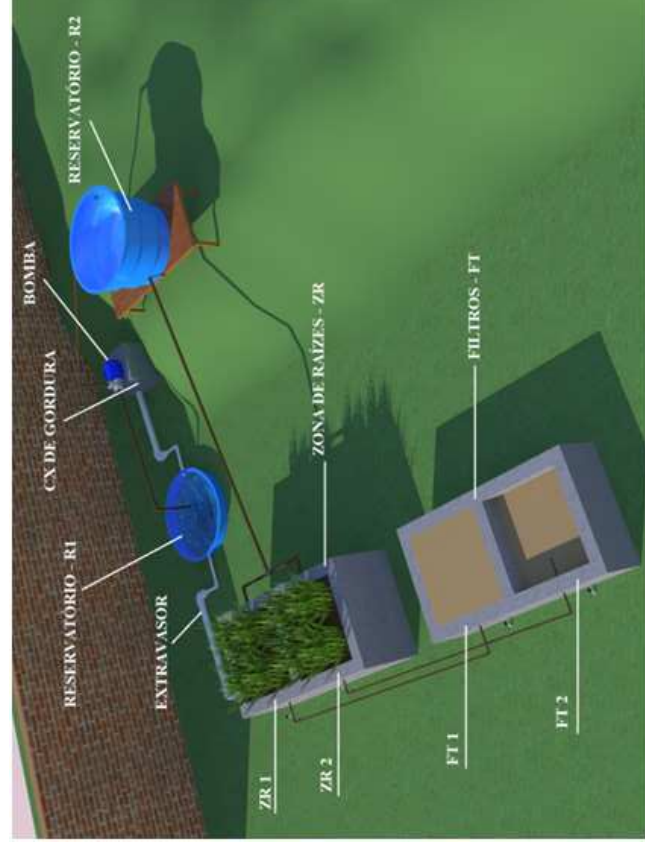
01 PLANTA BAIXA
Esc: 1/50



02 CORTE AB
Esc: 1/50



03 CORTE CD
Esc: 1/50



04 PERSPECTIVA 3D
Esc: S/E



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
PROJETO EXECUTIVO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA
PROJETO DE PESQUISA CHAMADA INTERCONECTA EDITAL 01-2019

DESENHO BIANCA ANACLETO ARAUJO DE SOUSA

Desenhos:

Planta Baixa
Corte AB
Corte CD
Perspectiva 3D

Escala:

1 / 50
1 / 50
1 / 50
S / E

Anotações

Nº de Planilha
01 / 01

APÊNDICE B - RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DA ZONA DE RAÍZES



RELATÓRIO

Implantação e Avaliação de um Sistema para Tratamento de Água Cinza
Projeto de Pesquisa, Chamada Interconecta Nº 01/2020

Coordenador de Projeto/ Orientador: Cícero de Souza Nogueira Neto

Bolsista: Bianca Anacleto Araújo de Sousa

Voluntária: Alexandra Amador de Abreu

Cajazeiras/PB - 2019

Divisão da touceira, transporte de Sousa a Cajazeiras, corte e plantio dos perfilhos



15 de agosto de 2019

Retirada das mudas para sanar infiltrações no sistema.



29 de agosto de 2019

Solo com bastante húmus e presença de minhocas



29 de agosto de 2019

Replântio após manutenção do sistema.



31 de agosto de 2019

Início de operação do experimento, as mudas começam a ser irrigadas apenas com água cinza.



06 de setembro de 2019

Acompanhamento de crescimento, 10 dias após início de operação



16 de setembro de 2019

Acompanhamento de crescimento, 17 dias após início de operação



23 de setembro de 2019