



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO
EM SOLO DE ÁREA DEGRADADA VISANDO A MELHORIA DE
SEUS ATRIBUTOS**

Aluno: Marcos Henrique Gomes Ribeiro

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

Caruaru
2017

MARCOS HENRIQUE GOMES RIBEIRO

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO EM
SOLO DE ÁREA DEGRADADA VISANDO A MELHORIA DE SEUS
ATRIBUTOS**

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

Área de Concentração: Saneamento
Ambiental

**Professora Doutora Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves
ORIENTADORA**

Caruaru
2017

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Marcela Porfírio – CRB/4-1878

R484a Ribeiro, Marcos Henrique Gomes.
 Aplicação de efluente de lagoa de estabilização em solo de área degradada visando a
 melhoria de seus atributos. / Marcos Henrique Gomes Ribeiro. - 2017.
 50f. : il. ; 30 cm.

 Orientadora: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves.
 Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
 Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2017.
 Inclui Referências.

 1. Solos. 2. Irrigação. 3. Água – Reuso. I. Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich
 (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-098)

MARCOS HENRIQUE GOMES RIBEIRO

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NOS
ATRIBUTOS DE SOLO DE ÁREA DEGRADADA**

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

Área de Concentração: Saneamento
Ambiental

Caruaru, PE _____ de _____ de _____

Aprovado por:

Professora Doutora Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves – Orientadora

Professora Doutora Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Professora Doutora Marileide Lira de Araújo Tavares

Professor Doutor Cléssio Leão Lima da Silva – Coordenador da Disciplina

*“A falsa ciência gera ateus, a verdadeira ciência faz o homem se curvar diante da
divindade” Voltaire.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o Senhor que dá a sabedoria e que da Sua boca vem o conhecimento e o entendimento, que me proporcionou a oportunidade de desenvolver este trabalho e adquirir esta experiência fundamental para toda a minha carreira profissional e acadêmica.

Agradeço a minha mãe, Lourdinha, que sempre me incentivou a ter e a buscar por instrução, capacitação, educação, e sempre fez tudo para me proporcionar todas as oportunidades possíveis tanto do ponto de vista educacional quando do ponto de vista pessoal e humanitário.

Agradeço a meu irmão, Lucas, pela confiança que depositou em mim e por sempre estar ao meu lado.

Agradeço a minha orientadora Professora Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves pela confiança que depositou no meu trabalho, pelos ensinamentos, pela paciência e principalmente pela oportunidade que me ofereceu ao me aceitar como orientando.

Agradeço a Professora Leidjane Maria Maciel de Oliveira por todo o ensinamento e incentivo, durante o curto, porém extremamente prazeroso, período de tempo em que convivemos, e por aceitar participar desta banca.

Agradeço a cada professor que contribui de forma direta ou indireta para a minha formação e que me incentivou e acreditou no meu potencial.

Agradeço aos amigos de curso, especialmente Venâncio Queiroz, Rafaella Moura e Andreia Azevedo, pelo companheirismo, amizade e momentos de descontração de nossa vida acadêmica.

Agradeço ao pessoal do Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste - UFPE, pela receptividade e pelos momentos de descontração e aprendizado durante todo esse período, e em especial à minha amiga e colega de turma, Alanna Bezerra, que trabalhou comigo durante todo o tempo de realização deste trabalho e que, sem dúvidas, foi de vital importância para a realização das análises e experimentos, compartilhando comigo conhecimentos e experiências.

RESUMO

O atual e constante crescimento da população mundial tem aumentado a pressão sobre os recursos naturais, e em especial sobre os recursos hídricos. Cada vez mais, existe a necessidade de se prover água em quantidade suficiente e em qualidade adequada para suprir as diversas demandas da sociedade, sejam estas de cunho doméstico ou industrial. A qualidade da água é determinada pelo uso para o qual é destinada, sendo preferível resguardar as águas de qualidade superior para fins mais nobres como abastecimento doméstico, e desde que possível, utilizar águas de reuso para usos que admitam águas de qualidade inferior como a irrigação. A irrigação é, a nível mundial, o setor que mais contribui para o aumento da demanda de água, tendo em vista a necessidade de aumento da produção agrícola de forma a suprir o aumento da população mundial com alimentos e insumos agrícolas. O esgoto tratado constitui uma alternativa viável e sustentável de substituição da água potável para usos menos nobres e que exijam água com menor padrão restritivo. A nível global, várias iniciativas já são adotadas para a substituição da água potável por esgoto tratado para uso agrícola e sem quaisquer malefícios à população e ainda tendo com vantagem o aumento da capacidade nutritiva do solo através dos nutrientes presentes no esgoto. Este trabalho tem por objetivo analisar a melhoria dos atributos de solo degradado a partir da aplicação de efluente proveniente de lagoa de maturação com o uso de colunas de solo. Os resultados obtidos se mostraram favoráveis já que foi observada grande capacidade de remoção de cor, turbidez e diminuição na concentração de coliformes totais e termo tolerantes no lixiviado proveniente das colunas de solo em relação ao efluente bruto. Em relação à capacidade nutritiva do solo, foi observado aumento na concentração de nutrientes após a passagem do efluente lixiviado, em especial nas concentrações de nitrogênio.

Palavras Chave: Solo. Efluente. Colunas de Solo. Irrigação.

ABSTRACT

The current and steady growth of the world's population has increased the pressure on natural resources, especially on water resources. Increasingly, there is a need to provide water in sufficient quantity and in adequate quality to meet the diverse demands of society, be they domestic or industrial. Water quality is determined by the use for which it is intended, and it is preferable to safeguard the higher quality waters for more noble purposes such as domestic water supply and, if possible, use reusable water for uses that allow water of inferior quality such as irrigation. Irrigation is the world's largest contributor to increasing water demand in view of the need to increase agricultural production in order to supply the world's population with food and agricultural inputs. Treated sewage is a viable and sustainable alternative to drinking water for less noble uses and requiring less restrictive water. At the global level, several initiatives have already been adopted to replace potable water by treated sewage for agricultural use and without any harm to the population and still have the advantage of increasing the nutritive capacity of the soil through the nutrients present in the sewage. This work aims to analyze the degraded soil attributes improvement from the application of effluent from the maturation ponds with the use of soil columns. The results obtained were favorable as it was observed a great capacity of color removal, turbidity and decrease in the concentration of total coliforms and term tolerant in the leachate from the soil columns in relation to the raw effluent. In relation to the nutrient capacity of the soil, an increase in nutrient concentration was observed after leachate effluent flow, especially in nitrogen concentrations.

Keywords: Soil. Effluent. Soil Columns. Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Regiões hidrográficas brasileiras.....	18
FIGURA 02 – Microrregiões e bacia hidrográfica do rio Ipojuca.....	28
FIGURA 03 – Local de retirada da amostra de solo no Centro Acadêmico do Agreste, UFPE, Caruaru.....	29
FIGURA 04 – Localização da ETE Rendeiras ampliada.....	29
FIGURA 05 – Componentes da ETE Rendeiras.....	30
FIGURA 06 – Foto aérea da ETE-Rendeiras atualizada.....	30
FIGURA 07 – Montagem das colunas de solo.....	33
FIGURA 08 – Colunas de solo montadas.....	34
FIGURA 09 – Resultados de cor.....	36
FIGURA 10 – Resultados de turbidez	36
FIGURA 11 – Resultados de temperatura.....	37
FIGURA 12 – Resultados de oxigênio dissolvido.....	38
FIGURA 13 – Resultados de potencial hidrogeniônico.....	39
FIGURA 14 - Resultados de salinidade.....	40
FIGURA 15 – Resultados de condutividade elétrica.....	40
FIGURA 16 – Resultados de sólidos dissolvidos.....	41

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 – Consumo de água de acordo com a necessidade de uso.....	17
QUADRO 02 – Condicionantes microbiológicos para reuso agrícola.....	21
QUADRO 03 – Principais parâmetros dos esgotos domésticos.....	22
QUADRO 04 – Relação DQO/DBO ₅	23
QUADRO 05 – Principais tratamentos de esgoto.....	24

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	– Distribuição do uso da água por continente em 1995.....	16
TABELA 02	– Distribuição hídrica no Brasil por Região Hidrográfica.....	18
TABELA 03	– Doenças relacionadas à falta de saneamento básico.....	19
TABELA 04	– Maiores acumulados de precipitação por mês entre os anos 1961-1974.....	28
TABELA 05	– Características do anel volumétrico.....	31
TABELA 06	– Dados coletados das amostras.....	31
TABELA 07	– Resumo dos índices físicos e parâmetros do solo.....	32
TABELA 08	– Índices físicos e equações correspondentes.....	32
TABELA 09	– Resultados dos pesos de solo adicionados em cada coluna.....	34
TABELA 10	– Metodologias seguidas para análises química.....	35
TABELA 11	– Balanço do peso inicial e final das colunas.....	37
TABELA 12	– Resultados de alcalinidade.....	38
TABELA 13	– Relação entre condutividade e sólidos dissolvidos.....	41
TABELA 14	– Resultados de DQO e fósforo.....	42
TABELA 15	– Resultados de coliformes totais e termo tolerantes.....	42
TABELA 16	– Resultados de nitrogênio do solo.....	43
TABELA 17	– Parâmetros nutricionais.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. JUSTIFICATIVA.....	13
3. MOTIVAÇÃO.....	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1 OBJETIVOS GERAIS.....	15
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
5. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
5.1 ÁGUA E MEIO AMBIENTE.....	16
5.2 IMPORTÂNCIA E TIPOS DE REÚSO.....	20
5.3 TRATAMENTO DE ESGOTO.....	22
5.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	25
5.5 COLUNAS DE SOLO.....	26
6. METODOLOGIA.....	28
6.1 ÁREA DE ESTUDO.....	28
6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO.....	31
6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS NUTRIENTES DO SOLO.....	32
6.4 MONTAGEM DAS COLUNAS DE SOLO.....	33
6.5 ANÁLISE QUÍMICA DO EFLUENTE E DO LIXIVIADO.....	35
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
8. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

O atual e constante crescimento demográfico e econômico da população mundial tem reduzido a disponibilidade dos recursos naturais em todas as regiões do mundo, especialmente no que se refere aos recursos hídricos. A situação dos recursos hídricos é agravada, principalmente, devido ao aumento da demanda para consumo, a contaminação e poluição das águas e ao mau aproveitamento. No Nordeste do Brasil, região caracterizada por precipitações pluviométricas concentradas em curtos períodos anuais e alta taxa de evapotranspiração, o processo de escassez de água é particularmente intensificado.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), o estado de Pernambuco tem 75% de seu abastecimento de água dependente de mananciais superficiais. Além disso, o fato da maior parte dos rios presentes no estado de Pernambuco apresentarem caráter temporário agrava ainda mais a crise hídrica atualmente presenciada.

Segundo Telles e Costa (2007), o efluente tratado é fundamental no planejamento e gestão de recursos hídricos no que se refere à busca de fontes hídricas alternativas para fins agrícolas e de irrigação em geral, resguardando, assim, as fontes de água potável para fins mais nobres como consumo humano e outras prioridades. O efluente tratado ainda pode ser usado para fertirrigação e recuperação de áreas degradadas.

Uma área é caracterizada como degradada quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas. De acordo com Tavares (2008), quando há degradação do solo, a camada fértil pode ser perdida e a qualidade da água e o regime do sistema hídrico da região alterados.

O uso de colunas de solo, com amostras deformadas e indeformadas da área alvo de estudo, pode ser utilizado, de forma experimental, para a recuperação de solos através da aplicação de efluentes tratados. Segundo Silva (2013), o uso das colunas de solo constitui uma técnica viável e útil, propiciando monitorar o deslocamento de substâncias no perfil do solo. Dessa forma, é possível analisar a condição mais fiel provável do campo, como densidade e umidade, esclarecendo os fatores que afetam o mecanismo de transporte de solutos no perfil do solo.

Diversas tecnologias são empregadas no tratamento de efluentes, as quais devem se adequar as condições ambientais, técnicas, sociais e financeiras das comunidades onde são empregadas. Os sistemas de tratamento mais empregados no Brasil são os tratamentos biológicos devido a apresentarem menor custo e ao favorecimento face às condições climáticas brasileiras. De acordo com a World Health Organization (Organização Mundial da Saúde, 1989), lagoas de estabilização são os sistemas de tratamento biológico mais apropriados para tratamento de efluentes para reuso na agricultura, pois possuem elevada eficiência de remoção de matéria orgânica e de patógenos.

A área de estudo escolhida para esta pesquisa, se constitui de solo recolhido de área degradada com potencial para uso paisagístico (jardim) inserida nos limites do Campus Acadêmico do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco. Área esta que está inclusa dentro dos limites da bacia hidrográfica do rio Ipojuca e foi escolhida devido a, como já citada, potencialidade de aproveitamento como jardim. O efluente utilizado, por sua vez, foi coletado da lagoa de maturação da Estação de Tratamento de Esgoto de Caruaru, ETE-Rendeiras.

2. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que a maior parte da água utilizada a nível mundial é consumida para fins de irrigação, cujas atividades estão em constante crescimento para acompanhar o suprimento de alimentos requerido pela população cada vez mais numerosa, é necessário desenvolver alternativas que venham substituir o uso de água potável para estes fins e garantir o abastecimento humano de forma contínua e sustentável. Além do consumo excessivo de água, as atividades agrícolas, muitas vezes, causam prejuízo ao solo com práticas de manejo não sustentáveis, como a não rotação de culturas, provocando infertilidade e degradação.

Na região Nordeste do Brasil, mais especificamente no estado de Pernambuco, que foi o foco deste trabalho, a falta de planejamento e gestão adequada dos recursos hídricos provoca transtornos e impede o desenvolvimento humano, econômico e tecnológico da região. É necessário desenvolver alternativas que visem o aproveitamento máximo dos efluentes de modo a preservar as águas de qualidade superior para fins mais nobres como o abastecimento humano.

Dessa forma, esta pesquisa de melhoramento de solo a partir da aplicação de efluente tratado, constitui uma forma de promover o máximo aproveitamento dos recursos hídricos e promover alternativas para o desenvolvimento de atividades agrícolas sustentáveis.

3. MOTIVAÇÃO

Este trabalho tem por motivação auxiliar no desenvolvimento de dados comprobatórios, a partir de aparato experimental, sobre a eficiência de recuperação de solos com a aplicação de efluente tratado visando que esta técnica possa constituir uma alternativa para atenuar a intensa escassez hídrica vivida no estado de Pernambuco e suprir a demanda agrícola por água, além de auxiliar na recuperação de solos de áreas degradadas.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem por objetivo geral avaliar a melhoria dos atributos químicos e físicos de um solo coletado em uma área degradada, localizada na bacia do Rio Ipojuca, por meio da montagem de colunas de solo em laboratório, como a aplicação de efluente proveniente de lagoa de estabilização localizada na Estação de Tratamento de Esgoto da Cidade de Caruaru, PE, ETE-Rendeiras.

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterização do efluente tratado pela lagoa de estabilização com foco na presença de coliformes termo tolerantes, concentração de fósforo, alcalinidade, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, temperatura, salinidade, condutividade elétrica, pH, cor e turbidez;
- Avaliação das alterações do solo (Macro e Micronutrientes) antes e após a aplicação do efluente;
- Avaliação das características físico-químicas do lixiviado da coluna de solo, verificando seu potencial contaminante.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Água e Meio Ambiente

A água do planeta se renova por processos físicos através do ciclo hidrológico. No entanto, o aumento da taxa populacional, somado ao modelo de desenvolvimento atual, acarretou no aumento da produção e no lançamento, cada vez maior, no meio ambiente, de lixo, esgotos sem tratamento e produtos tóxicos gerados nas indústrias.

De acordo com Vieira (2006), os desmatamentos também ocasionam uma sobrecarga nos sistemas naturais de autodepuração e, estes se refletem no clima, na quantidade e qualidade da água na Terra. Segundo Braga (2005), todos os organismos dependem da água para sobreviver e sua disponibilidade constitui um dos fatores fundamentais a moldar os ecossistemas.

A disponibilidade de água está relacionada não apenas a quantidade adequada em uma determinada região, mas também a qualidade que deve ser satisfatória para suprir as necessidades de um determinado conjunto de seres vivos. O uso da água envolve qualquer tipo de atividade humana que, de algum modo, venha a alterar as suas condições naturais.

Os mais importantes usos não consuntivos da água são a geração de energia elétrica (hidroeletricidade), navegação, aquicultura, turismo e recreação. Já em relação aos usos consuntivos, merecem destaque o abastecimento de água para uso humano, uso industrial, dessedentação de animais e irrigação. De acordo com a ANA (2013), o setor agrícola é responsável pela maior parcela de uso consuntivo da água no Brasil e, dessa forma, requer atenção especial dos órgãos gestores com o intuito de desenvolver técnicas e manejos de uso visando o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos.

Ainda segundo a ANA (2013), a irrigação assume papel fundamental no desenvolvimento dos arranjos produtivos em regiões com déficit hídrico, como o semiárido brasileiro. Apesar do aumento da demanda por água, os investimentos no setor agrícola geram aumento potencial da produtividade e do valor da produção, acarretando na diminuição da pressão por busca de novas áreas para cultivo. De acordo com Heller (2006), no ano de 1995 a distribuição anual dos usos da água por continente obedecia a configuração apresentada na Tabela 01.

Tabela 01. Distribuição do uso da água por continente em 1995.

Continente	Irrigação (%)	Uso Industrial (%)	Uso Doméstico (%)
África	88,0	5,0	7,0
Ásia	85,0	9,0	6,0
Oceania	34,1	1,8	64,1
Europa	31,0	55,0	14,0
América do Norte e Central	46,1	43,7	10,2
América do Sul	59,0	23,0	18,0
Total	68,3	23,1	8,6

Fonte: Adaptado Heller (2006)

Os resultados apresentados na Tabela 01 mostram que a maior porcentagem do uso de água para irrigação predomina em países em desenvolvimento, os quais tem grande parte de sua economia baseada na agricultura e pecuária. Já em nações da Europa e Oceania, mais desenvolvidas e industrializadas, existe a predominância do uso da água para fins industriais e domésticos devido, além de questões econômicas, a questões relacionadas à própria disponibilidade de área suficiente e com condições adequadas para o desenvolvimento agrícola.

De acordo com dados do Ministério do Meio Ambiente (2006), a agricultura brasileira consome 69% da água dos mananciais, vindo em seguida o abastecimento doméstico com 21% e a atividade industrial com 10%, sendo, dessa forma, primordial a adoção de medidas voltadas a aplicação de práticas planejadas ao reuso agrícola.

Segundo relatório do International Food Policy Research Institute e do International Water Management Institute (2002), que estabeleceu ligações entre escassez de água e de alimentos, em 2025 o déficit hídrico causará perdas anuais globais de 350 milhões de toneladas na produção de alimentos, número aproximadamente equivalente à produção total anual de grãos dos Estados Unidos da América (BERNARDI, 2003).

Segundo Heller (2006), as necessidades de uso de água em determinada comunidade podem ser agrupadas de acordo como exposto na Quadro 01.

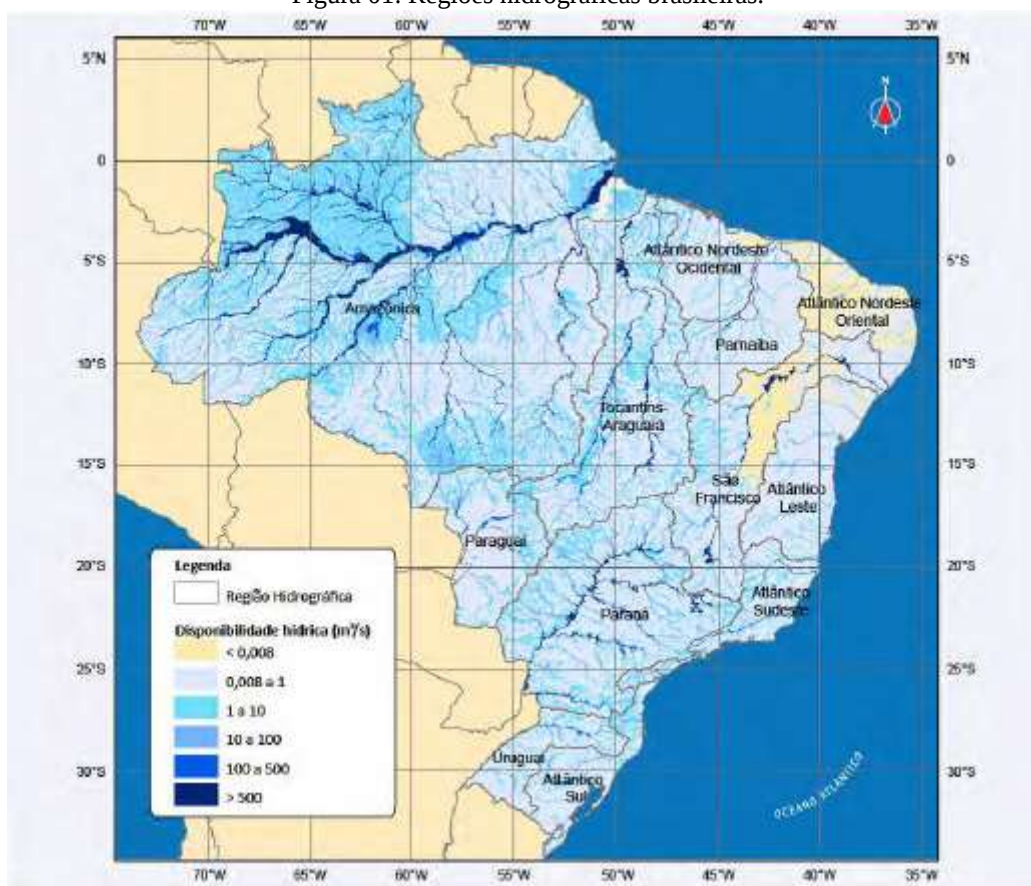
Quadro 01. Consumo de água de acordo com a necessidade de uso.

Tipo de Consumo	Necessidades
Consumo doméstico	Ingestão Preparo de alimentos Higiene corporal e de moradia Limpeza de utensílios Lavagem de roupas Lavagem de veículos Descarga de vasos sanitários Insumo para atividades econômicas domiciliares Irrigação de jardins, hortas e pomares domiciliares Criação de animais de estimação
Consumo comercial	Uso para suprimento de estabelecimentos diversos, especialmente aqueles com maior consumo de água, como lavanderias, hotéis e restaurantes.
Consumo industrial	Uso para o suprimento de estabelecimentos que incorporam água no produto ou que necessitam de grandes quantidades de água para limpeza.
Consumo público	Irrigação de jardins, canteiros e praças Lavagem de ruas e espaços públicos Banheiros e lavanderias públicas Alimentação de fontes Combate a incêndios

Fonte: Adaptado de Heller (2006)

A precipitação média anual registrada no Brasil entre 1961-2007 foi de 1.761 mm de acordo com dados da ANA (2013), sendo distribuída de forma desigual pelo país, com valores variando entre 500 mm na Região Nordeste (semiárido) a mais de 3.000 mm na Região Amazônica, sendo observado que na Região Nordeste as chuvas se concentram entre março e julho, além disso, o relatório também indica que o estado de Pernambuco tem 75% de seu abastecimento de água dependente de mananciais superficiais os quais estão mais susceptíveis a poluição por atividades antrópicas. A Figura 01 apresenta as regiões hidrográficas brasileiras relacionando sua disponibilidade hídrica, que também é especificada pela Tabela 02.

Figura 01. Regiões hidrográficas brasileiras.



Fonte: ANA (2013)

Tabela 02. Distribuição hídrica no Brasil por Região Hidrográfica.

Região Hidrográfica	Vazão Média (m³/s)	Disponibilidade Hídrica (m³/s)
Amazônica	132.145	73.748
Tocantins- Araguaia	13.799	5.447
Atlântico Nordeste Ocidental	2.608	320
Parnaíba	767	379
Atlântico Nordeste Oriental	774	91
São Francisco	2.846	1.886
Atlântico Leste	1.484	305
Atlântico Sudeste	3.167	1.145
Atlântico Sul	4.055	647
Paraná	11.831	5.956
Uruguai	4.103	565
Paraguai	2.359	782
Brasil	179.938	91.271

Fonte: Adaptado ANA (2013)

Devido à grande variabilidade da precipitação na Região Nordeste, é essencial o desenvolvimento de meios para o armazenamento adequado da água, tanto para usos consuntivos, quanto não consuntivos. Segundo a ANA (2013), os reservatórios desempenham um papel importante na gestão dos recursos hídricos devido à capacidade de estocagem para

atender os diversos usos da água. Além disso, os reservatórios podem liberar uma parte do volume de água armazenado, nos períodos de estiagem, garantindo água suficiente para o abastecimento humano e para irrigação.

No entanto, é necessário que os reservatórios sejam construídos de tal modo a manter a qualidade da água dentro dos padrões mínimos exigíveis para o determinado uso ao qual está sendo destinado, sem representar, assim, risco a saúde humana ou ao meio ambiente.

Em virtude de aspectos relacionados ao contexto hidro geológico da Região Nordeste, em especial da região do semiárido, como a predominância de altas temperaturas durante todo o ano, baixas amplitudes térmicas (entre 2 e 3 graus Celsius), forte insolação e altas taxas de evapotranspiração, aliados, como já citado anteriormente, a grande irregularidade e baixos índices pluviométricos, há a consolidação de taxas negativas de balanço hídrico e consequentemente valores reduzidos na disponibilidade hídrica da região.

Nesse contexto, de acordo com a ANA (2013), existem áreas no semiárido classificadas como de elevado risco hídrico, merecendo, assim, atenção especial. Tais áreas são classificadas de acordo com os seguintes fatores:

- Ausência de rios perenes de elevado porte ou com grande capilaridade.
- Ausência de sistemas de aquíferos sedimentares (potencial fonte de suprimento).
- Índice de aridez inferior a 0,35 (regiões mais críticas no balanço hídrico).
- Precipitação anual média inferior a 700 mm.

Segundo Braga (2005), a qualidade da água é diretamente dependente da quantidade de água existente para diluir, dissolver e transportar substâncias benéficas ou maléficas para os seres vivos. Tendo em vista, segundo dados da ANA (2013), e também já citado anteriormente, que a maior parte do abastecimento de água do estado de Pernambuco vem de mananciais superficiais, os quais são mais vulneráveis a efeitos de poluição, existe um agravamento na escassez hídrica do estado devido às alterações na qualidade da água.

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde aproximadamente 25 milhões de pessoas morrem por ano no mundo em virtude de doenças relacionadas à qualidade da água (MADIGAN et al. 2010). Países em desenvolvimento, como o Brasil, 70% da população rural e 25% da população urbana não tem acesso ao abastecimento adequado de água.

Segundo a ANA (2013), o Plano Nacional de Saneamento (Plansab) junto com a perspectiva do aumento de investimentos na área de saneamento no Brasil nos próximos anos, reforçam a necessidade de ampliação do monitoramento da qualidade das águas com o objetivo de analisar a efetividade destas ações na recuperação da qualidade dos recursos hídricos do país.

No Brasil, do volume total de esgotos produzidos, cerca de 30% são tratados e destes apenas 10% passam por tratamento terciário, que tem por finalidade de remover o nutriente fosforo (P), responsável pelo processo de eutrofização das águas doces (ANA, 2013). A falta de coleta e tratamento de esgotos acarreta numa maior demanda por recursos hídricos intensificando a problemática da escassez.

De modo a retratar a importância crucial do saneamento básico do ponto de vista de saúde pública, Heller (2006), faz a divisão dos grupos de doenças mais diretamente relacionados com a água de acordo com a Tabela 03.

Tabela 03. Doenças relacionadas à falta de saneamento básico

Grupos de Doenças	Exemplo de Doenças
Doenças de transmissão feco-oral (transmitidas por ingestão ou higiene deficiente)	Hepatite A, E e F; Poliomielite; Diarreia por rotavírus e adenovírus; Cólera; Febre Tifoide e Paratifoide; Amebíase; Giardíase; Ascaridíase.

Doenças relacionadas exclusivamente com a quantidade insuficiente de água	Doenças infecciosas de pele; Doenças infecciosas dos olhos; Doenças transmitidas por piolhos.
Doenças transmitidas por mosquitos que se procriam na água	Dengue e Febre Amarela; Malária; Filariose ou Elefantíase.

Fonte: Adaptado Heller (2006).

Desse modo, fica clara a importância da gestão sustentável da água, especialmente em regiões semiáridas, nas quais há o predomínio de déficit hídrico. A gestão sustentável deve englobar todas as etapas envolvidas no processo, desde a retirada da água dos mananciais, com o intuito de abastecimento, até o tratamento, disponibilização para consumo, tratamento dos efluentes produzidos e disposição final e adequada no meio ambiente.

De acordo com os dados apresentados, é perceptível a importância de políticas públicas atuantes, de saneamento ambiental, que proporcionem e garantam um tratamento eficaz de água e de esgoto e que, também, estabeleçam ênfase no reuso de efluentes, quando possível, de acordo com o uso para o qual este for destinado e com o objetivo de suprir as demandas de consumo de forma a melhorar e garantir condições adequadas de saúde pública e ambiental além de suprir e atender aos fatores econômicos.

5.2 Importância e Tipos de Reuso

Segundo as diretrizes do Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (1985), na falta de disponibilidade de água de boa qualidade, esta não deverá ser utilizada para usos menos nobres que toleram águas de qualidade inferior. As águas de qualidade inferior são aquelas que compreendem as águas de esgoto doméstico, águas de drenagem agrícola e águas salobras, as quais deverão ser reutilizadas para usos menos restritivos.

Dessa maneira, de acordo com Telles e Costa (2007), o esgoto tratado é fundamental no planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos como substituto de água potável para fins agrícolas e de irrigação em geral, resguardando as fontes de água de qualidade superior para consumo humano e outras prioridades.

Em nível mundial, de acordo com Monte e Albuquerque (2010), o reuso é realidade em cidades com Moterey na Califórnia e Clermont-Ferrand na França onde cerca de 500.000 m³/d de efluente secundário tratado em lagoas de estabilização e por desinfecção são reutilizados na irrigação de 750 hectares de milho.

Em Virginia, na Austrália, cerca de 120.000 m³.d⁻¹ efluente armazenado no solo são distribuídos a 250 agricultores para a irrigação agrícola. Segundo Hespanhol (2003), no México aproximadamente 90% dos 3,5 milhões de metros cúbicos por dia produzidos na Cidade do México são utilizados na agricultura. Bahri e Brissaud (1996) afirmam que a Tunísia possui 6.500 hectares irrigados com água de reuso, prevendo uma expansão da área irrigada para 20.000 hectares. De acordo com Feigin (1991), cerca de 3% dos esgotos gerados na Alemanha são utilizados para irrigação.

De acordo com Semura et al. (2007), o reuso da água consiste no aproveitamento de efluentes tratados desde que atenda ao determinado fim para o qual foi destinada. O reuso de água se constitui do aproveitamento de águas previamente utilizadas em alguma atividade humana de forma a suprir as necessidades de outros usos, podendo ser do tipo direto ou indireto ou decorrer de ações planejadas ou não. Segundo a USEPA (2004), a técnica de reuso de água conserva os recursos hídricos ao mesmo tempo em que reduz a poluição.

De acordo com Vittorato e Silva (2004), os diversos tipos de reuso da água podem ser classificados como:

- Reuso planejado ou intencional: ocorre quando o efluente, depois de tratado inicialmente para determinado uso, é aproveitado diretamente ou indiretamente atendendo aos padrões requeridos.
- Reuso indireto planejado: ocorre quando a água tratada é devolvida a um curso de água ou manancial subterrâneo para ser usada a jusante para determinado fim, de modo controlado e planejado.
- Reuso indireto não planejado: ocorre quando a água é devolvida a um curso de água após o uso e dissolvida, sendo utilizada a jusante do lançamento.
- Reciclagem de água: ocorre quando o efluente é tratado e utilizado no mesmo local, ao invés de ser descarregado em curso de água.

Segundo Florêncio et al. (2006) é necessário, em termos gerais, uma elevada remoção de patógenos em qualquer modalidade de reuso da água. De acordo com pesquisadores do PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) a questão microbiológica para o reuso na agricultura devem seguir as recomendações descritas no Quadro 02,

Quadro 02. Condicionantes microbiológicos para reuso agrícola.

Categoria	Coliformes Termotolerantes (100 m.L⁻¹)	Ovos de Helmintos (L⁻¹)	Observações
Irrigação irrestrita	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^4$ Coliformes Termotolerantes 100mL ⁻¹ no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado.
Irrigação restrita	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1	Retenção $\leq 1 \times 10^5$ Coliformes Termotolerantes 100m.L ⁻¹ no caso de existência de barreiras adicionais de proteção ao trabalhador, é facultado o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que associado a irrigação sub-superficial.

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

O uso de esgoto doméstico tratado com o intuito de fornecer nutrientes ao solo e favorecer práticas agrícolas é bastante utilizado no Brasil, sobretudo de forma não planejada. Constitui uma técnica muito antiga em países asiáticos e africanos e segundo Trentin (2005) as primeiras cidades europeias a utilizarem esta prática foram Bunzlau na Alemanha em 1531 e Edimburgo na Escócia em 1650.

De acordo com Faby et al. (1999), o maior sistema de reuso para irrigação agrícola da França localiza-se na cidade de Clermont-Ferrand, onde há a reutilização de 10.000 metros cúbicos de efluente tratado por dia para a irrigação de 600 hectares de cultivo alimentício.

A utilização de efluente tratado para fins agrícolas atendem ao conceito de eco saneamento, o qual tem por objetivo o fechamento do ciclo dos esgotos com a agricultura. Com o uso do efluente líquido o solo ganha os nutrientes, que dependendo das características dos solos e da cultura, as suas demandas serão variáveis, podendo complementar com parcela significativa os nutrientes necessários às plantas e ao solo.

De acordo com Bastos (2008) é necessário que a quantidade de nutrientes proveniente do efluente seja equilibrada já que quantidades excessivas podem trazer prejuízos para as culturas e para o meio. Segundo Cohim (2006), a utilização de efluentes tratados para irrigação é indicada quando não há contato direto das águas residuárias com as plantas, e sim com as raízes que absorvem os nutrientes.

De acordo com Hespanhol (2003), ainda existem poucos instrumentos de ordenação de nível político, institucional, legal ou de cunho regulatório que forneçam diretrizes as atividades de reuso praticadas em território nacional. Embora não seja dever da Agência Nacional de Águas (ANA) promover e regulamentar as atividades de reuso de água no Brasil, a sua ação coordenadora no setor pode permitir a elaboração e implementação de projetos sustentáveis com foco no reuso. Levando em conta que o reuso planejado das águas residuárias constituem a ferramenta mais moderna e eficaz na gestão sustentável dos recursos hídricos, é necessário o desenvolvimento de uma cultura de e uma política de conservação da água abrangendo todos os setores da sociedade.

5.3 Tratamento de Esgoto

Segundo Marmo e Cymrot (2006) o termo esgoto é usado para designar os despejos provenientes dos diversos usos da água, tais como domésticos, comercial, industrial e agrícola, sendo todos esses resíduos provenientes de atividades humanas.

De acordo com Von Sperling (1996), os esgotos domésticos são formados de aproximadamente 99,9% de água, sendo que a fração restante, 0,1%, é formada de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além de microrganismos. Devido a essa fração de 0,1% é que se faz necessário o tratamento dos esgotos.

Várias técnicas e tecnologias tem sido empregadas para o tratamento de esgoto, onde são inter-relacionados dados técnicos e financeiros e devem se adequar a realidade local da região. Os fatores determinantes para a caracterização dos esgotos de uma determinada região são aqueles associados aos usos para os quais foi submetida a água de abastecimento e variam de acordo com características como clima, situação social, econômica e hábitos populacionais.

De acordo com Von Sperling (1996), durante o projeto de uma estação de tratamento de efluentes não há interesse na determinação dos inúmeros componentes que formam os esgotos devido, tanto a dificuldade em se obter tais resultados através de testes de laboratório, quanto ao fato desses resultados não serem diretamente utilizáveis como elemento de operação e projeto.

No entanto, é recomendado a utilização de parâmetros indiretos que descrevam o caráter ou potencial poluidor do despejo em questão e definam a qualidade do esgoto. Os mais importantes parâmetros que devem ser observados nos esgotos domésticos e que são determinantes para a escolha do tipo de tratamento pelo qual deve passar um determinado efluente são: sólidos, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal. Uma breve descrição desses parâmetros se encontra no Quadro 03.

Quadro 03. Principais parâmetros dos esgotos domésticos.

Parâmetro	Descrição
Sólidos	A carga de sólidos está relacionada a todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos. Os sólidos são caracterizados de acordo com tamanho e estado, características químicas e decantabilidade.
Matéria Orgânica	O consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos para a utilização, nos seus

	processos metabólicos, e estabilização da matéria orgânica constitui a principal fonte de poluição das águas.
Nitrogênio	A determinação da forma predominante do nitrogênio fornece indicação sobre o estágio de poluição ocasionada por algum lançamento de esgotos a montante. Além disso, o nitrogênio é um elemento indispensável no crescimento de microrganismos responsáveis pelo tratamento de efluentes.
Fósforo	O fósforo se constitui como elemento indispensável pelos microrganismos para a estabilização da matéria orgânica e para o crescimento de algas, podendo, assim, favorecer fenômenos de eutrofização.
Indicadores de Contaminação Fecal	Organismos que dão indicação satisfatória da contaminação da água por fezes humanas e consequentemente sua potencialidade em transmitir doenças.

Fonte: Adaptado Von Sperling (1996)

Conforme dito anteriormente, os parâmetros preliminares são importantes para a determinação do tipo de tratamento mais adequado, do ponto de vista técnico e econômico, pelo qual deverá passar o esgoto. A relação entre os métodos indiretos para a medição da matéria orgânica que utilizam as medições das concentrações de DBO₅ e DQO (demanda bioquímica de oxigênio no quinto dia e demanda química de oxigênio) constituem uma das formas mais simples de se determinar a biodegradabilidade dos despejos e o processo de tratamento a ser empregado, seguindo a recomendação apresentada no Quadro 04 (VON SPERLING, 1996):

Quadro 04. Relação DQO/DBO₅

Relação DQO/DBO₅ Elevada	Relação DQO/DBO₅ Baixa
• Elevada fração inerte. • Indicação de tratamento biológico, caso a fração inerte não seja importante. • Indicação de tratamento físico-químico, caso a fração inerte seja importante.	• Elevada fração biodegradável. • Indicação de tratamento biológico.

Fonte: Adaptado Von Sperling (1996)

O tratamento convencional de efluentes é constituído por três etapas. A primeira etapa é formada pelo tratamento físico onde há a retirada dos sólidos grosseiros. A segunda etapa constitui o tratamento químico que age eliminando os agentes patógenos. Já a última etapa é formada pelo tratamento biológico, onde através do metabolismo de oxidação e síntese de células, remove a matéria orgânica contida no efluente. Os principais tratamentos utilizados são apresentados no Quadro 05.

Quadro 05. Principais tratamentos de esgoto

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros que ficam retidos nas grades, areia que fica retida na unidade de desarenação e, eventualmente, gordura e óleo (caixas de gordura).
Primário	Sólidos em suspensão. Podem ser removidos pelo uso de decantadores, flotadores e processos físico-químicos de coagulação-floculação.
Primário avançado	Remoção acelerada de sólidos pela adição de químicos ou através de filtração.
Secundário	DBO em suspensão não removida no tratamento primário ou DBO solúvel (sólidos dissolvidos).
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou ambos).
Terciário	Nutrientes, patogênicos, compostos não-biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, Sólidos em suspensão remanescentes.
Avançado	Remoção de material suspenso e dissolvido remanescentes visando o reúso da água. Ex: Adsorção por carvão, eletrodialise, troca iônica, membranas, etc.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2005)

De acordo com Telles e Costa (2007), o tratamento biológico remove a matéria orgânica biodegradável contida os sólidos dissolvidos no efluente e esses tratamentos se dividem em aeróbios (quando há presença de oxigênio dissolvido), anaeróbios (quando há ausência de oxigênio dissolvido e nitrato) e anóxicos (quando há ausência de oxigênio dissolvido e presença de nitrato). No Brasil, os sistemas de tratamento biológico mais utilizados são as lagoas de estabilização, devido ao menor custo e as condições climáticas favoráveis.

A Organização Mundial da Saúde se refere a lagoa de estabilização como sendo uma das mais apropriadas técnicas de tratamento de efluente com o objetivo de reuso agrícola, com uma alta eficiência de remoção de matéria orgânica (70 a 80%) e patogênica (maior que 90%). Além de tudo isso, as lagoas de estabilização não requerem mão de obra especializada e apresentam baixo custo operacional. Sendo a principal desvantagem observada para esta técnica o requerimento de grandes áreas e um efluente que pode apresentar alta concentração de algas.

Segundo Von Sperling (1996), as lagoas de estabilização podem ser classificadas em três tipos principais: lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação.

- Lagoa anaeróbia: tem como principal finalidade a remoção de DBO com eficiência de 50 a 70% e remoção dos sólidos em suspensão com eficiência de até 70%. São projetadas de modo a minimizar a entrada de oxigênio, ou seja, com profundidades altas e menores áreas superficiais.
- Lagoa facultativa: opera tanto como lagoa aeróbia quanto como lagoa anaeróbia e tem por finalidade a remoção de DBO (entre 70 e 90%) e patógenos. Também atua na desinfecção do efluente com eficiência de aproximadamente 99,99%, sendo necessários para este processo a entrada de raios ultravioletas, elevada concentração de OD e alto valor de pH.

- Lagoa de maturação: existe a predominância de condições aeróbias, recebem esgoto pré-tratado e por ter pequena profundidade e carga orgânica permite maior penetração de luz gerando alta produção de oxigênio por fotossíntese e elevada taxa de degradação.

De acordo com Bastos et al. (2008) as lagoas de estabilização são consideradas eficientes, pois, removem os organismos patogênicos do esgoto preservando a grande quantidade de nutrientes em especial o fósforo e o nitrogênio. Dessa forma, as lagoas de estabilização se enquadram como o sistema mais qualificado para a utilização em questões de reúso como contribuição de água e nutrientes.

5.4 Recuperação de Áreas Degradadas

De acordo com Tavares (2008) uma área é considerada degradada quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas. Isso acarreta na perda da camada fértil do solo e na alteração da qualidade da água e do regime hídrico da região.

Segundo Andrade (2014) o meio poroso do solo é onde ocorre a transferência dos processos, sendo composto por um sistema integrado de sua constituição, a parte sólida que é constituída por minerais e matéria orgânica, a parte líquida constituída pela água móvel (que participa do escoamento) e pela água imóvel (que não participa do escoamento) e a parte gasosa que possui majoritariamente vapor de água. As propriedades físicas do solo influenciam em seu comportamento como meio ecológico, no movimento de água e solutos e no crescimento das plantas.

De acordo com Cavalcanti (2008) a estrutura física do solo é responsável pela macroporosidade e microporosidade, afetando diretamente a porosidade do solo constituída pelo arranjo das partículas minerais e orgânicas constituintes do solo. A porosidade é um índice físico relacionado ao volume ocupado pelos vazios do solo (água e ou ar) e depende da textura e do estado de compactação. Segundo Bastos et al. (2008) nos macroporos há maior movimentação de água, de ar e de micro-organismos, já os microporos são responsáveis pela retenção da solução no solo onde se encontram os nutrientes utilizados pelos vegetais.

Conforme Cavalcanti et al. (2008) a disponibilidade de nutrientes para as plantas depende de fatores como o tipo de solo, o pH e o teor de matéria orgânica do meio. Existe uma variação do solo quanto a sua fertilidade natural que possui a origem e o clima como fatores determinantes. O pH é um parâmetro que condiciona a disponibilidade de nutrientes no solo, podendo inibir a absorção dos nutrientes pelas plantas. Em um solo ideal são encontrados valores de pH próximos de 6,5 o que acarreta em máxima disponibilidade de nutrientes de acordo com Bastos et al. (2008).

A capacidade de água disponível (CAD) se refere a quantidade de água que é utilizada pela planta e retida pelas partículas de solo. A capacidade de troca de cátions (CTC) representa a capacidade do solo em adsorver cátions trocáveis na superfície de seus colóides minerais e orgânicos e corresponde ao total de cargas negativas que o solo apresenta. Segundo Cavalcanti (2008) o CTC mostra a capacidade de retenção ou disponibilidade de nutrientes para as plantas. De acordo com Duarte (2006) a CTC é responsável pela magnitude da retenção e impedimento da lixiviação de cátions ao longo do perfil do solo.

Coerente com Santos (2004) o risco de salinização e sodificação de solos deve ser observado com cuidado. O solo possui uma mistura de sais solúveis que são essenciais para o desenvolvimento das plantas, mas que em grande quantidade provocam infertilidade.

Os solos classificados como salinos apresentam grandes concentrações de sais solúveis, os solos sódicos possuem altas concentrações de sódio trocável e os solos salino-sódicos apresentam concentrações elevadas tanto de sais quanto de sódio. Para a classificação de solos

salinos e sódicos são utilizados critérios baseados na condutividade elétrica, pH, percentual de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) que avalia a concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio.

De acordo com Tavares (2007) o clima constitui o principal agente regulador da demanda de água para o solo e para as plantas. As condições climáticas atreladas a temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar são responsáveis pela retirada de água do solo pelas plantas que tem na precipitação uma fonte natural de fornecimento.

5.5 Colunas de Solo

Segundo Silva (2013) as colunas de solo é uma técnica viável e útil para monitorar o deslocamento de substancias no perfil do solo e realizar a estimativa de parâmetros de transporte de soluto no solo. De acordo com Duarte et al. (2002) para um perfeito entendimento do deslocamento de solutos no solo é necessária uma determinação mais realista dos parâmetros de transporte que influenciará na relação solo-soluto como a velocidade de percolação da água nos poros, os coeficientes de difusão-dispersão e o fator de retardamento.

Silva (2013) afirma que o fenômeno de transporte de solo pode ser compreendido através do movimento de determinado soluto que se move com o solvente nos interstícios do meio poroso. De acordo com Pinho (2009) a água ao se deslocar no perfil do solo remove parte dos solutos que o constitui enquanto que a outra parte é absorvida pelas plantas.

O potencial da água é uma medida obtida através da diferença entre a energia potencial de uma amostra de água de referência e a energia potencial da água contida em uma piscina de água livre que por definição tem potencial igual a zero. A alteração da energia da água no solo se dá pela mudança da pressão da água (potencial de pressão), pela mudança da concentração de solutos contidos na água (potencial osmótico), ou através da ação das forças adesivas e coesivas que ligam a água a superfícies sólidas e em capilares de uma matriz (potencial mátrico).

A energia da água no solo também é dependente da posição da água em relação a um campo gravitacional (potencial gravitacional). O potencial total, como visto através da equação apresentada anteriormente, é dado pela soma dos potenciais de pressão hidrostática gravitacional, mátrico e osmótico. No entanto, sob condições de saturação, na inexistência de membrana semipermeável ou quando o solo não é salino, os potenciais mátrico e osmótico podem ser desprezados. O potencial total é dado pela soma dos potenciais de pressão hidrostática gravitacional, mátrico e osmótico. No entanto, sob condições de saturação, na inexistência de membrana semipermeável ou quando o solo não é salino, os potenciais mátrico e osmótico podem ser desprezados.

Segundo Santos et al. (2010) a movimentação dos solutos no solo se dá por várias maneiras, uma parte pode ser absorvida pelas plantas enquanto a outra percola através das camadas mais profundas do solo e pode ser precipitada caso haja uma extrapolação na capacidade de solubilidade do solo. A movimentação de solutos e substancias químicas no solo é feita através de três processos: convecção ou advecção, difusão molecular e dispersão hidrodinâmica.

- Convecção ou advecção caracterizada pelo movimento passivo do soluto com água, ou seja, o soluto segue o fluxo da água. Com o deslocamento da água no solo os solutos presentes se movimentam com velocidade igual à velocidade média da água e sem alterar a sua concentração na solução.

-
- Difusão molecular processo espontâneo que resulta do movimento natural térmico de íons e moléculas dissolvidas. O soluto dissolvido em água se desloca de uma área de maior concentração para uma área de menor concentração.
 - Dispersão hidrodinâmica resultado de variações de velocidade da água nos poros causada pela resistência da matriz do solo. É necessário que haja fluxo de água para a sua ocorrência.

6. METODOLOGIA

6.1 Área de Estudo

Caruaru é um município brasileiro pertencente à Mesorregião do Agreste Pernambucano e inserido na Microrregião do Vale do Ipojuca, distante cerca de 130 km a oeste da cidade do Recife. Segundo dados do IBGE (2015), são a terceira mais populosa cidade do interior nordestino, com temperatura média anual de 22,7 °C e vegetação predominante do tipo caatinga. Inserido na Região do Semiárido Nordeste, apresenta déficit hídrico, e pertencente à Bacia do Rio Ipojuca, o município enfrenta cada vez mais problemas relacionados à escassez de água, tanto relacionados à qualidade quanto a quantidade, devido a questões como acelerado aumento populacional e industrial, atrelados à falta de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

De acordo com informações provenientes do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foi elaborada a Tabela 04 com o intuito de exemplificar as características pluviométricas observadas na cidade de Caruaru durante os anos de 1961 a 1974, que relaciona os maiores acumulados de precipitação de acordo com o mês. A Figura 02 apresenta as microrregiões do estado de Pernambuco juntamente com a bacia hidrográfica do rio Ipojuca.

Tabela 04. Maiores acumulados de precipitação por mês entre os anos 1961-1974.

Mês	Acumulado (mm)	Data	Mês	Acumulado (mm)	Data
Janeiro	74 mm	24/01/1969	Julho	113,4	31/07/1966
Fevereiro	49,6 mm	12/02/1964	Agosto	29,2	03/08/1964
Março	120 mm	14/03/1969	Setembro	31	29/09/1967
Abril	78 mm	14/04/1973	Outubro	29,8	03/10/1973
Mai	52,8 mm	24/05/1986	Novembro	20	21/11/1963
Junho	89,2 mm	14/06/1966	Dezembro	37,4	21/12/1966

Fonte: Banco de Dados do INMET (2017)

Figura 02. Microrregiões e bacia hidrográfica do rio Ipojuca.



Fonte: Governo do Estado de Pernambuco – CONDEPE/FIDEN (2005)

O solo utilizado nas colunas de lixiviação foi retirado de área com solo degradado, localizada no Centro Acadêmico do Agreste – UFPE (CAA/UFPE), situado na cidade de Caruaru, dentro dos limites pertencentes a Bacia do Rio Ipojuca. Foi utilizado efluente proveniente de lagoa de maturação da Estação de Tratamento de Esgoto de Caruaru, ETE-

Rendeiras, localizada no Bairro das Rendeiras (-8,283667;-35,936625), como especificado nas Figuras 03, 04, 05 e 06. De acordo com dados do Governo do Estado de Pernambuco, a ETE-Rendeiras possui capacidade de tratar 450 litros de esgoto por segundo, utilizando, para isto, tratamento através de reatores em série do tipo UASB (reator anaeróbico com fluxo ascendente), lagoa aerada, lagoa facultativa e lagoa de maturação, em série. O emissário do sistema de tratamento é o trecho do rio Ipojuca localizado nas proximidades de ETE-Rendeiras.

Figura 03. Local de retira da amostra de solo no Centro Acadêmico do Agreste, UFPE, Caruaru.



Fonte: Google Maps, 2017

Figura 04. Localização da ETE Rendeiras ampliada.



Fonte: Google Maps (2017)

Figura 05. Componentes da ETE Rendeiras



Fonte: Google Maps (2017)

Sendo na Figura 05:

- 1: Caixa de areia
- 2: Reatores em série do tipo UASB
- 3: Lagoa aerada
- 4: Lagoa facultativa
- 5: Lagoa de maturação
- 6: Rio Ipojuca (onde são lançados os efluentes tratados)

Figura 06. Foto Aérea da ETE-Rendeiras atualizada



Fonte: Compesa, (2017)

6.2 Caracterização Física do Solo

As amostras de solo, utilizadas no experimento, foram coletadas em área com solo degradado, proveniente de serviços de terraplenagem realizados no campus, com potencial de utilização paisagística (jardim) pelo Campus Acadêmico do Agreste (UFPE), inserida na bacia do Rio Ipojuca. Inicialmente, foi realizada uma limpeza no local com uso de ferramentas como pá, enxada e picareta com o objetivo de recolher as raízes e vegetação presentes no solo. Com o auxílio dos equipamentos citados foi recolhido solo da camada de 0 a 0,20 cm para o enchimento das colunas. Juntamente com a coleta do solo, foram realizados ensaios físicos para a determinação de índices físicos, potencial de infiltração e assim, caracterização do solo.

Para a determinação da densidade dos sólidos e, conseqüentemente a partir dela os demais índices físicos através de correlações, foram seguidos critérios estabelecidos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997).

Foi utilizado o método do anel volumétrico, com dimensões conhecidas e borda cortante, para a determinação da densidade aparente. O anel foi cravado no solo para recolhimento de amostra e inicialmente devido ao solo da região ser muito seco, compacto e de difícil coleta, efetuou-se a umidificação do local de cravamento do anel de modo a facilitar a retirada das amostras de solo.

Coletaram-se duas amostras de solo e a partir dos dados obtidos com as mesmas foi feita a média aritmética dos valores para uso no experimento. Os demais índices físicos foram obtidos a partir de correlações com a densidade aparente obtida com o método do anel volumétrico realizado. Os dados referentes ao anel volumétrico se encontram dispostos na Tabela 05.

Tabela 05. Características do anel volumétrico

Características do Anel Volumétrico	Valores
Peso (g)	549,69
Altura (cm)	6,80
Diâmetro interno (cm)	8,30
Volume (m ³)	367,92

Fonte: Autor, 2017

Após obtenção dos dados referentes ao anel volumétrico, foram obtidas os seguintes dados, apresentados na Tabela 06, referentes às amostras coletadas para a realização do ensaio de peso específico natural. Após a determinação destes dados, as amostras foram levadas para a estufa durante 24 horas à 105 °C com o objetivo de extrair a água que foi adicionada inicialmente para facilitar a cravação do anel volumétrico. Tendo em vista que com o uso da estufa, toda água contida no solo foi perdida, não só a que foi acrescentada para facilitar a realização do experimento, foi considerado o solo natural como sendo totalmente seco, já que devido às condições do local, a umidade inicial tende a apresentar valores característicos muito baixos que de acordo com Caputo (1981) caracteriza um solo seco (menor que 25%).

Tabela 06. Dados coletados das amostras

Amostra 1	Peso (g)	Amostra 2	Peso (g)
Solo Úmido + Anel	1041,47	Solo Úmido + Anel	1065,67
Solo Úmido + Saco	484,78	Solo Úmido + Saco	509,52
Saco	1,60	Saco	1,60

Fonte: Autor, 2017

Em posse dos dados e com o auxílio de equações que inter-relacionam os índices físicos, foi elaborada a tabela com o resumo dos dados obtidos. Também, devido a comparações dos valores obtidos com valores encontrados na literatura específica, foi concluído que o solo analisado apresenta característica que levam a classifica-lo como areia média a grossa. O resumo dos índices físicos do solo e das equações utilizadas para obtê-los estão dispostos nas Tabelas 07 e 08, respectivamente.

Tabela 07. Resumo dos índices físicos e parâmetros do solo

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Média
Peso Solo + Água (g)	483,18	507,92	495,55
Peso Solo (g)	385,98	399,27	399,27
Peso Água (g)	97,20	95,36	96,28
Volume Solo (cm ³)	270,72	271,64	271,64
Volume Água (cm ³)	97,20	96,28	96,28
Peso Específico Dos Sólidos (g/cm ³)	1,43	1,51	1,47
Peso Específico Natural (g/cm ³)	1,31	1,38	1,35
Peso Específico Seco (g/cm ³)	1,05	1,12	1,09
Porosidade (%)	26,42	25,92	26,17
Vazios	0,36	0,35	0,35
Umidade (%)	25,18	23,11	24,15

Fonte: Autor, 2017

Tabela 08. Índices físicos e equações correspondentes

Índice	Equação
Peso Específico dos Sólidos	Peso Solo/ Volume Solo
Peso Específico Natural	Peso Total/ Volume Total
Peso Específico Seco	Peso Solo/ Volume Total
Porosidade	(Volume Água/ Volume Total) x 100
Vazios	Volume Água/ Volume Solo
Umidade	(Peso Água/ Peso Solo) x 100

Fonte: Autor, 2017

6.3 Caracterização dos Nutrientes do Solo

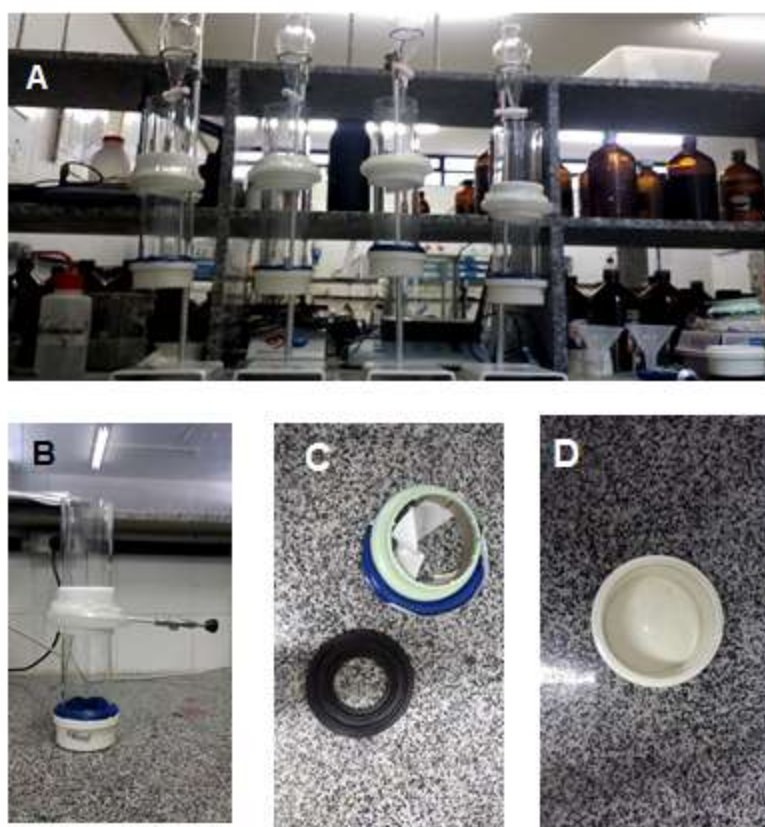
Para a caracterização dos nutrientes, presentes no solo coletado, analisou-se o solo antes e após a disposição do efluente, na profundidade de 0 a 20 cm para as quatro colunas de solo. Inicialmente para a determinação dos nutrientes foi coletada um amostra de solo de aproximadamente 1 kg, com o auxílio de enxada e pá, foi feito o destorroamento da amostra de solo, foram retirados os grãos maiores e restos de matéria orgânica presentes na amostra. A amostra foi devidamente acondicionada em saco plástico e etiquetada. Em seguida foi encaminhada para análise química no Laboratório de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Após a percolação do efluente lixiviado através das colunas, o solo de cada coluna foi retirado, secado ao ar, e encaminhado para análise, no mesmo laboratório já citado, de modo a fazer o comparativo entre a concentração de nutrientes no solo antes e depois da passagem do efluente.

6.4 Montagem das Colunas de Solo

Inicialmente, para a montagem das colunas de solo, foram utilizados cilindros de acrílico de 6 centímetros de diâmetro interno e 7 centímetros de diâmetro externo, com 30 centímetros de altura. Escolheu-se o material acrílico para a confecção dos cilindros pelo fato de ser um material transparente e inerte, facilitando, assim, o acompanhamento da trajetória de fluxo do soluto através das colunas de solo. Na parte superior de cada coluna, a 1 centímetro da borda superior, foi feito um furo de aproximadamente 0,5 centímetros de diâmetro com o objetivo de manter o raio hidráulico constante. Para garantir melhor fixação dos tubos nos suportes que os conectam as hastes metálicas, foi utilizado mangueira, E.V.A., e cola quente, que formaram dispositivo de modo a garantir a amarração segura dos tubos aos suportes.

A parte inferior de cada tubo foi lacrada com tampa de finalização de tubulação, geralmente usada para tubulação de esgoto em pvc, de diâmetro nominal de 75 mm. Foi utilizado na parte inferior de cada tubo, em associação com as tampas de finalização, borracha e anel de vedação, com o objetivo de impedir a passagem de água no espaço entre o tubo de acrílico e a tampa de finalização. Por fim, foi feito um furo no meio de cada tampa, para garantir a passagem do lixiviado que sai da coluna. A Figura 07 apresenta a composição das colunas conforme detalhado no texto.

Figura 07. Montagem das colunas de solo.



Fonte: Autor (2017)

Sendo:

- A) Colunas de solo parcialmente montadas
- B) Vista parcial da coluna com suporte metálico
- C) Anel e borracha de vedação
- D) Tampa de finalização de tubulação

Após a montagem das colunas realizou-se o preenchimento das mesmas com solo procurando manter a mesma densidade em campo. Nesse caso, foi fixada uma altura de 20 cm de solo para ser colocada em cada coluna e a partir disso foi calculada a quantidade necessária de massa de solo necessária para garantir a densidade natural. Dessa forma, para atingir densidade de $1,35 \text{ g/cm}^3$ com volume de $565,49 \text{ cm}^3$ foi necessário 763,41 g de solo em cada coluna.

Partindo da montagem, foi feita a saturação das colunas com água destilada em fluxo descendente. Dessa forma, ao todo foram aplicados 500 mL de água destilada em cada coluna com o objetivo de atingir saturação total.

O excesso de água lixiviado por cada coluna foi coletado, medido o volume e pesada a massa, de modo a comparar a quantidade de água retida por cada coluna e a uniformidade das mesmas. Com os resultados obtidos concluiu-se que existe certa uniformidade entre as colunas no que diz respeito a acomodação do solo já que não houve grande dispersão nos valores das massas de água retidas pelas colunas. Os resultados se encontram na Tabela 09.

Tabela 09. Resultado dos pesos de solo adicionados em cada coluna

Coluna	Volume Adicionado (mL)	Volume Lixiviado (mL)	Peso Retido no Solo (g)	Peso Lixiviado (g)
1	500	300	201,22	298,78
2	500	300	192,05	307,95
3	500	290	209,11	290,89
4	500	300	199,71	300,29

Fonte: Autor, 2017.

De forma a garantir faixa de irrigação similar para cada coluna foi realizada a medição da vazão escolhida de modo a não formar lâmina de água acima do solo e garantir lixiviação de forma uniforme. Foram adicionados 100 mL de água ao recipiente responsável pela alimentação das colunas e o tempo, para que toda a quantidade de água fosse vertida, foi medido. Dessa forma foi obtida vazão de alimentação igual a 9,09 ml/min, ajustada através do funil de regulação de vazão. Vazão esta que foi utilizada em todas as colunas durante a realização do experimento. A Figura 08 apresenta a visão geral das colunas após a montagem e o preenchimento com solo.

Figura 08. Colunas de solo montadas



Fonte: Autor (2017)

6.5 Análise Química do Efluente e do Lixiviado

As análises químicas do efluente e do lixiviado foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental da UFPE-Campus Agreste. As metodologias de preservação e análises das amostras utilizadas foram baseadas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (ALPHA, 2005). Os parâmetros avaliados e as respectivas metodologias adotadas se encontram resumidos na Tabela 10,

Tabela 10. Metodologias seguidas para análises química.

Parâmetro	Metodologia/Leitura
Alcalinidade	Método Potenciométrico
Fósforo	Método Molibdo-Vanadato/Espectrofotômetro
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Método Espectrofotômetro
Coliformes Totais e Termo tolerantes	Substrato Cromogênico
Potencial Hidrogenionico (pH)	pHmetro
Oxigênio Dissolvido (OD)	Oxímetro
Temperatura	Condutivímetro
Salinidade	Condutivímetro
Condutividade Elétrica	Condutivímetro
Cor	Colorímetro
Turbidez	Turbidímetro

Fonte: Autor, 2017.

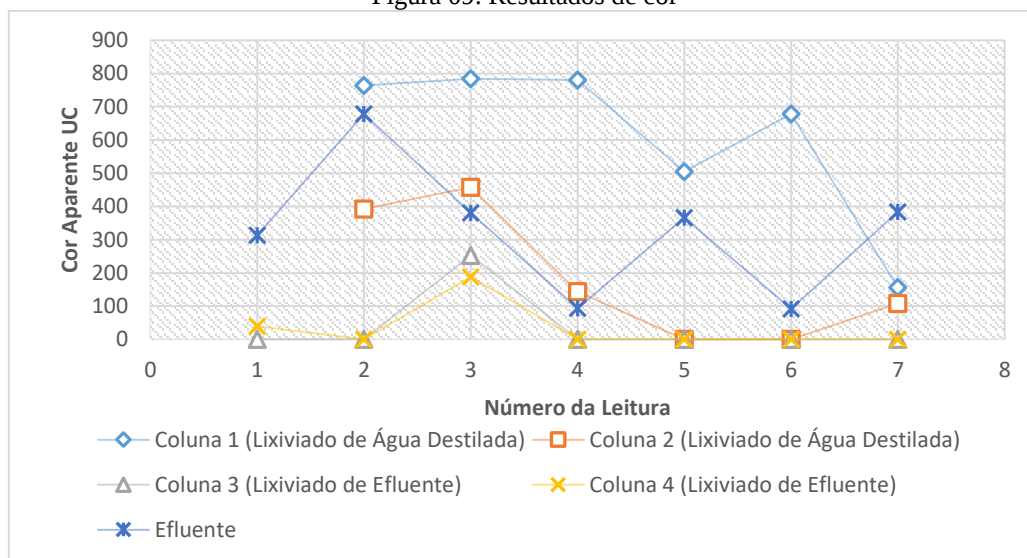
Em relação aos parâmetros pH, OD, temperatura, salinidade, condutividade elétrica, cor e turbidez, foram realizadas leituras diárias do lixiviado durante todos os dias nos quais as colunas foram alimentadas com efluente (colunas 3 e 4) e água destilada (colunas 1 e 2). Os mesmos parâmetros foram médios para o efluente que alimentou as colunas.

Os parâmetros DQO, Coliformes totais, coliformes termotolerantes, fósforo e alcalinidade, realizou-se a leitura do acumulado referente a cada coluna após às aplicações diárias, ou seja, do lixiviado acumulado após sete dias de alimentação, e do efluente utilizado.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

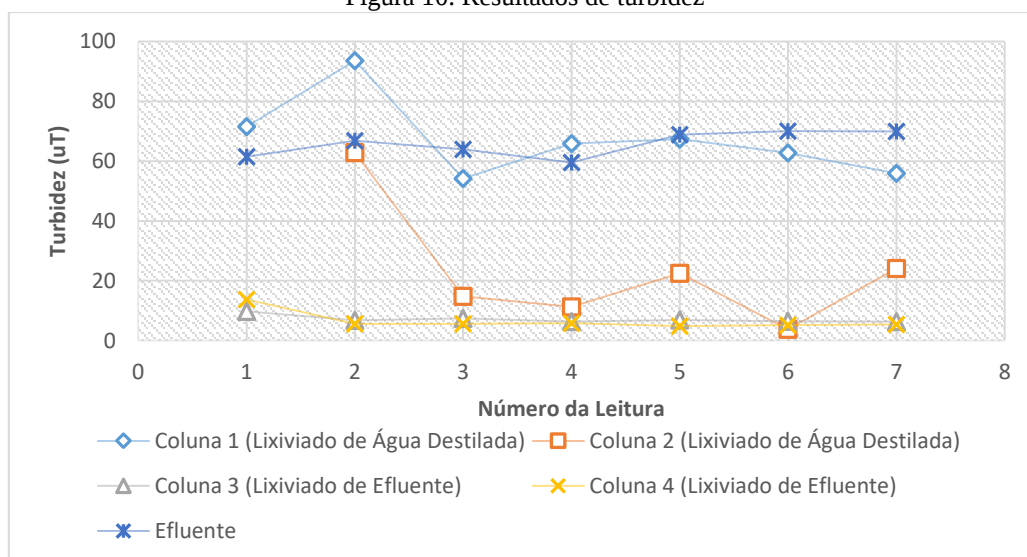
As Figuras 09 e 10 apresentam os dados de cor e turbidez, respectivamente, avaliados no efluente antes da aplicação na coluna, bem como no lixiviado. Pela análise dos gráficos foi possível perceber que os maiores valores de cor e também de turbidez são encontrados no lixiviado de água destilada

Figura 09. Resultados de cor



Fonte: Autor (2017)

Figura 10. Resultados de turbidez



Fonte: Autor (2017)

Os dados de cor se referem à cor aparente e, dessa forma, a cor está diretamente relacionada à turbidez. Tendo em vista que o principal responsável pela cor no efluente é a matéria orgânica e que, no lixiviado são os sólidos do solo que foram carregados durante o processo de lixiviação, foi possível perceber como esperado, que o efluente apresentou valores de cor e turbidez maiores que o lixiviado nas colunas 2, 3 e 4. Já em relação à coluna 1, o comportamento foi diferente. Foi encontrada elevada turbidez e cor no lixiviado, de acordo com a Tabela 11, avaliando-se o peso inicial e o peso final, foi possível notar que a coluna 1 perdeu grande quantidade de solo na lixiviação contribuindo para os elevados valores de cor e turbidez.

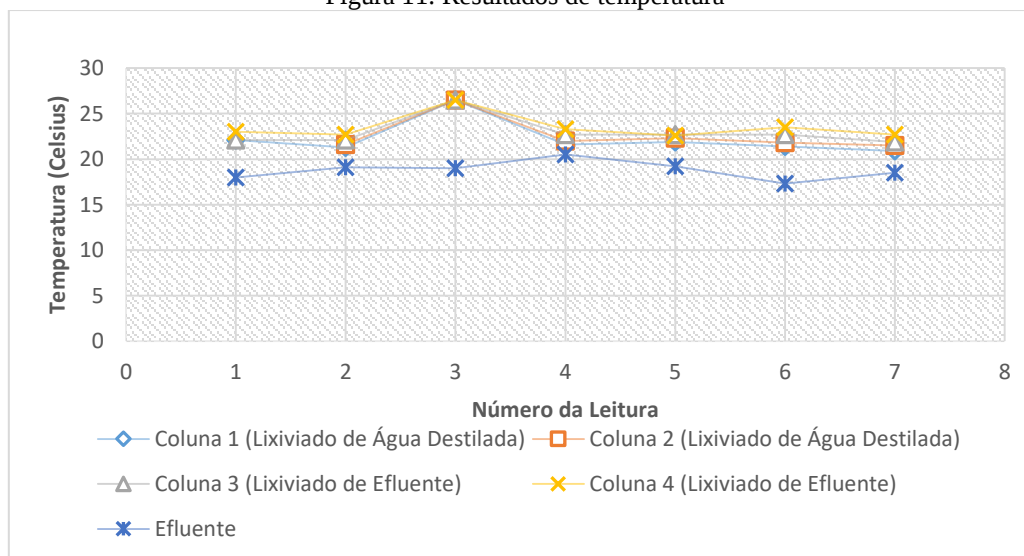
Tabela 11. Balanço do peso inicial e final das colunas

Coluna	Peso Inicial de Solo (g)	Peso Final de Solo (g)	Diferença entre Pesos (g)
1	694,55	764,50	69,95
2	744,73	763,82	19,09
3	722,63	762,00	39,37
4	720,65	764,68	44,03

Fonte: Autor, 2017.

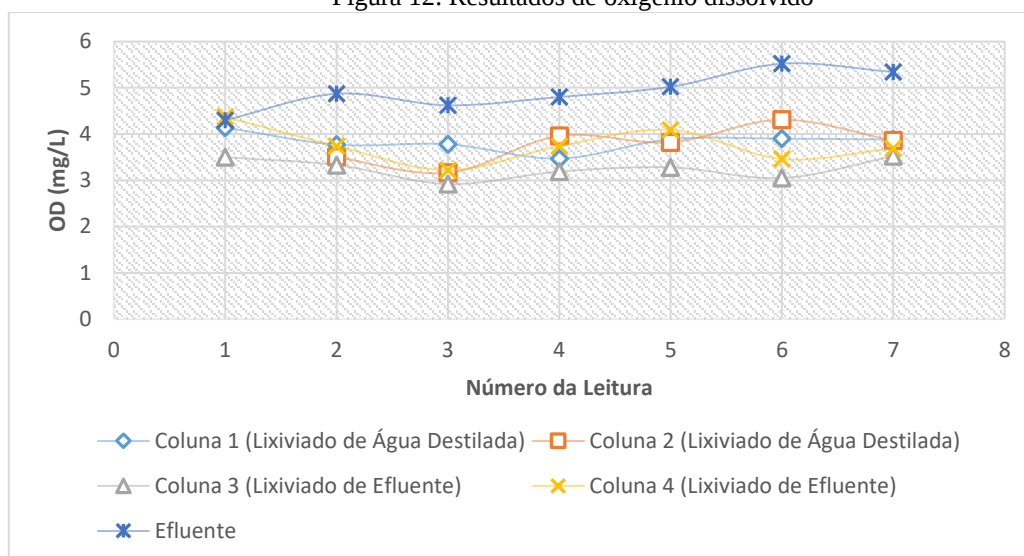
As Figuras 11 e 12 apresentam os dados de temperatura e oxigênio dissolvido, respectivamente, avaliados no efluente antes da aplicação na coluna, bem como no lixiviado.

Figura 11. Resultados de temperatura



Fonte: Autor (2017)

Figura 12. Resultados de oxigênio dissolvido



Fonte: Autor (2017)

Como esperado, a temperatura apresentou valores relativamente constantes entre as colunas ao longo das leituras. Em relação ao efluente, o mesmo apresentou menor valor de temperatura devido ao fato de ter ficado acondicionado na geladeira para preservar suas características ao longo dos dias, visto que foi utilizado para alimentar as colunas de lixiviação ao longo do experimento.

Em relação ao oxigênio dissolvido, o efluente apresentou concentrações mais elevadas que às observadas no lixiviado. O efluente foi coletado em lagoa de estabilização, que é rica em algas fotossintizantes que produzem oxigênio dissolvido. No entanto, após a lixiviação, o oxigênio é perdido durante a passagem na coluna e não é mais reposto pelo processo de fotossíntese. Vale ainda ressaltar, que a faixa de OD na qual se encontram os resultados do lixiviado (entre 4 e 3 mg/L) é um fator limitante para peixes mais exigentes caso fosse observado esses valores em águas naturais.

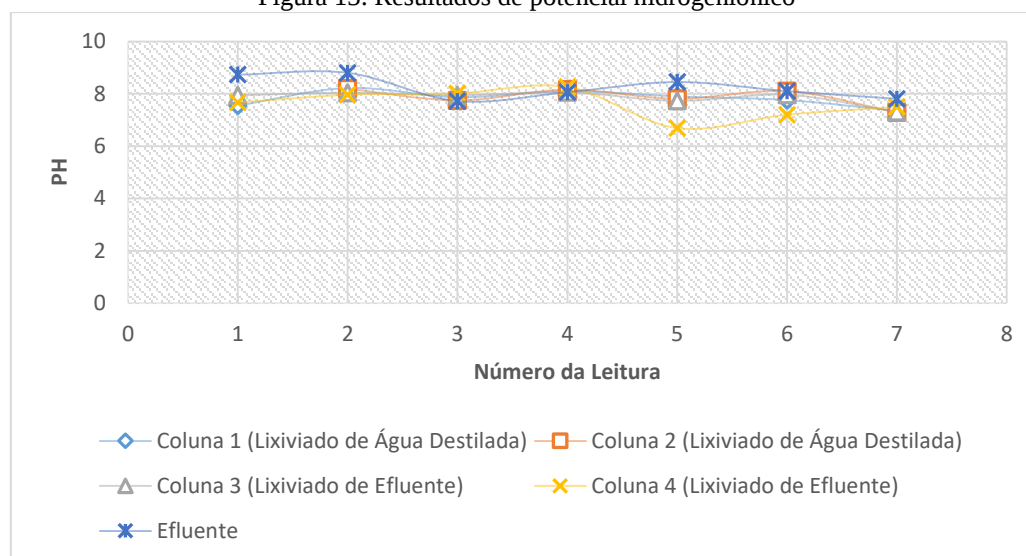
A Tabela 12 e a Figura 13 apresentam os dados de alcalinidade e potencial hidrogeniônico (pH), respectivamente, avaliados no efluente antes da aplicação na coluna, bem como no lixiviado.

Tabela 12. Resultados de alcalinidade

Parâmetro	Lixiviado De Água Destilada			Lixiviado De Efluente	
	Efluente	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	80	40	40	40	20

Fonte: Autor, 2017.

Figura 13. Resultados de potencial hidrogenionico



Fonte: Autor (2017)

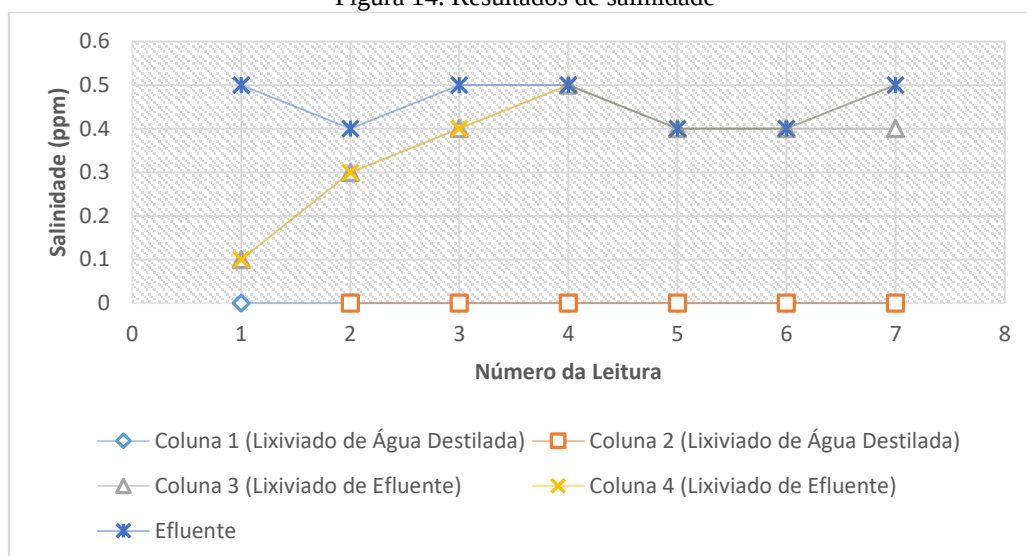
Os resultados de pH indicam que tanto o efluente quanto o lixiviado apresentaram valores próximos da neutralidade ($\text{pH} = 7$), o que representa equilíbrio dos compostos químicos e normalidade na taxa de crescimento dos microrganismos. Os valores de pH observados no efluente estão dentro da faixa para lançamento no corpo receptor (rio Ipojuca), desta forma, não representariam risco à vida aquática se lançados. Neste sentido, como esperado, os valores observados no lixiviado também estiveram dentro da neutralidade não representando risco de distúrbio às reações químicas e biológicas do solo.

Em relação à alcalinidade se observa que devido ao fato da faixa de pH se apresentar próxima à neutralidade, a maior contribuição para a alcalinidade do lixiviado vem dos bicarbonatos, já em relação ao efluente que apresenta maior valor de alcalinidade, além dos bicarbonatos é possível a presença de carbonatos.

De acordo com Jeong (2016), as concentrações de hidrogênio medidas a partir dos valores de pH representam parâmetro fundamental de avaliação do potencial de reuso da água para irrigação, a qual normalmente apresenta medidas de pH entre 6,5 e 8,4. Valores de pH fora da faixa apresentada, ainda assim, podem ser utilizados para fins de irrigação, no entanto, com potencialidade de causar desequilíbrio nutricional do solo ou conter íons nocivos ao mesmo. Águas de irrigação com pH baixo e altos valores de alcalinidade, tendem a acelerar processos de corrosão no solo e diminuir a eficiência de sistemas de irrigação por gotejamento. Dessa forma, se observa que os dados obtidos para pH e alcalinidade se encontram dentro do esperado e do padrão necessário para águas de reuso com fins de irrigação.

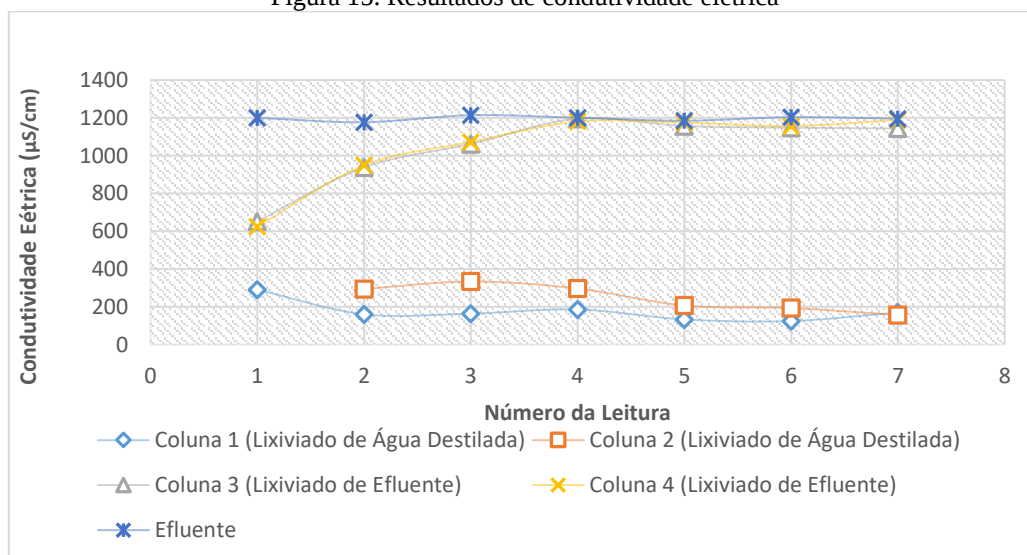
As Figuras 14 e 15 apresentam os dados de salinidade e condutividade elétrica, respectivamente, avaliados no efluente antes da aplicação na coluna, bem como no lixiviado.

Figura 14. Resultados de salinidade



Fonte: Autor (2017)

Figura 15. Resultados de condutividade elétrica



Fonte: Autor (2017)

A condutividade elétrica observada nas colunas 1 e 2, que foram alimentadas com água destilada, se deve, provavelmente, devido aos íons que foram lixiviados do solo juntamente com a passagem do soluto, uma vez que espera-se que a água destilada não apresentava condutividade. Já, fazendo o comparativo entre a condutividade elétrica do efluente e do lixiviado das colunas 3 e 4, as quais foram alimentadas com efluente, se observa que a partir de determinada leitura, as curvas praticamente se sobrepõem, o que provavelmente se deve ao fato do solo ter atingido a saturação em relação a quantidade de íons, e todos os íons presentes no efluente foram lixiviados juntamente com o soluto a medida que se atingia o ponto de equilíbrio.

Os resultados de salinidade apresentados se referem à salinidade prática, já que foi obtida a partir do Condutímetro, e representa a razão entre a massa total de sal dissolvido e a

substância que serviu de solvente (efluente e lixiviado). Observou-se que nas colunas 1 e 2, praticamente não houve registro de salinidade, e que nas colunas 3 e 4, a salinidade aumentou até o ponto de convergir com a salinidade observada no efluente.

Analisando os dados referentes à condutividade elétrica, e tendo em vista que ela representa um indicativo do teor de sólidos iônicos dissolvidos na água (efluente ou lixiviado), se observa que o limite máximo apresentado foi em torno de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o qual, de acordo com Jeong (2016), atende aos limites máximos aconselhados para águas de irrigação segundo as legislações italianas e israelenses (3000 e 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente).

Também a partir do uso de fatores empíricos, foi possível fazer a determinação da quantidade de sólidos dissolvidos no efluente e no lixiviado utilizando os dados de condutividade. Foi adotada a seguinte relação apresentada na Tabela 13.

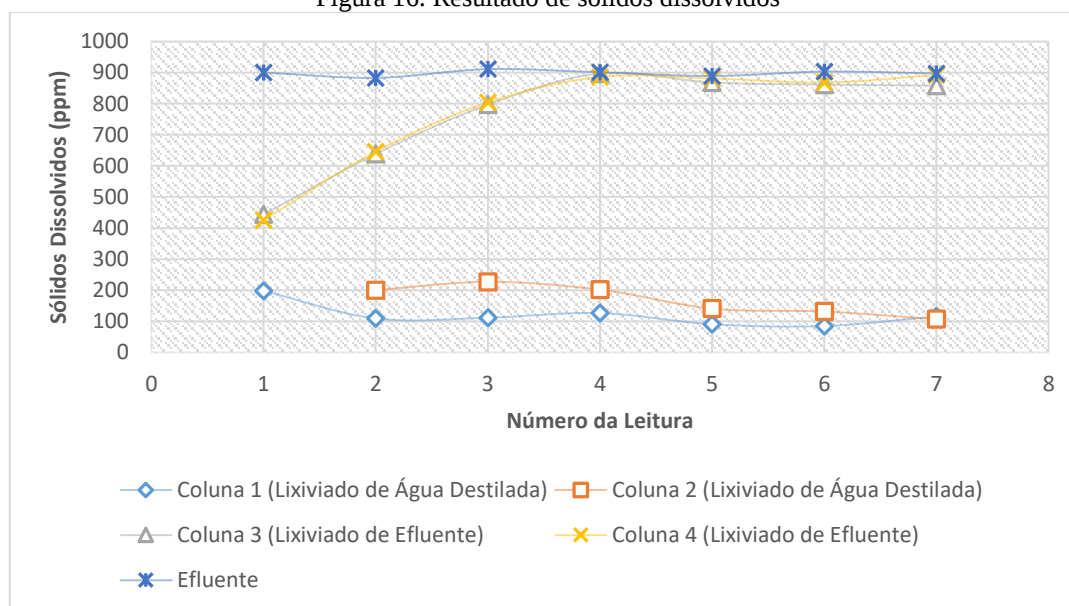
Tabela 13. Relação entre condutividade e sólidos dissolvidos

Condutividade Elétrica C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sólidos Dissolvidos (ppm)
≤ 1000	0,68C.E.
1000-4000	0,75C.E.
4000-10000	0,82C.E.

Fonte: PUC- Rio, 2017

Com o uso da relação apresentada, foi construído a Figura 16 relativa aos sólidos dissolvidos

Figura 16. Resultado de sólidos dissolvidos



Fonte: Autor (2017)

Os sólidos totais dissolvidos se referem a partículas dissolvidas com até 2 micrômetros de tamanho, e seu valor é próximo, como pode ser observado através da comparação entre os gráficos referentes à salinidade e aos sólidos totais dissolvidos, ao valor da salinidade devido ao fator de englobar todos os eletrólitos dissolvidos que compõem a salinidade, incluindo compostos orgânicos. O que também explica o maior valor de sólidos totais dissolvidos no efluente e lixiviado das colunas 3 e 4, que contem maior acumulo de matéria orgânica se comparado com o lixiviado das colunas 1 e 2 que foram alimentadas com água destilada.

A Tabela 14 apresenta os dados de DQO (demanda química de oxigênio) e fósforo total. De acordo com Von Sperling (1996), a concentração de DQO dos esgotos domésticos bruto é em torno de 600 mg/L. O efluente utilizado no presente estudo, trata-se de efluente tratado por meio de lagoa de maturação, o que justifica o valor de 229,5 mg/L, menor do que a faixa descrita pela literatura para esgoto bruto.

As colunas 1 e 2, que foram alimentadas com água destilada, apresentaram valores de DQO no lixiviado de 79,1 e 75,7 mg.L⁻¹, respectivamente, que representam parte da matéria orgânica presente no solo que foi lixiviada. Já as colunas 3 e 4, que foram alimentadas com efluente tratado, apresentaram valores de 175,8 e 171,8 mg.L⁻¹. Isto evidencia que houve incorporação de matéria orgânica, proveniente do efluente, no solo da coluna 3 e 4 de aproximadamente 23% e 25%, respectivamente.

A matéria orgânica é fonte de praticamente todos os macro e micro nutrientes de quais o solo precisa, conferindo melhor estrutura e fertilidade. Em regiões tropicais a matéria orgânica em quantidade suficiente é fator decisivo para a manutenção do equilíbrio nutricional do solo. A mesma aumenta o poder tampão (capacidade de resistência do solo a mudanças bruscas de pH) do solo, diminuindo os desequilíbrios minerais. O aumento observado na quantidade de fósforo presente nas amostras de solo das colunas alimentadas com efluente (Colunas 3 e 4), representa um indicativo indireto da matéria orgânica acumulada nos mesmos em comparação ao solo bruto.

Tabela 14. Resultados de DQO e fósforo.

Parâmetro	Efluente antes da aplicação	Lixiviado de água destilada		Lixiviado de efluente	
		Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
DQO (mg/L)	229.48	79.11	75.77	175.81	171.8
Fósforo (mg/L)	13.398	1.811	1.432	0.958	0.939

Fonte: Autor, 2017.

Em relação ao fósforo, observou-se uma maior concentração no efluente do que no lixiviado, o que já era esperado, visto que uma parcela do fósforo fica retida no solo. Nas colunas 1 e 2, observou-se uma concentração de fósforo de 1,8 e 1,4 mg.L⁻¹, respectivamente, esse fósforo foi lixiviado do solo visto que a água destilada não continha o elemento. Já nas colunas 3 e 4, o valor do fósforo no lixiviado nas duas colunas foi aproximadamente 93% menor que o efluente, demonstrando que parte do fósforo do efluente foi incorporado no solo.

A Tabela 15 apresenta os dados referentes aos coliformes totais e termos tolerantes avaliados no efluente antes da aplicação na coluna, bem como no lixiviado.

Tabela 15. Resultado de coliformes totais e termo tolerantes

	Coliformes Totais	Coliformes Termo tolerantes
Efluente	8,66 x 10 ⁴ NMP/100 mL	3 x 10 ² NMP/100 mL
Coluna 3	≥2419.6 NMP/100 mL	2,8 x 10 NMP/100 mL
Coluna 4	≥2419.6 NMP/100 mL	3,36 x 10 NMP/100 mL

Fonte: Autor, 2017.

Em termos de coliformes totais não foi possível interpretar os resultados visto que os valores foram maiores que os limites de detecção do método e também porque os coliformes totais estão presentes livremente no efluente e no solo. Já em relação aos coliformes termotolerantes, que vivem exclusivamente no trato intestinal humano, foi observada uma

redução do efluente tratado para o lixiviado de 90,5 % para coluna 3 e 88,9% para a coluna 4, o que indica baixa probabilidade de contaminação fecal no lençol freático.

A Tabela 16 apresenta os dados referentes à presença de nitrogênio no solo sob a forma de íons de amônio e nitrato, respectivamente, avaliados no solo antes e depois da aplicação na coluna de efluente e de água destilada.

Tabela 16. Resultados de nitrogênio do solo

Amostra	Amônio NH_4^+	Nitrato NO_3^-	Amônio + Nitrato
Solo Bruto	7.00	16.33	23.33
Coluna 1	7.00	9.33	16.33
Coluna 2	7.00	4.67	11.67
Coluna 3	0.00	35.00	35.00
Coluna 4	0.00	23.33	23.33

Fonte: Autor, 2017.

O nitrogênio se apresenta no solo na forma orgânica e inorgânica, geralmente chamada de forma mineral. A quantidade de nitrogênio mineral presente no solo depende do balanço entre os processos de mineralização e imobilização (GALLO,2013). O processo de imobilização se deve a conversão do nitrogênio mineral em nitrogênio orgânico pelo micro-organismo.

Já o processo de mineralização se deve a liberação do excesso de amônio no solo pelos micro-organismos ou devido à morte dos mesmos. O processo de conversão de amônio em nitrato é um processo biológico chamado de nitrificação.

De acordo com os resultados se observa que em relação ao amônio houve mesma concentração no solo bruto e no solo das colunas 1 e 2, já que na água destilada não havia-o e ao fato do amônio ser menos susceptível a lixiviação que o nitrato.

Já o valor de zero gramas no solo, mesmo após a aplicação do efluente (solo no final do experimento), pode ser explicada devido a provável nitrificação ocorrida no solo, em que o amônio é convertido a nitrato por micro organismos.

A concentração de nitrato no solo das colunas 1 e 2, que foram alimentadas com água destilada, reduziram ao final do experimento, visto que parte do nitrato do solo lixiviou. Já a concentração de nitrato nas colunas 3 e 4 aumentou ao longo do experimento, mostrando que parte do nitrogênio do esgoto foi incorporado no solo na forma de nitrato.

De forma geral, se observou aumento na quantidade de nitrogênio no solo das colunas alimentadas com efluente, o que é um aspecto positivo para a fertilidade do solo. Sendo que na Coluna 3 todo o nitrogênio se apresentou na forma de nitrato combinado a uma grande parcela proveniente do efluente. Já na Coluna 4, todo o nitrogênio presente, também na forma de nitrato, foi proveniente do próprio solo, e de acordo com os dados, não houve acúmulo de nitrogênio oriundo do efluente.

A Tabela 17 apresenta os dados referentes aos parâmetros nutricionais do solo avaliado antes e depois da aplicação de efluente e água destiladas nas colunas de lixiviação. Não foram observadas diferenças ao final do experimento para os parâmetros pH, cálcio, magnésio e alumínio. Um aspecto positivo destes resultados foi em relação ao elemento alumínio, que é um metal pesado e tóxico e que mesmo após a aplicação do esgoto não foi detectado no solo. Isto prova que não houve contribuição de efluentes industriais na rede de esgoto doméstico.

O cálcio (Ca^{+2}) é tido como um macro nutriente secundário e promove redução da acidez do solo, melhorando, dessa forma, a atividade dos micro-organismos que atuam no melhoramento do crescimento das raízes e no aumento da disponibilidade de molibdênio e demais nutrientes, além de diminuir a toxicidade provocada pelo alumínio, cobre e manganês.

O cálcio inicialmente é adsorvido nos coloides, passando para a solução do solo e finalmente absorvido pelas plantas. O cálcio não é elemento sujeito facilmente à lixiviação, dessa forma, os resultados de cálcio praticamente constantes no solo bruto e no solo das colunas de lixiviação demonstra que não havia concentrações significativas deste elemento no efluente utilizado para alimentar as mesmas (LOPES, 1998).

Em relação ao elemento fósforo, corroborando com os dados do lixiviado (TABELA 14), ocorreu uma incorporação do elemento no solo, nas colunas 3 e 4, em torno de 58% e 44%, respectivamente. Este é um resultado promissor visto que houve aumento da fertilidade do solo também em relação ao fósforo.

Tabela 17. Parâmetros nutricionais

Parâmetros	Solo Bruto	Solo Coluna 1 (Água Destilada)	Solo Coluna 2 (Água Destilada)	Solo Coluna 3 (Efluente)	Solo Coluna 4 (Efluente)
P (mg/dm ³)	43,0	37,0	47,0	68,0	62,0
pH	8,0	8,3	8,4	8,1	7,8
Ca ⁺² (cmolc/dm ³)	11,2	11,2	10,1	10,0	9,5
Mg ⁺² (cmolc/dm ³)	2,90	3,15	3,80	2,30	2,35
Na ⁺ (cmolc/dm ³)	0,07	0,20	0,18	1,20	1,30
K ⁺ (cmolc/dm ³)	0,13	0,13	0,14	0,26	0,28
Al ⁺³ (cmolc/dm ³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺ (cmolc/dm ³)	1,07	0,16	0,16	0,06	0,41
S (cmolc/dm ³)	14,30	14,70	14,30	13,60	13,40
CTC (cmolc/dm ³)	15,40	14,90	14,40	13,60	13,40
V %	93,00	99,00	99,00	99,00	97,00
m %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2017.

Onde:

P = Fósforo

Ca⁺²= Cálcio (íon)

Mg⁺²= Magnésio (íon)

Na⁺= Sódio (íon)

K⁺= Potássio (íon)

Al⁺³= Alumínio (íon)

H⁺= Hidrogênio (íon)

S= Soma de Bases Trocáveis (Ca⁺² + Mg⁺² + K⁺ + Na⁺)

CTC= Capacidade de Troca Catiônica (Ca⁺² + Mg⁺² + K⁺ + Na⁺ + Al⁺³ + H⁺)

V= Índice de Saturação por Bases [(S/CTC)*100]

m= índice de Saturação por Al³⁺

Em relação ao sódio, ocorreu um aumento em todas as colunas. Nas colunas 1 e 2, mesmo a água sendo destilada ela apresenta condutividade e baixa concentração de sais. Nas colunas 3 e 4 o aumento de sódio foi mais expressivo.

De forma geral, ocorreu um aumento nas concentrações de potássio e sódio nas quatro colunas de lixiviação, sendo observados aumentos maiores para as colunas que foram alimentadas com efluente (Colunas 3 e 4). O aumento desses dois elementos interfere diretamente no risco de salinização do solo. No entanto, mesmo com o aumento do potencial de salinização, os teores de sódio se mantiveram dentro do limite considerado saudável por Albrecht (1975), de no máximo 1%.

O potássio (K^+) é absorvido pelas plantas na forma de íon e sua concentração é mantida em equilíbrio com o potássio retido nos sítios de troca. Ao contrário do fósforo, o potássio não é fixado no solo, por isso é sujeito às perdas por lixiviação, principalmente em solos ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica, erosão e remoção de colheitas. Em solos saudáveis, as concentrações de sódio (Na^+) apresentam valores nulo ou bem próximo à zero.

De acordo com Lopes (1998), a capacidade de troca catiônica (CTC) representa a graduação da capacidade do solo de liberação de nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por longo período e reduzindo a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes. De forma geral, um solo que apresenta a CTC formada principalmente por (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+) é um solo tido como bom para a nutrição das plantas, já um solo cuja CTC formada principalmente por (H^+ e Al^{3+}) é considerado um solo pobre. Em relação ao índice de saturação por bases (V), pode-se adotar a seguinte relação:

$$\begin{aligned} V(\%) \geq 50\% &\rightarrow \text{Solo Eutrófico} \rightarrow \text{Fértil} \\ V(\%) \leq 50\% &\rightarrow \text{Solo Distrófico} \rightarrow \text{Infértil} \end{aligned}$$

Pela análise da Tabela 17 foi possível observar que os valores de CTC (capacidade de troca catiônica) e de S (soma de bases trocáveis) diminuíram, o que provocou aumento de V (índice de saturação por bases), o que indica que o solo tornou-se mais fértil. No entanto, o solo mesmo antes da aplicação do efluente, já estava acima das condições ideais de fertilidade (V% entre 50 e 80% e pH entre 6,0 e 6,5), desta forma, o aumento da fertilidade no solo estudado foi positiva e o uso de efluente para melhoria dos atributos do solo é viável. No entanto, um estudo futuro com um solo menos fértil confirmaria essa possível conclusão.

8. CONCLUSÃO

Os valores de cor e turbidez demonstram que houve grande remoção de cor e turbidez, o que demonstra que o solo atuou de forma eficaz como filtro, removendo matéria orgânica e materiais particulados e dissolvidos presentes no efluente, acarretando numa maior segurança ambiental em relação à contaminação de aquíferos.

De acordo com os resultados de DQO, foi possível afirmar que houve redução das concentrações de DQO no lixiviado das colunas alimentadas que demonstra que houve incorporação de matéria orgânica no solo, reafirmando o potencial de filtração do solo e a diminuição de possível contaminação que o lançamento do efluente no emissário pudesse causar.

O aumento dos teores de fósforo e nitrogênio presentes nos solos das colunas alimentadas com efluente e, conseqüentemente a diminuição das concentrações desses elementos nos lixiviados, indicam que houve diminuição do potencial de causar contaminação nos aquíferos. O aumento da presença destes elementos no solo é fundamental para a nutrição das plantas e conservação da fertilidade.

A condutividade elétrica, do efluente e dos lixiviados, apresentou valores adequados para irrigação, de acordo com padrões internacionais e apesar, do ligeiro aumento de salinidade observada no solo, após a aplicação do efluente tratado, o mesmo não apresenta risco de salinização.

Houve aumento na fertilidade do solo das colunas de lixiviação após a alimentação com o efluente tratado, o que indica que esta técnica é viável e pode ser utilizada para recuperação e aumento de teores de fertilidade em solos inférteis, desde que se faça estudo preliminar da condição inicial do solo que se pretende trabalhar de modo a escolher de forma acurada o tipo de efluente utilizado para alimentação, que atenda aos parâmetros nutricionais necessitados pelo solo.

REFERÊNCIAS

1. Albrecht, William A. The Albrecht Papers. Vol II, *Soil Fertility and Animal Health*, Acres USA, 192 pgs, 1975.
2. ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, p.37-154, 2013.
3. ANDRADE, C.W.L. 2014; **Caracterização Hidrodispersiva de um Planossolo Háplico do Semiárido sob Reúso Agrícola**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado – Recife, p.12-17, 2014.
4. BAHRI, Akissa; BRISSAUD, François. Wastewater reuse in Tunisia: assessing a national policy. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 10-11, p. 87-94, 1996.
5. BASTOS, R.K.X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C.A.L. ; FLORÊNCIO, L.; MONTEGGIA, L.O; SPERLING, M.V.; AISSE, M.M.; BEVILACQUA, P. D. ; PIVELLI, R. P. **Subsídios à Regulamentação do Reúso da Água no Brasil - Utilização de Esgotos Sanitários Tratados para Fins Agrícolas, Urbanos e Piscicultura**. Revista DAE, v. 1, p. 50-62, 2008.
6. BERNARDI, Cristina Costa. Reuso de água para irrigação. **Monografia) Especialização Lato-Sensu modalidade MBA. Programa de Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada. Área de concentração em Planejamento Estratégico. ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, DF. 52p, 2003.**
7. BRAGA B.; HESPANHOL I.; CONEJO J.G.L.; BARROS M.T.L.; SPENCER M.; PORTO M.; NUCCI N.; JULIANO N.; EIGER S., 2003. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª Edição. São Paulo, Prentice Hall, 2005.
8. BROCK, T. et al. Microbiologia de Brock. 2010.
9. CAVALCANTI, F.J.A. 2008. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA. Recife, PE. p.5-9, 31-36, 81, 2008.
10. CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. In: **Mecânica dos solos e suas aplicações**. LTC, 1981.
11. COHIM, E. Polimento de efluente de UASB com filtros intermitentes de areia. Dissertação (mestrado). UFBA. 2006.

-
12. DUARTE, A.S., 2006; **Reúso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão**. Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. Tese (Doutorado) – Piracicaba, p.19-17, 2006.
 13. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos – CNPS. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, p. 3,15-36, 83-113, 153-159 e 173-175, 1997.
 14. FABY, J. A.; BRISSAUD, F.; BONToux, J. Wastewater reuse in France: Water quality standards and wastewater treatment technologies. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 4-5, p. 37-42, 1999.
 15. FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with sewage effluent. **Advanced Series in Agricultural Sci**, v. 17, 1991.
 16. FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M.(coord). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. FINEP/PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. 2006.
 17. GALLO, L.A.; Metabolismo do Nitrogênio Ciclo do Nitrogênio. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2013.
 18. HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, 2006.
 19. HESPAÑHOL, I. **Potencial de Reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (editores). Reúso de água. São Paulo: NISAM-USP, p. 37, 38, 58-72, 2003.
 20. JEONG, Hanseok; KIM, Hakkwan; JANG, Taeil. Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: a contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. **Water**, v. 8, n. 4, p. 169, 2016.
 21. LOPES, A. S. Manual Internacional de Fertilidade do Solo. rev. e amp. **Piracicaba: Potafos**, 1998.
 22. MARMO, A.M.C.B.; CYMROT, R. **A aplicabilidade do tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização no Reúso de águas**. Santos: Revista Global Congress on Manufacturing and Management, 263p., 2006.
 23. MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N. **Modelo para simulação dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.235-241, 2002.

-
24. MONTE, H.M.; ALBUQUERQUE, A. (editores). **Reutilização de Águas Residuais**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal, 44p., 2010.
 25. PINHO, R.E.C. 2009; **Teores de água e solutos no solo: desempenho e sensibilidade no modelo Hydrus-1D**. Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. Dissertação de Mestrado – Piracicaba, p.32-35., 2009.
 26. SANTOS, J.S.; LIMA, V.L.A.; JÚNIOR, J.C.F.B.; SILVA, L.V.B.D.; AZEVEDO, C.A.V. **Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Vol. 14, nº 11. Campina Grande, p.1227-1233, 2010.
 27. SANTOS, A.P.R.; **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado rico em sódio em propriedades químicas e físicas de uma argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-tifton 85**. Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. Dissertação de Mestrado – Piracicaba, p.27-28, 2004.
 28. SEMURA, K. A.; RICCITELLI, M.; GONÇALVES, M. C. Estudo para Implantação de Reúso e Proposição de Parâmetros de Qualidade para Usos Urbanos Não Potáveis a Partir das ETE’s da RMSP. In: **Anais do WORKSHOP USO E REUSO AGUAS RESIDUARIAS E SALINAS**. Viçosa, MG. 2007.
 29. SILVA, L.P. **Influência do íon acompanhante nos parâmetros de nitrato no solo**. Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. Dissertação de Mestrado – Piracicaba, p.19-17 e 30-33, 2013.
 30. SILVA, E.M. **Solução Híbrida da Equação de Advecção-Dispersão em meios porosos**. Universidade Federal do Pará. Dissertação de Mestrado – Belém, p.19-17, 2013.
 31. TAVARES, V.E.Q., 2007; **Sistemas de irrigação e manejo de água na produção de sementes**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e tecnologia de Sementes. Tese de Doutorado – Pelotas, p.24-28, 2007.
 32. TAVARES, S.R.L., Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Curso de Recuperação de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Embrapa Solos**. 4p., 2008.
 33. TELLES, Dirceu D.; COSTA, R. H. P. G. Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas. **São Paulo: Editora Blucher**, v. 2, 2007.
 34. TELLES, D.L.; SALES, A.W.C. **Aspectos ambientais, sociais e jurídicos do Reúso de água**. Revista de Gestão Social e Ambiental, Fortaleza, v. 3, p.4-19, set./dez. 2009.

-
35. TRENTIN, Clodoveu Valdeni. **Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba-PR**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.
 36. USEPA – U.S.Environmental Protection Agency. Guidelines for water reuse. Agency for International Development. Washington, DC, 2004.
 37. VIEIRA, A.R. **Água para Todos: Livro das Águas**. Brasília: WWF-Brasil, p. 12p, 37p., 2006.
 38. VITTORATO, E.; SILVA, J.O.P. Reuso de agua na industria. Informativo CRQ-IV, mar-abr 2004, Versao resumida. Disponível em: www.crq4.org.br/informativo/abril_2004/pagina09.php. Acesso em 12 de Dezembro de 2016.
 39. VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Volume 3: Lagoas de Estabilizacao**. Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte. 1.ed. 1996.
 40. WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report, series n. 778. Geneva, Switzerland:, p.72, 1989.