



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Monografia Científica
Análise Qualitativa da Água Drenada para o Rio Limpopo Resultante das Actividades
Agrícolas no Regadio de Chókwé

Monografia apresentada e defendida como requisito para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia
Hidráulica, Agrícola e Água Rural

Autor: Heldemiro Afonso Chauque

Tutor: Eng.º: Lateiro Salvador de Sousa, PhD.

Lionde, Dezembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia de investigação sobre “*Análise qualitativa da água drenada para o rio Limpopo resultante das actividades agrícolas no regadio de Chókwé*” apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural, na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia científica defendida e aprovada no dia 26 de Novembro de 2021

Júri

Supervisor

Lateiro Salvador de Sousa

(Eng.º: Lateiro Salvador de Sousa, PhD)

Avaliador (1)

Paulo Sérgio Lourenço Saveca

(Eng.º: Paulo Sérgio Lourenço Saveca, MEngSc.)

Avaliador (2)

Salimo Herinques Muchecua

(Eng.º: Salimo Herinques Muchecua, MEngSc)

Lionde, Dezembro de 2021

Índice

INDICE DE TABELAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/ACRÓNIMOS.....	vii
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema e Justificativa.....	2
1.2. Objectivos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Drenagem Agrícola.....	4
2.2. Poluição hídrica e suas fontes.....	5
2.3. Processos e factores determinantes na qualidade da água.....	6
2.4. Soluções ecológicas para a gestão de águas residuárias.....	8
2.5. Qualidade da Água.....	9
2.5.1. Qualidade da água para irrigação.....	9
2.6. Indicadores de qualidade da água.....	10
2.6.1. Indicadores físicos de qualidade da água.....	10
2.6.2. Indicadores químicos de qualidade da água.....	11
2.6.3. Indicadores biológicos de qualidade da água.....	16
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. Descrição da Área de Estudo.....	19
3.2. Levantamento de dados e actividades de campo.....	20
3.3. Análises Laboratoriais.....	20
3.3.1. Análises Físicas.....	20

3.3.2. Análises Microbiológicas.....	21
3.3.3. Análises Químicas	21
3.4. Teste estatístico	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Análise de correlação dos parâmetros da Vala 3 e a Jusante do ponto de descarga no rio....	23
4.2. Análise de correlação dos parâmetros de qualidade da água da Vala 11 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no rio	24
4.3. Parâmetros de qualidade ambiental	25
4.4. Parâmetros de qualidade da água para irrigação.....	31
4.4.1. Parâmetros Físicos	31
4.4.2. Indicadores químicos de qualidade da água.....	35
4.5. Alternativas sustentáveis para a gestão de águas residuárias.....	41
5. CONCLUSÃO	43
6. RECOMENDAÇÕES.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
8. APÊNDICES	50

INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da condutividade eléctrica na água para irrigação.....	10
Tabela 2: Classificação da dureza na água para irrigação.....	11
Tabela 3: Representação dos valores do coeficiente de Person (r).....	16
Tabela 4: Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a vala 3 e a jusante do ponto de descarga.....	21
Tabela 5: Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a vala 11 e a jusante do ponto de descarga da mesma.....	22
Tabela 6: Resultados das análises da primeira e segunda colecta de dados.....	46
Tabela 7: Resultados das médias da primeira e segunda colecta de dados.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do distrito de Chókwé inserido na província de Gaza e suas respectivas coordenadas.....	19
Figura 2: Gráfico de Correlação entre os parâmetros da vala 3 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no leito do rio.....	23
Figura 3: Gráfico de Correlação entre os parâmetros da vala 11 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no leito do rio.....	25
Figura 4: Gráfico das médias de OD, na Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	26
Figura 5: Gráfico das médias de DBO, na Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e Jusante.....	27
Figura 6: Gráfico das médias de DQO, da Vala 3, montante, jusante, Vala 11, montante e jusante.....	29
Figura 7: Gráfico das médias de CT, da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	30
Figura 8: Gráfico das médias de CF, da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	31
Figura 9: Gráfico das médias de pH da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	32
Figura 10: Gráfico das médias da CE da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	33
Figura 11: Gráfico das médias de TSD da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	34
Figura 12: Gráfico das médias da Turbidez da água da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	35
Figura 13: Gráfico das médias de Nitratos nas águas da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	36
Figura 14: Gráfico das médias de Fósforo Total da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.....	37
Figura 15: Gráfico das médias de Nitrogénio Total da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e Jusante.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/ACRÓNIMOS

µs/cm	Microsiemens por Centímetro
ufc	Unidade de Formação de Colónias
mg/l	Miligramas por litros
pH	Potencial Hidrogenionico
CE	Condutividade Eléctrica
Tur	Turbidez
OD	Oxigénio Dissolvido
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
CT	Coliformes Totais
CF	Coliformes Fecais
Nis	Nitratos
Du	Dureza
Mg	Magnésio
N	Nitrogénio
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigénio
P	Fósforo
DBQ	Demanda Química de Oxigénio
Jus val	Jusante da vala
Mont val	Montante da vala
VI	Vala



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado de minha investigação pessoal e das orientações dos meus tutores, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, Dezembro de 2021

Heldemiro Afonso Chaúque

(Heldemiro Afonso Chaúque)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Deoclíciana Emanuela Macie que nunca mediu esforço para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por estar presente na minha vida pelo tempo que mi proporcionou e tornar tudo possível.

A minha família que representa Amor incondicional, Confiança, Segurança e Amizade. Agradecimento especial a minha mãe, que possibilitou toda a minha formação académica, que ensinou me os princípios de convivência, transmitindo sempre a maior confiança, compreensão e apoio nas minhas decisões.

Aos meus irmão Ecclesiana Stélia, e Dário Manuel, a minha avo Isaura Tui, ao meu tio Juscelino Etelvino Alice, pelo apoio que deram me durante os estudos, ao Mcs Agostinho Júnior Mahanjane pelo apoio que proporcionou me durante os 4 anos.

Aos meus amigos e colegas que tive o privilégio de os conhecer ao longo desta caminhada. Uma menção especial a Jotamo Tinga, Egidio Notisso, Nelson Zefanias, Sérgio Buramo e Alberto Quibe.

Ao Eng^o. Lateiro Salvador de Sousa, pela sua grande ajuda e disponibilidade ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Para todos aqueles que directa ou indirectamente, contribuíram para que este trabalho fosse possível, endereço o meu agradecimento.

RESUMO

O presente trabalho representa um estudo da análise da qualidade da água drenada para o leito principal do Rio Limpopo resultante das actividades agrícolas no regadio de Chókwè. O trabalho teve como objectivo avaliar a influência dos efluentes agrícolas drenados para o Rio Limpopo na qualidade da água a jusante dos pontos de descarga das valas 3 e 11, no rio. Para o desenvolvimento deste trabalho foram colectadas 12 amostras em duas colectas com intervalos de um mês, e determinou-se; pH, CE, Turbidez, OD, TSD, Coliformes Totais e Fecais, Nitratos, Dureza, Ca^{2+} , Mg^{2+} , N^+ , P, DBQ e DQO. Através da análise de correlação de Pearson estudou-se a relação entre estes parâmetros da vala com a jusante e montante do leito do rio. O estudo mostrou que o rio é muito influenciado pelas descargas das valas de drenagem. O coeficiente de Pearson em relação a concentração dos parâmetros da Vala 3 e a jusante foi de ($r = 0.981$) e da Vala 11 e a jusante foi de ($r = 0.979$). Os parâmetros de qualidade ambiental da água sugerem, que parâmetros analisados para o uso da água na irrigação, estiveram dentro dos limites admitidos pela FAO. Espera-se que esta pesquisa sirva de base para o início de uma discussão profunda ao mesmo tempo que estimule a realização de mais estudos relacionados a influência da drenagem agrícolas nos rios.

Palavra-chave: Qualidade da água; Drenagem agrícola; Sistema de Regadio de Chókwè; Leito principal do rio Limpopo

ABSTRACT

The present work represents a study of the analysis of the quality of water drained into the main bed of the Limpopo River resulting from agricultural activities in the Chókwè irrigation system. The aim of this work was to evaluate the influence of agricultural effluents drained into the Limpopo River on the water quality downstream of the discharge points of trenches 3 and 11, in the river. For the development of this work, 12 samples were collected in two collections at intervals of one month, and it was determined; pH, EC, Turbidity, DO, TSD, Total and Fecal Coliforms, Nitrates, Hardness, Ca^{2+} , Mg^{2+} , N^+ , P , DBQ and COD. Through Pearson's correlation analysis, the relationship between these ditch parameters with the downstream and upstream of the river bed was studied. The study showed that the river is heavily influenced by discharges from drainage ditches. The Pearson coefficient in relation to the concentration of the parameters of Trench 3 and downstream was ($r = 0.981$) and from Trench 11 and downstream was ($r = 0.979$). The parameters of environmental water quality suggest that the parameters analyzed for the use of water in irrigation were within the limits accepted by FAO. It is hoped that this research will serve as a basis for initiating a deep discussion while stimulating further studies related to the influence of agricultural drainage on rivers.

Keyword: Water quality; Agricultural drainage; Chókwè Irrigation System; Main Limpopo riverbed

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e as actividades humanas têm sido um dos factores responsáveis pela poluição dos recursos hídricos. Os rios tornam-se ao longo dos anos depósitos de rejeito e resíduos de diversas formas, tais como: os esgotos domésticos, as águas residuárias provenientes de actividades pecuárias, que contribuem com elevadas cargas orgânicas, para além disso, as indústrias com uma série de compostos sintéticos e elementos químicos potencialmente tóxicos; e as actividades agrícolas, com a contaminação por pesticidas e fertilizantes ricos em sais minerais, constituem fontes de poluentes (Borges, 2019).

Na maioria dos países em desenvolvimento, como Moçambique a maior parte do esgoto bruto (tanto doméstico, industrial como efluentes agrícolas) é lançado sem tratamento prévio nos cursos de água. Essa grande quantidade de matéria orgânica e de poluentes têm sido relatados como principais responsáveis pela eutrofização de grande variedade de ambientes aquáticos, gerando preocupação crescente devido ao alto grau de poluição em que se encontram hoje os rios e ambientes de água doce (Tavares *et al.*, 2018).

Um dos recursos mais utilizados pelos agricultores para elevar a produtividade agrícola é o uso de agro-tóxicos e fertilizantes. Agro-tóxicos quando aplicados podem contaminar o solo e os sistemas hídricos, culminando numa degradação ambiental que teria como consequência prejuízos à saúde e alterações significativas nos ecossistemas aquático (Zanini, 2012).

Devido ao intenso e diversificado uso dos rios, lagos e suas bacias hidrográficas, há necessidade de serem definidas formas para o manejo sustentável e gestão desses ecossistemas. Para isso, torna-se necessária monitoração sistemática, que resulta em séries temporais de dados que permitem avaliar a evolução da qualidade dos corpos de água e conhecer as tendências de sua variação (Soares, 2015).

Actualmente, a eutrofização é reconhecida como um dos problemas mais importantes concernentes à qualidade de água. Dentre os factores que influenciam a eutrofização, além das concentrações de fósforo e nitrogénio, podem ser citados a velocidade da água, o caudal, a turbidez, a profundidade do curso de água, a temperatura entre outros (Lamparelli, 2004).

Desse modo o presente estudo visou estudar a qualidade da água drenada para o rio Limpopo, resultante das actividades agrícolas no regadio de Chókwé. Para o efeito foram, tomados em conta alguns pontos localizados tanto a montante assim como a jusante, em relação ao ponto de descarga das valas de drenagem.

1.1. Problema e Justificativa

O regadio de Chókwé possui em sua extensão várias valas de drenagem por onde é drenado o excesso de água dos campos para o rio, podendo esse excesso possuir resíduos de pesticidas e fertilizantes usados para o controle de pragas e aumentar a capacidade nutritiva do solo nos campos, alguns destes com potencial risco de contaminação dos cursos de água, podendo em consequência disso causar a eutrofização, assim como a deterioração da qualidade da água do rio.

Pesquisas relacionadas ao estudo da qualidade da água de drenagem não tem sido aprofundados com frequência no regadio de Chókwé, devido a isso não se sabe a situação passada e actual da qualidade da água de drenagem, assim como os impactos que a mesma pode estar a causar no corpo de água receptor. Essas são as razões que levaram a concluir que há uma necessidade de se fazer um monitoramento periódico de modo a se estimar o nível de poluentes que podem estar a ser drenados no rio, assim como a elaboração de mecanismos sustentáveis para a para a gestão de efluentes agrícolas, visto que actualmente a maior parte dos países luta contra as alterações climáticas e ambientais causadas pelas actividades humanas. Este estudo trará vários benefícios pós possibilitara a estimativa da quantidade de poluentes que podemos estar a gerar impactos negativos no ambiente.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

- Analisar a qualidade da água drenada para o rio Limpopo, resultante das actividades agrícolas no regadio de Chókwé.

1.2.2. Específicos

- Determinar as concentrações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, na água drenada para o rio;
- Comparar a qualidade de água do rio com a dos drenos descarregadores; e
- Propor mecanismo sustentável, de gestão de águas residuárias de efluentes agrícolas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Drenagem Agrícola

A drenagem agrícola tem, como finalidade, criar um ambiente favorável para o desenvolvimento das plantas e preservar as propriedades químicas e físicas do solo. A drenagem agrícola possibilita um ambiente favorável para o desenvolvimento das raízes das plantas, entretanto, a drenagem não deve ser excessiva, pois pode reduzir a quantidade de água disponível no solo para a planta e intensificar a lixiviação de nutrientes e fertilizantes no solo, com potencial risco de poluir os cursos de água e o lençol freático, além de aumentar o investimento por unidade de área (Pompeu *et al.*, 2016).

Em áreas de produção agrícola é comum a existência de condições desfavoráveis para a produção, provocadas pelas precipitações pluviométricas, principalmente em zonas baixas e nas de irrigação intensa, ocorrem frequentemente inundações, o que pode causar perdas na produção agrícola, dificuldades de manejo do solo e, nas áreas irrigadas, além dos danos acima mencionados pode haver salinização, principalmente na região semiárida, com seus efeitos prejudiciais sobre o solo, podendo causar a perda da culturas no campo, tornando a necessidade de drenagem (Pedrotti *et al.*, 2015).

2.1.1. Drenagem Superficial

A drenagem superficial é aquela que tem a função de remover o excesso de água gravitacional da superfície do solo, e ainda eliminar o excesso de água presente na superfície do solo em um período de tempo compatível com a tolerância das culturas não permitindo que a produção agrícola seja prejudicada por falta de arejamento no solo (Mesquita *et al.*, 2015).

2.1.2. Drenagem Subterrânea

A drenagem subterrânea tem como objectivo rebaixar o lençol freático com a finalidade de propiciar, ao cultivo, condições favoráveis de humidade, aeração, manejo agrícola e de prevenir a salinização ou remover o excesso de sais. Desta forma, a drenagem interna facilita a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, criando condições favoráveis para a aeração da parte radicular da planta (Mesquita *et al.*, 2015).

2.2. Poluição hídrica e suas fontes

A poluição dos recursos hídricos provém de processos naturais e de praticamente todas as actividades humanas. As cargas de poluentes provenientes das actividades humanas podem ser classificadas de acordo com a sua proveniência, podem ser doméstica, agrícola e industrial, cada uma destas produzem poluentes específicos, que apresentam diferentes implicações na qualidade do corpo receptor. A concentração de uma determinada substância, assim como o tipo de meio de poluição o respectivo uso das águas que a recebe, são factores significantes para a determinação dos impactos que o mesmo provocará no ambiente aquático (Anjinho, 2019).

Segundo Mansor (2005), os poluentes que são transportados até aos recursos hídricos podem ser de natureza rural, urbana ou atmosférica. Esses contributos recebidos pelos ambientes aquáticos podem ser de fontes pontuais e difusas.

2.2.1. Fontes pontuais

Fontes pontuais de poluição são caracterizadas por uma descarga concentrada, em um ponto bem definido, como a saída de uma tubulação, valas de drenagens urbanas e agrícolas. As principais contribuições desta natureza a sistemas de esgotos sanitários urbanos não tratados ou parcialmente tratados, drenagem de campos agrícolas e descargas industriais (Dellamatrice *et al.*, 2014).

Devido a suas características de facilidade de identificação e quantificação do volume efluente, os esforços para preservação dos recursos hídricos das últimas décadas foram voltadas, principalmente, para as fontes de poluição pontuais, no entanto ainda hoje estas fontes de cargas tradicionais de poluentes são motivos de preocupação tanto em países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento (Camelo *et al.*, 2020).

2.2.2. Fontes não pontuais

De acordo com Novotny (2003), as condições que caracterizam as fontes de poluição não pontuais, ou difusas podem ser definidas da seguinte forma:

O lançamento da carga poluidora está relacionado basicamente a precipitação e ao uso do solo na bacia hidrográfica;

As cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque não é possível identificar exactamente a sua origem;

É difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento de efluentes, uma vez que a carga poluidora que é lançada, varia de acordo com a intensidade e duração dos eventos meteorológicos, a extensão da área de produção naquele evento específico, entre outros factores.

As cargas difusas ocorrem em áreas de grandes dimensões e de formas aleatórias. Geralmente estão associadas às precipitações pluviométricas, em que o escoamento da água da chuva, em áreas urbanas e agrícolas, arrastam os poluentes aos cursos de águas superficiais. Esse arrastamento ocorre de forma descontínua, o que torna impossível o levantamento de padrões de lançamento, seja em termos da frequência, quantidade assim como a composição. (Barros, 2008).

2.3. Processos e factores determinantes na qualidade da água

2.3.1. Autodepuração

Na natureza ocorre um importante fenómeno chamado autodepuração, em que o rio elimina dinamicamente as transformações químicas e biológicas causadas pelo homem, recuperando gradualmente as suas características anteriores. O ecossistema de um corpo de água, antes de lançamento de despejos, encontra-se usualmente em um estágio de equilíbrio (Mendonça *et al.*, 2020).

Por este ser um fenómeno acontecer ao longo do tempo e da direcção longitudinal do curso de água, podemos identificar fisicamente, em ordem de ocorrência a partir do momento de lançamento do poluente quatro zonas distintas no rio durante este processo: a zona de degradação é caracterizada pela alta concentração de matéria orgânica na água; a zona de decomposição activa é designada por este nome devido a grande actividade microbiológica de decomposição da matéria orgânica, fazendo com que as águas atinjam níveis críticos de concentração de oxigénio dissolvido; zona de recuperação e nesta etapa onde há um restabelecimento do equilíbrio anterior a poluição; e a zona de águas limpas onde o rio recupera novamente as características físicas e biológicas como as anteriores ao início do processo de poluição equilíbrio (Mendonça *et al.*, 2020).

2.3.2. Estratificação térmica e inversa

Os fenômenos de estratificação e inversão térmica também são muito dependentes da temperatura e do tempo de permanência e são especificados por Becker *et al.*, (2020), a seguir: Durante o verão e os meses mais quentes do ano, a temperatura da camada superficial é mais elevada que a temperatura do fundo devido a radiação solar, o que faz com que a densidade da água na superfície fique inferior a densidade da camada do fundo. Desta maneira formam se camadas diferentes no corpo de água: o epilimnio e a camada superior, mais quente, menos densa e onde há maior circulação; metalimnio é a camada de transição onde há um forte gradiente de temperatura (termoclina); e o hipolimnio e a camada inferior, mais fria, mais densa e de maior estagnação. A diferença da densidade é muito significativa que causa uma completa estratificação no corpo de água com três camadas. Esta estratificação exerce grande influencia na qualidade da água que depende muito do grau de trofia do corpo de água, poderá ainda haver uma ausência completa de oxigênio dissolvido no hipolimnio. Em decorrência disto esta camada torna se um ambiente reduzido de elementos como ferro, manganês, amônia e outros.

Com a chegada do tempo frio, há um completo resfriamento da camada superficial da água, provocando uma certa homogeneização da temperatura ao longo de toda a profundidade envolvida. A camada superior subitamente resfriada tende a deslocar-se ao fundo devido a sua maior densidade, deslocando a camada inferior a superfície da água e causando o fenômeno de inversão térmica. A reintrodução desta massa de água com pouco ou nenhum oxigênio dissolvido pode ser causadora de uma grande deterioração da qualidade da água na superfície, prejudicando as espécies aquáticas aeróbias (Becker *et al.*, 2020).

2.3.3 Uso de parâmetros em estudos de qualidades de água

Ponce, (2017), afirma que quando se quer monitorar, analisar ou modelar a qualidade da água em uma bacia hidrográfica deve se seleccionar os parâmetros a serem medidas no estudo. Para a definição dos parâmetros da qualidade a serem utilizados na modelagem matemática da qualidade da água devem ser consideradas: A facilidade de monitoramento do parâmetro e disponibilidade de dados históricos, para a comparação; As possibilidades de simulação do poluente através de um modelo matemático e estatístico; E a representatividade do parâmetro

como indicador das fontes de poluição e dos processos que ocorrem nos cursos de água (Schneider, 2017).

2.4. Soluções ecológicas para a gestão de águas residuárias

2.4.1. Sistemas de lagunagem

Os sistemas de lagunagem (lagoas de estabilização), consistem no tratamento em lagoas, sem necessidade de intervenção de meios mecânicos. As lagoas classificam-se em aeróbias, anaeróbias, maturação e facultativas, consoante as características de degradação da matéria orgânica; quanto à natureza do efluente, os sistemas podem ser primários ou secundários. É dos sistemas de tratamento mais utilizados nos países em via de desenvolvimento, por ser uma das técnicas que exige menos custos de investimento e manutenção (Jane, 2017).

Esta técnica, baseia-se na simbiose de algas e bactérias que têm a capacidade de estabilizar a matéria orgânica. Na presença da energia solar, as algas produzem oxigénio que vai permitir às bactérias efectuarem a degradação da matéria orgânica existente no meio, em condições aeróbias (Sperling, 2002). Lagoas de Maturação São utilizadas como tratamento terciário ou de recuperação antes da descarga do efluente no meio ambiente, ou seja são utilizadas para o tratamento de afinação do efluente: os microrganismos são removidos e o azoto é transformado em nitrato. Estas lagoas são menos profundas para permitir a penetração da radiação ultra-violeta e o tratamento é feito em condições aeróbicas (Jane, 2017).

2.4.2. Leitos de macrófitas

Os leitos de macrófitas incorporam lagoas capazes de desenvolverem abundantes macrófitas, que promovem o processo de oxidação da matéria orgânica presente nas águas residuais. As lagoas são geralmente instaladas na sequência de um tratamento primário por decantação, em fossa séptica, para remoção de sólidos suspensos. Esta técnica de tratamento é bastante complexa e baseia-se em processos químicos, físicos e biológicos que reduzem a concentração dos poluentes. A principal função das plantas é fornecer o oxigénio no solo e na água, possibilitando o desenvolvimento dos microrganismos aeróbicos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Contribui igualmente para a remoção dos nutrientes, eliminação de microrganismos patogénicos indesejados como o caso dos fenóis, bem como dos metais pesados. Este processo

tem como vantagem a elevada eficiência do tratamento, ser um sistema em regra economicamente viável, promove a biodiversidade local, sendo ainda sistemas auto suficientes e ecologicamente equilibrados (Jane, 2017).

2.5. Qualidade da Água

A qualidade da água pode ser definida em função das condições naturais assim como do uso e ocupação do solo ao longo das bacias hidrográficas. Mesmo com as condições naturais de preservação da bacia, a composição da água pode ser afectada pelo escoamento superficial e pela infiltração da mesma no solo, devido a precipitação atmosférica. A interferência humana em relação a drenagem de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, contribui de forma significativa para a introdução de compostos na água alterando assim a sua qualidade (Araújo, 2021).

A água em condições naturais não tem qualidade específica, depende do contexto para o qual é usada, pois sua adequabilidade para irrigação depende tanto da sua própria qualidade assim como de factores relacionados as condições específicas de uso. A mesma qualidade da água que é considerada adequada para um certo tipo de solo ou cultura, pode ser inadequada para outros. O uso de índices de qualidade da água é considerado uma tentativa que o programa de monitoramento de águas prevê como forma de acompanhar, por meio de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos que ocorre ao longo de uma bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (Araújo, 2021).

2.5.1. Qualidade da água para irrigação

Considera se qualidade da água às características que afectam a adaptabilidade da mesma para um certo uso, é a relação existente entre a qualidade da água e as necessidades do usuário. A qualidade da água pode ser definida através de uma ou mais características físicas, químicas e biológicas. Parâmetro como o sabor, pode ser considerado uma simples avaliação de aceitabilidade, mas na avaliação da qualidade da água para irrigação deve-se ter em consideração, as características químicas e físicas, em alguns casos factores microbiológicos são considerados importantes (Souza *et al.*, 2019).

Nem sempre a qualidade da água para irrigação é definida com perfeição. Na maioria das vezes, refere-se à salinidade em relação à quantidade de sólidos totais dissolvidos, que é expressa em miligramas por litro, partes por milhão assim como por meio da sua condutividade eléctrica. sendo assim para que se possa fazer correctamente a interpretação da qualidade da água de irrigação, é necessário que os parâmetros analisados estejam relacionados com seus efeitos no solo, na cultura assim como no manejo da irrigação, estes que serão necessários para controlar ou compensar o problemas relacionados a qualidade da água (Queiroz *et al.*, 2018).

2.6. Indicadores de qualidade da água

A água possui geralmente diversos componentes, que provêm do ambiente natural ou foram introduzidos através das actividades humanas. Para caracterizar a água são determinados diversos parâmetros, que representam as suas características, químicas, físicas e biológicas. Esses parâmetros são considerados indicadores da qualidade de água e tornam se impureza quando alcançam valores superiores aos que estão estabelecidos para determinado uso (Santos *et al.*, 2018).

Lima *et al.*, (2015), afirmam que o uso de indicadores de qualidade de água consiste no uso de variáveis que relacionam as alterações ocorridas na bacia hidrográfica, sejam estas de origens antrópicas (actividades humanas) ou naturais. Cada sistema lótico possui suas próprias características, o que torna difícil estabelecer uma única variável como um indicador padrão de qualidade de qualquer sistema hídrico. Seguindo esta directiva a busca em trabalhos de campo e a obtenção dos índices de qualidade da água que reflectam de forma objectiva as alterações, com foco nas intervenções humanas, como o uso urbano, agrícola e industrial.

Os principais indicadores de qualidade da água são descritos a seguir, divididos sob os aspectos físicos, químico e microbiológicos (Lima *et al.*, 2015).

2.6.1. Indicadores físicos de qualidade da água

a) Turbidez

Segundo Santos (2012) a turbidez é uma característica física da água, que ocorre devido a presença de substâncias em suspensão, finamente divididos ou em estado coloidal, assim como de microrganismos. O tamanho das partículas que causa a turbidez varia muito, desde colóides a

grosseiras, de acordo com o nível de turbulência do corpo hídrico em questão. A turbidez em águas para fins de irrigação varia de 0-100 NTU.

A turbidez pode ser de origem natural, partículas de argila, rochas, silte, algas e de outros microorganismos resultantes de despejos domésticos, industriais e erosão. Quando a turbidez é de origem natural não apresenta problemas sanitários, somente estéticos. Quando é de origem antrópica possivelmente esta relacionada a presença de substâncias tóxicas e organismos patogénicos. A turbidez diminui a penetração da luz, prejudicando o processo de fotossíntese em corpos de água (Silveira, 2017).

b) Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica (CE), mede a capacidade que a água possui de conduzir corrente eléctrica. Apresenta uma relação directa com espécies iónicas dissolvidas. Quanto maior for a concentração de iões dissolvidos maior será a CE. A condutividade eléctrica da água é o parâmetro mais importante para avaliar a salinidade da água, é a medida da capacidade dos iões presentes na água conduzirem electricidade e cresce conforme o aumento da concentração dos sais. A condutividade eléctrica mede a quantidade de sais que existe na coluna de água, constitui uma medida indirecta da concentração de poluentes (Costa, 2021).

Tabela 1: Classificação da condutividade eléctrica na água para irrigação.

Parametros	Classificação
CE(dS.m-1)	Problema de Salinidade
< 0.7	Nenhum
0.7-3.0	Moderado
>3.0	Severo

Fonte: (Costa, 2021).

2.6.2. Indicadores químicos de qualidade da água

a) pH (potencial hidrogeniônico)

O pH representa o equilíbrio entre iões H^+ e os iões OH^- na água, varia de 0 a 14, quando assume valores inferiores a 7 a água é classificada como ácida, se for igual a 7 é neutra se esta for

superior a 7 é alcalina. O pH na água depende de sua origem e também das características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos no corpo hídrico. Ela indica o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente aquático. Em relação a água para a irrigação, o pH normal está situado na faixa dos 6,5 e 8,4 (Ayers *et al.*, 1991).

b) Dureza

A dureza é resultante da presença de sais alcalinos terrosos (magnésio e cálcio) assim como de outros metais bivalentes em menor intensidade. Em teores elevados ela pode causar sabor desagradável, reduz a formação da espuma de sabão e aumenta o seu consumo, pode provocar incrustações em tubulações e caldeiras, (Lira. 2014).

Tabela 2: Classificação da dureza na água para irrigação

Parâmetro	Classificação
Dureza (mg/L) (CaCO ₃)	Problema
<50	Mole
50-150	Moderada
150-300	Dura
>300	Muito dura

Fonte: Silva *et al* (2011).

c) Fósforo

É importância a avaliação do fósforo presente nos ecossistemas aquáticos de modo a se estimar a produtividade primária, pois ele é em muitos dos ambientes, o factor que limita este processo. De forma resumida, o fósforo disponível nos ambientes aquáticos é um dos factores mais importantes para a regulação da produtividade de um sistema (Lamparelli, 2004).

São várias as formas de introdução do fósforo nos ambientes aquáticos mas todos eles advém das fontes naturais ou artificiais, tanto pontuais assim como difusas. As fontes naturais de fósforo em águas são as rochas assim como outros depósitos formados em idades geológicas passadas. Os fosfatos libertados pelas rochas através da acção do intemperismo são transportados pelas águas do escoamento superficial até atingirem os diferentes ecossistemas aquáticos. Dentre as

principais fontes artificiais de fósforo destacam-se as descargas de águas residuárias domésticas, industriais não tratadas, lixiviação de áreas agrícolas e o resultante da decomposição de alguns organismos de origem alóctone (Scalize *et al.*, 2015).

d) Nitrogénio

O nitrogénio é um macronutriente importante para o metabolismo dos seres vivos, porque depois do carbono, é o elemento usado em maior quantidade pelas células vivas, diferente do fósforo que é um elemento abundante nos ambientes aquáticos. A importância deste deve-se principalmente pela participação na formação de proteínas em baixas concentrações, e considerado um nutriente limitante na produção primária (Lima, 2015).

A presença de compostos nitrogenados na água é resultante da lixiviação do solo e alguns processos biogénicos naturais e a drenagem de áreas agrícolas. O excesso de nitrogénio acrescentado pelos fertilizantes agrícolas pode ser fonte de contaminação da água superficial assim como a subterrânea, resultante da perda de nitrato por lixiviação nos solos. O nitrogénio em excesso causa o processo de eutrofização, provocando um crescimento exagerado das algas (Lima, 2015).

e) Nitratos

É um composto constituído por nitrogénio e oxigénio no estado de oxidação mais avançado do nitrogénio. É um ião aniônico, solúvel que não é retido pelos solos, é originado através da oxidação da matéria orgânica nos solos assim como de resíduos de animais (Santos, 2009). Se a concentração de nitrato for encontrada em teores superiores a 3 mg/L, é considerada um indicativo da contaminação por efluentes domésticos, fossas e lixo em corpos de águas (Cabral, 2020).

Em águas superficiais naturais podem ser encontradas baixas concentrações de nitratos, mas pode alcançar altas concentrações em águas subterrâneas, que variam entre 0,1 e 10 mg/L quando estas não são poluídas. Essa diferença está associada a lixiviação de adubos inorgânicos e a decomposição de matéria orgânica nas camadas do solo ou a oxidação de esgotos (Parron, 2011).

O consumo de águas contaminadas por nitratos pode ocasionar problemas de saúde, à doença de meta hemoglobina, que provoca a ausência de oxigênio na corrente sanguínea transformando a cor do sangue para azul, essa doença é como “síndrome do bebê azul”, em crianças assim como em adultos que possuem deficiência na produção de enzimática (Andrade, 2017).

f) Oxigênio Dissolvido

É um dos elementos químicos mais importantes na água e na natureza, devido às várias funções que exerce sobre actividades químicas e bioquímicas. É fundamental para a respiração da maioria dos organismos aquáticos e sua diminuição frequentemente está associada à poluição orgânica da água, onde o consumo de oxigênio é proporcional a decomposição da matéria orgânica. As variações nos teores de oxigênio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos de água. Para a manutenção da vida aquática aeróbica são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 mg/L a 5 mg/L, exigência de cada organismo (Pereira *et al.*, 2015).

A concentração de oxigênio disponível mínima necessária para sobrevivência das espécies piscícolas é de 4 mg/L para a maioria dos peixes e de 5 mg/L para trutas. Em condições de anaerobiose (ausência de oxigênio dissolvido) os compostos químicos são encontrados na sua forma reduzida (isto é, não oxidada), a qual é geralmente solúvel no meio líquido, disponibilizando, portanto, as substâncias para assimilação pelos organismos que sobrevivem no ambiente (Souza, 2019).

Borges *et al.*, (2015) afirma que o oxigênio dissolvido não é um parâmetro que possui muita influencia para o uso da água na irrigação, porém é um indicativo de poluição dos corpos de água.

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

É a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica, por acção de bactérias aeróbias. Representa, portanto, a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica presente em líquido (água ou esgoto). A

DBO é determinada em laboratório, observando-se o oxigênio consumido em amostras do líquido, durante 5 dias, à temperatura de 20 °C. Em águas naturais não poluídas a concentração de DBO é baixa, em torno de 1 a 10 mg/L, enquanto nos esgotos domésticos é da ordem de 200 a 300 mg/L, podendo chegar a valores muito altos em efluentes industriais como os de laticínios, cervejarias ou frigoríficos (Embrapa, 2011).

Hespanhol (2002) em seu estudo de águas residuárias para a irrigação agrícola, afirma que o DBO nesta água deve ser até 30 mg/L para irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para plantas consumidas cruas.

h) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Segundo Silva *et al.* (2011), é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica, através de um agente químico. A DQO também é determinada em laboratório, em prazo muito menor do que o teste da DBO. Para o mesmo líquido, a DQO é sempre maior que a DBO, devido a oxidação química de matéria orgânica não biodegradável.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica em um corpo hídrico através de um agente químico. A elevação da concentração de DQO num corpo de água é ocasionada, na maioria das vezes, por despejos de origem doméstica e industrial. A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de descrição de esgotos sanitários e de efluentes industriais. É interessante a utilização da DQO conjuntamente com a DBO para observar a parcela biodegradável dos despejos (dos Santos *et al.*, 2019).

i) Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

É a soma de todo o conjunto de constituintes químicos dissolvidos na água. Este parâmetro é principalmente aplicado da qualidade estética da água potável e como indicador da presença de substâncias químicas contaminantes. As fontes primárias de STD em águas receptoras são: agrícolas e domésticas, lixiviados de contaminação do solo e de fontes pontuais de descarga de efluentes industriais (Embrapa, 2011).

Nas águas naturais os sólidos dissolvidos estão constituídos por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, fosfatos, nitratos de cálcio, potássio e magnésio. Os Sólidos Totais são um importante parâmetro para definir as condições ambientais baseadas nas premissas de que estes sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática (Peixoto *et al.*, 2019).

Os sólidos totais dissolvidos na água de irrigação agrícolas não devem ultrapassar 500 mg/L, podem chegar até 2.000 mg/L em condições especiais, acima de 500 mg/L, a irrigação deve ser realizada cuidados especiais de manejo, porque podem afectar culturas mais sensíveis (Blum, 2003).

j) Cálcio e Magnésio

A presença do cálcio na água resulta do contacto do corpo hídrico com depósitos de calcita e dolomita. A solubilidade dos carbonatos é controlada pelo PH e CO₂ dissolvido. O cálcio pode ser encontrado em corpos de água em concentrações em torno de 15mg L⁻¹. O magnésio ocorre geralmente nos minerais magnesite (MgCO₃) e dolomita, é encontrada em águas naturais em concentrações próximas dos 4mg L⁻¹, as reacções de equilíbrio do carbono para o magnésio são mais complicados do que para o cálcio e as condições para a precipitação directa da dolomita em águas naturais não são comuns (Embrapa, 2011).

2.6.3. Indicadores biológicos de qualidade da água

a) Coliformes fecais e Totais

Os cursos de água são no geral contaminados por efluentes provenientes de esgoto humano e animais, estes transportam uma série de microrganismos patogénicos assim como não. Alguns destes microrganismos são utilizados como indicadores de poluição biológica, denominados coliformes totais e coliformes fecais, assim como bactérias heterotróficas (Ferreira, 2018).

A técnica do Número Mais Provável (NMP), conhecida também como técnica dos tubos múltiplos é utilizada para detectar a presença de coliformes fecais e coliformes totais, este grupo de bactérias tem a capacidade de fermentar a lactose com produção de gás, quando são incubadas em um período de 24 - 48h em uma temperatura de 45°C (Barroso, 2016).

2.7. Eutrofização

A adição de nutrientes inorgânicos assim como de matéria orgânica aumenta o processo de fotossíntese assim como a respiração nos corpos aquáticos. A este processo denomina-se eutrofização, constitui uma condição no processamento de energia de alto metabolismo, este processo manifesta-se através da produtividade do corpo aquático, onde é observado um crescimento exagerado de plantas aquáticas, devido à alta concentração de nutrientes, neste caso o nitrogénio (N) e o fósforo (P), que são transportados pelas águas da chuva até aos leitos dos rios, proveniente de fertilizantes inorgânicos e orgânicos utilizados no processo de produção agrícola (Primo, 2020).

Nos sistemas agrícolas, a inadequada utilização de adubos orgânicos assim como minerais provoca o excesso de nutrientes nos solos, que chegam aos cursos de água, por causa de processos como lixiviação assim como o escoamento superficial. Maior parte das áreas irrigadas encontram-se perto dos rios, onde nestas há uso intensivo de fertilizantes e adubos, após a irrigação os excessos de água contendo estas substâncias são drenadas directamente nos rios sem se fazer o prévio tratamento, por esta razão a agricultura é considerada uma das maiores fontes de poluição das águas superficiais (Primo, 2020).

2.8. Regressão linear

A análise de regressão consiste na realização de uma análise estatística com o objectivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Em outras palavras consiste na obtenção de uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente pela variação dos níveis das variáveis independentes. Para tentar estabelecer uma equação que representa o fenómeno em estudo pode-se fazer um gráfico, chamado de diagrama de dispersão, para verificar como se comportam os valores da variável dependente (Y) em função da variação da variável independente (X). O comportamento de Y em relação a X pode-se apresentar de diversas maneiras: linear, quadrático, cúbico, exponencial, logarítmico. Para se estabelecer o modelo para explicar o fenómeno, deve-se verificar qual tipo de curva e equação de um modelo matemático que mais se aproxime dos pontos representados no diagrama de dispersão (Alves, 2016).

Classificação dos valores do coeficiente de Pearson (r)

Tabela 3: Representação dos valores do coeficiente de Person (r)

Coeficiente de correlação (r)	Classificação
0.0 a 0.1	Muito baixa
0.1 a 0.3	Baixa
0.0 a 0.5	Moderada
0.5 a 0.7	Alta
0.7 a 0.9	Muito alta
0.9 a 1.0	Quase perfeita

Fonte: Hopkins, (2000).

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da Área de Estudo

O Distrito de Chókwé localiza-se a sul da província de Gaza, no curso médio do rio Limpopo tem como limites, a norte o rio Limpopo, que separa dos distritos de Massingir, Mabalane e Guija, a sul do distrito de Bilene e o rio Mazimuchope, que separa o distrito de Magude, a este confina com os distritos de Bilene e Chibuto e a oeste com os distritos de Magude e Massingir. É caracterizado por um clima semiárido, onde a precipitação varia de 500 a 800 mm, a temperatura varia de 22°C e 26° C e a humidade media anual varia entre 60 - 65%. A irregularidade das chuvas ocasiona estiagem e secas frequentes, mesmo durante a estação das chuvas. O distrito de Chókwé é composto por aluviões ao longo do rio Limpopo, que atravessa todo o distrito no sentido noroeste a sudoeste e por depósitos indiferenciados no resto do distrito de Macarretane e Lionde.

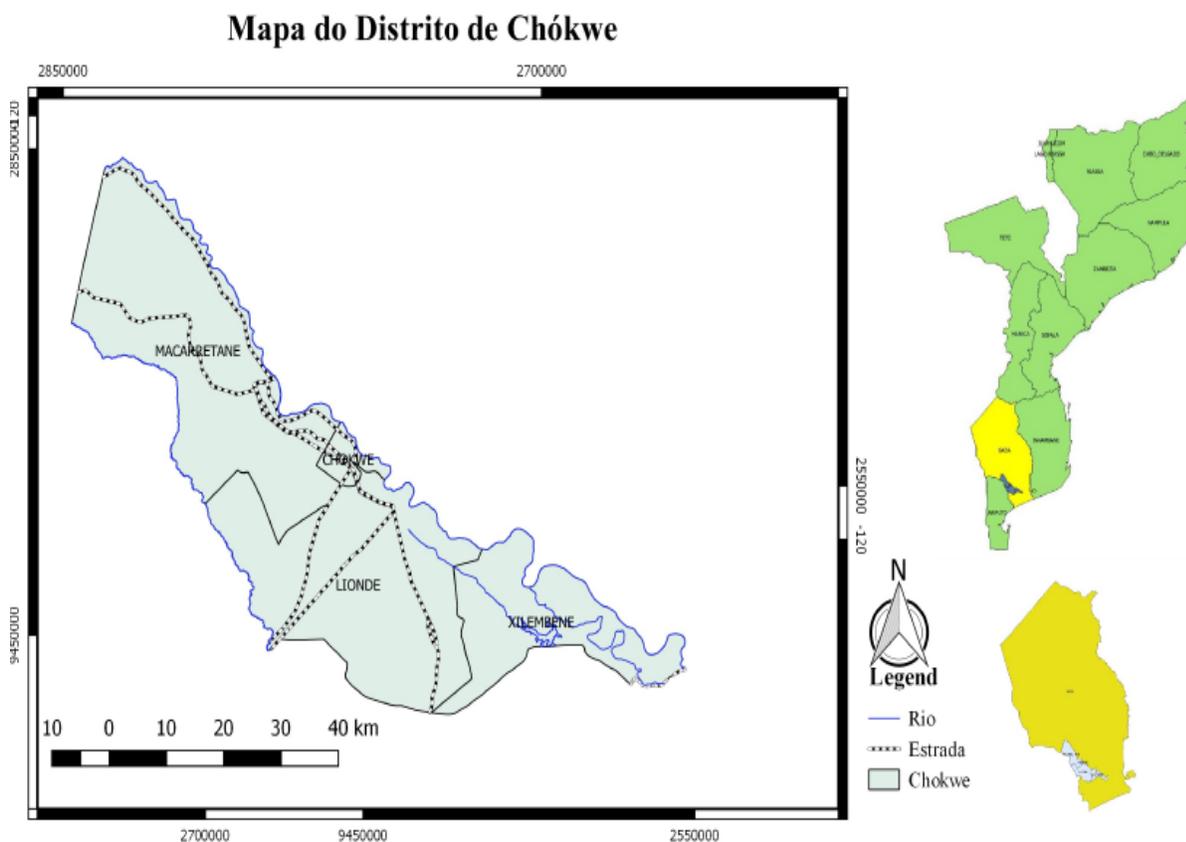


Figura 1: Mapa do distrito de Chókwé inserido na província de Gaza e suas respectivas coordenadas.

3.1.1. Localização dos pontos de colecta

Os dados foram colectados nas seguintes coordenadas: Lionde Vala 3: S24° 33.558` E033° 03.092`; Montante: S24° 34.582`, E033° 04.825`; Jusante: S24° 35.059`, E033° 05.664` e Chalucane Vala 11: S24°34.719`, E033° 05.448`; Montante: S24° 34.609`, E033°05.490`; Jusante: S24° 34.628`, E033°05.488`.

3.2. Levantamento de dados e actividades de campo

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram usados dados primários colectados no campo no regadio do Chókwé. Foram colectadas 12 amostras de água entre os meses de Julho e Agosto de 2021, para a colecta das mesmas foi usado um balde de 5litros, uma corda, um funil e um barco para a travessia do rio, para o armazenamento das amostras foram usadas garrafas plásticas de 500ml, estas foram etiquetadas após a colecta.

3.3. Análises Laboratoriais

As análises para este estudo foram feitas pelo Laboratório Provincial de Higiene de Águas e Alimentos, na Cidade de Xai - Xai, os métodos e procedimentos usados para as análises dos parâmetros encontram-se descritos no manual de Normas Moçambicanas para análises Laboratoriais de Águas de 1983.

3.3.1. Análises Físicas

Medição do pH;

Foi usado o método de Electometria, este método é considerado o mais preciso e utiliza um aparelho denominado Peagametro.

Medição da Condutividade Eléctrica;

Foi feita pelo método Condutivimétrico, através de um Condutímetro Digital.

Medição da Turbidez;

Foi feita pelo método Nefelométrico, através de um Turbidímetro.

Medição do Oxigénio Dissolvido;

Foi feita pelo método de Electrometria, através de um Oxímetro Digital.

Medição de Total de Sólidos Dissolvidos;

Foi feita pelo método de Electrometria, neste método usa-se um aparelho denominado Condutivimétero.

3.3.2. Análises Microbiológicas

Medição Coliformes Totais;

Foi feita pelo método de Membrana Filtrante;

Medição Coliformes Fecais;

Foi feita pelo método de Membrana Filtrante.

3.3.3. Análises Químicas

Medição de Nitratos;

Foi feita pelo método Colorimétrico, através de um espectrofotómetro.

Medição da Dureza Total;

Foi feita pelo método de Titrimétrico, através da reacção entre Negro de Ericromo e EDTA.

Medição do Cálcio;

Foi feita pelo método Titrimétrico, através da reacção entre Hidróxido de Sódio, Solução de Muricheide, Solução tampão de Amónio e Solução de EDTA.

$$\text{CaCo}_3 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = \frac{V_1}{V_2} * 1000 \quad (1)$$

Onde:

CaCo₃ = Carbonato de Cálcio (mg/l);

V1 = volume gasto de EDTA;

V2 = volume da amostra;

Determinação do Magnésio;

Foi obtido através da diferença do valor de Cálcio e da Dureza.

Determinação do Nitrogénio Total;

Foi obtido através da soma do valor de Nitratos, Nitritos e Amónio.

Medição da Demanda Bioquímica de Oxigénio

Foi feita pelo método de Electrometria, através de um oximómetro Digital.

Medição do Fósforo Total

Foi feita pelo método Colorimétrico, através de um Espectrofotómetro.

Medição da Demanda Química de Oxigénio

Foi feita pelo método de Electrometria, através de um Oximómetro Digital.

3.4. Teste estatístico

Determinadas as concentrações dos principais parâmetros de qualidade de água, foi feito o teste de correlação de Pearson entre os parâmetros da jusante e os das valas de modo a entender a relação entre estes após a drenagem das águas das valas no rio, o teste foi feito com recurso ao XLSTAT 2021.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de correlação dos parâmetros da Vala 3 e a Jusante do ponto de descarga no rio.

Os resultados ilustrados abaixo mostram a análise de correlação de Pearson correspondente aos seguintes parâmetros: pH, Condutividade Eléctrica, Turbidez, Oxigénio Dissolvido, Total de Sólidos Dissolvidos, Coliformes Totais, Coliformes Fecais, Nitritos, Dureza, Cálcio, Magnésio, Nitrogénio Total, Demanda Bioquímica de Oxigénio, Fósforo Total e Demanda Química de Oxigénio analisados através da média das amostras colectadas na Vala 3 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no rio. Os resultados ilustrados na tabela demonstram que o coeficiente de correlação de Pearson (r) é $r=0.981$, que é considerada muito alta de acordo com a classificação proposta por Hopkins (2000), sendo assim podemos concluir que há uma relação positiva entre os parâmetros destes pontos.

Tabela 4: Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a vala 3 e a jusante do ponto de descarga.

Variáveis	Coeficiente de Pearson (r)
Vala 3	0.981
jus. Val 3	0.981

O gráfico abaixo demonstra haver uma relação positiva forte entre os parâmetros da jusante em relação a vala 3; Podemos considerar haver uma relação positiva porque ambas as variáveis tendem a aumentar a medida que a outra aumenta.

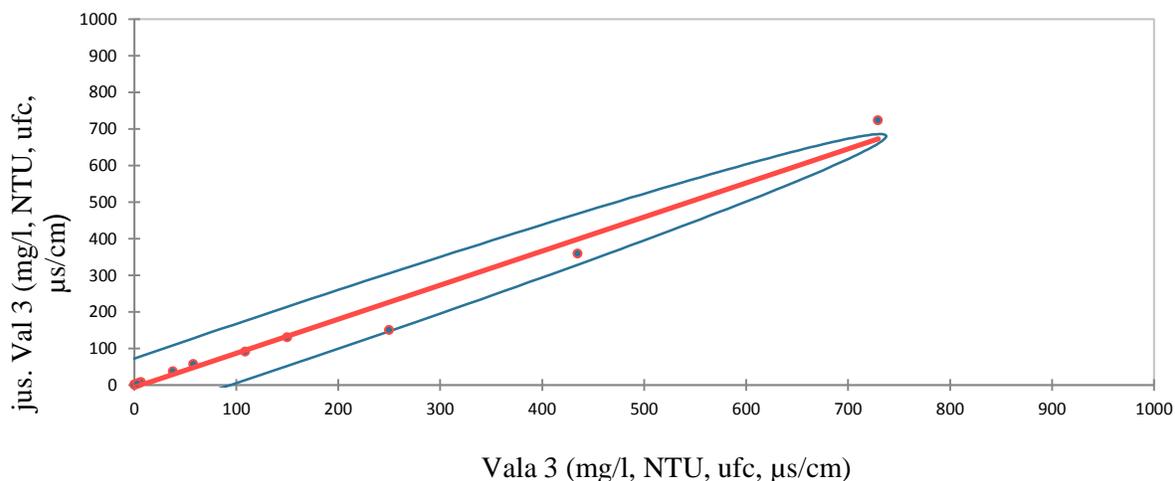


Figura 2: Gráfico de Correlação entre os parâmetros da vala 3 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no leito do rio.

4.2. Análise de correlação dos parâmetros de qualidade da água da Vala 11 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no rio

Os resultados ilustrados abaixo mostram a análise de correlação de Pearson correspondente aos seguintes parâmetros: pH, Condutividade Eléctrica, Turbidez, Oxigénio Dissolvido, Total de Sólidos Dissolvidos, Coliformes Totais, Coliformes Fecais, Nitritos, Dureza, Cálcio, Magnésio, Nitrogénio Total, Demanda Bioquímica de Oxigénio, Fósforo Total e Demanda Química de Oxigénio analisados através da média das amostras colectadas na Vala 11 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no rio. Os resultados ilustrados na tabela demonstram que o coeficiente de correlação de Pearson (r) é $r = 0.979$, que é considerada muito alta de acordo com a classificação proposta por Hopkins (2000), sendo assim podemos concluir que há uma relação positiva entre os parâmetros destes pontos.

Tabela 5: Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a vala 11 e a jusante do ponto de descarga da mesma.

Fontes	Coeficiente de correlação de Pearson (r)
Vala 11	0.979
Jus. Val 11	0.979

O gráfico abaixo demonstra haver uma relação positiva forte entre os parâmetros da jusante em relação a vala 3; Podemos considerar haver uma relação positiva porque ambas as variáveis tendem a aumentar a medida que a outra aumenta.

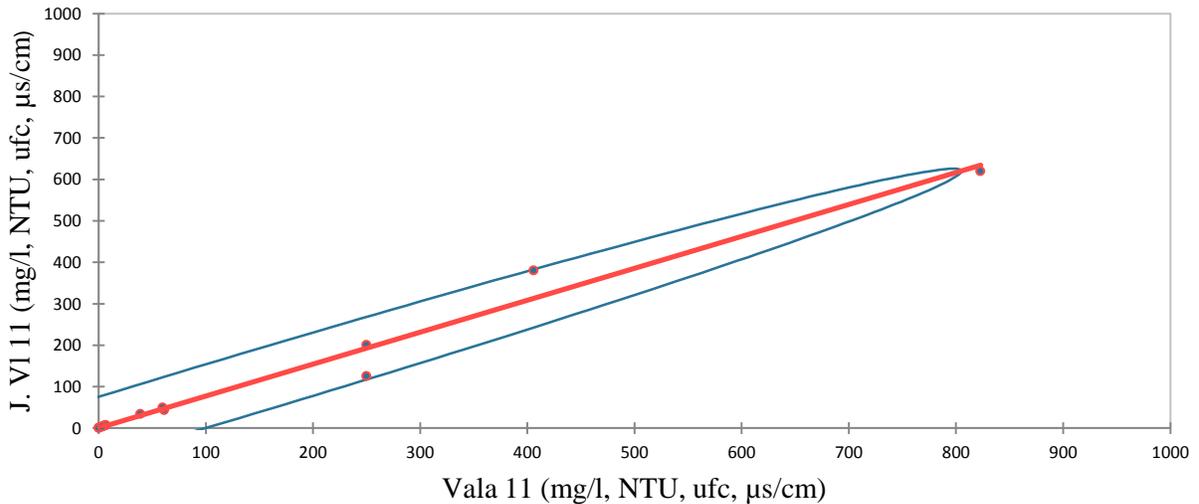


Figura 3: Gráfico de Correlação entre os parâmetros da vala 11 e a Jusante do ponto de descarga da mesma no leito do rio.

4.3. Parâmetros de qualidade ambiental

a) Oxigênio Dissolvido

Este parâmetro é de grande importância quando se trata da drenagem de efluentes para um corpo de água receptor.

Fonseca *et al.*, (2021) afirma que o OD é o parâmetro de melhor caracterização da poluição de um curso de água, pois este é o receptor de elétrons que é inicialmente utilizado pelos microrganismos para a decomposição da matéria orgânica, e o consumo de oxigênio é proporcional a decomposição, que pode deixar a água sem OD para a sobrevivência das espécies aquáticas.

Na vala 3 o rio mostra uma tendência do aumento do valor de OD da montante a jusante, este valor encontra-se dentro do limite recomendado para a sobrevivência das espécies psíquicas na água de acordo com o Decreto 18/2004 de 2 de Junho, que estabelece o valor de 4 a 5 mg/l, na

vala 11 o valor de OD permaneceu constante da montante a jusante mesmo apos a descarga da vala, este encontra se dentro do limite estabelecido pelo Decreto 18/2004.

Segundo Pereira *et al.*, (2015), para a manutenção da vida aquática são necessários teores mínimos de OD de 2 mg/L a 5 mg/L, tendo em conta a exigência de cada organismo.

Júnior *et al.*, (2019), afirma que o metabolismo dos organismos aquáticos aeróbicos em águas naturais não resiste a concentração de OD inferior a 4.0 mg/l.

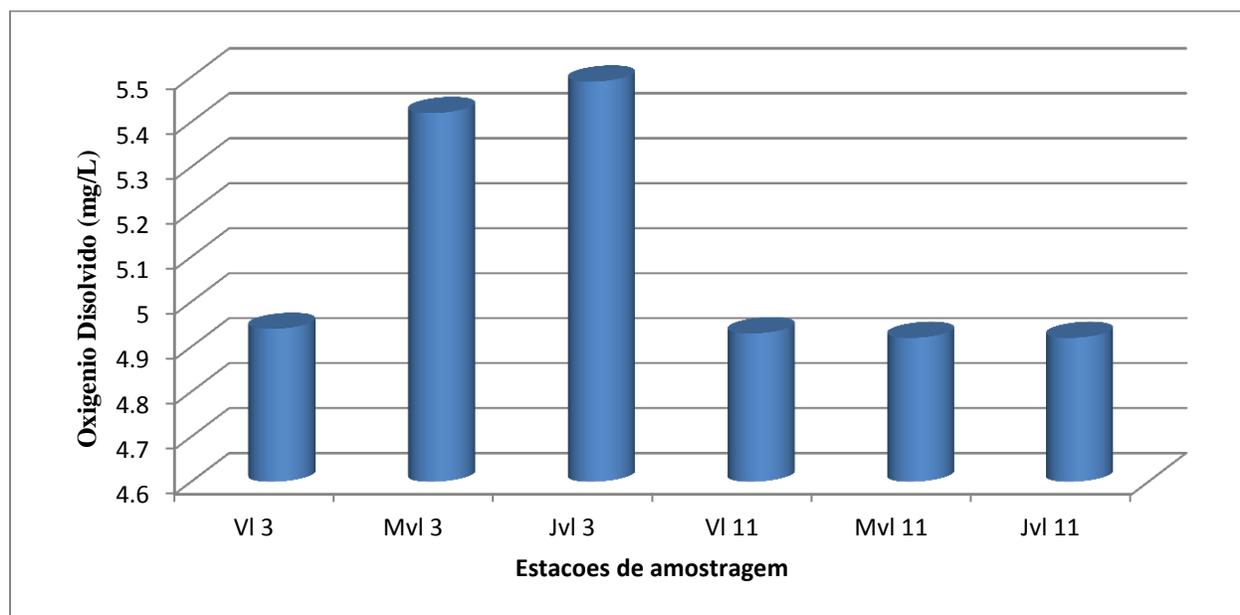


Figura 4: Gráfico das médias de OD, na Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

A concentração deste parâmetro a jusante do ponto de descarga, demonstra não haver alta decomposição da matéria orgânica no rio, mesmo com a descarga do efluente, este tende a aumentar a jusante, e cumpre com os limites requerido para a sobrevivência das espécies aquática, o que representa um bom sinal, pois na maioria dos casos as descargas de efluentes agrícolas são acompanhadas de alta produtividade vegetativa do corpo aquático devido ao uso intensivo de fertilizantes ricos em nutrientes nos campos drenados, que ocasiona alta decomposição da matéria orgânica, que culmina na redução de OD no corpo receptor.

b) Demanda Bioquímica de Oxigênio

O consumo de DBO em maiores quantidades pode representar um risco de escassez de oxigênio dissolvido na água, causando assim a morte das espécies que dele dependem.

Segundo Fonseca *et al.*, (2021), a DBO é um dos parâmetros mais utilizados para a medição da poluição em corpos de água porque representa, a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica presente na água.

O gráfico mostra haver uma tendência de redução do valor da DBQ da montante a jusante do ponto de descarga da vala 3, a concentração deste encontra-se acima do limite recomendado pelo Decreto 18/2004 de 2 de Junho, que estabelece um valor de 1 a 2mg/l, para a sobrevivência das espécies aquáticas. Vala 11 aponta também uma tendência de redução do valor da concentração deste parâmetro da montante a jusante, o máximo valor é verificado na vala 11, estes valores encontram-se acima do limite recomendados pelo Decreto 18/2004.

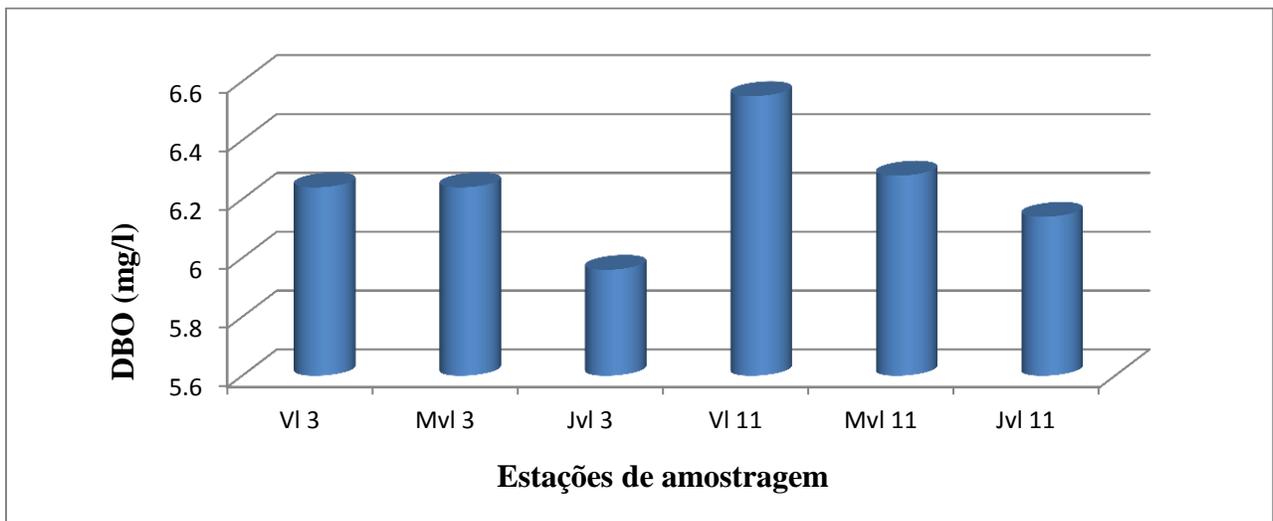


Figura 5: Gráfico das médias de DBO, na Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e Jusante.

Para Embrapa (2011), em águas naturais não poluídas a concentração de DBO é baixa, em torno de 1 a 10 mg/l.

Hespanhol (2002), em seu estudo de águas residuárias para a irrigação agrícola, afirma que o DBO nesta água deve ser até 30 mg/L para irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para plantas consumidas cruas.

Em todos os pontos de colecta os resultados mostraram-se acima do valor recomendado pela lei em vigor em Moçambique para corpos naturais de água, o comportamento deste parâmetro da montante a jusante demonstra haver poluição seguida de uma posterior autodepuração do rio.

c) Demanda Química de Oxigénio

A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de descrição de esgotos sanitários e de efluentes industriais. É importante a utilização da DQO conjuntamente com a DBO para observar a parcela biodegradável da matéria orgânica na água (Santos *et al.*, 2019).

O gráfico abaixo mostra uma tendência do aumento do valor da DQO, da montante a jusante o que evidencia a poluição do rio pela vala 3, os valores da montante e jusante cumprem com os limites estabelecidos pela Resolução CONOMA 357/2005 do Brasil, que estabelece o limite máximo de DQO em corpos de águas de 5mg/l, os valores destes pontos assemelham-se ao encontrados por Pinto *et al.*, (2009) que encontrou valores que variam de 2 a 6mg/l. Os pontos da vala 11 demonstram haver uma redução do valor da DQO da montante a Jusante, descartando a possibilidade da vala estar a poluir o rio, os valores da montante a jusante estão dentro do limite estabelecido pela Resolução CONOMA 357/2005, em corpos naturais de água. Dos dados analisados nas valas não demonstram haver degradação excessiva de matéria orgânica como é comumente, normal em águas residuárias, o que constitui um bom sinal pois este quando em excesso provoca o consumo excessivo de OD, o que pode ser fatal para os peixes.

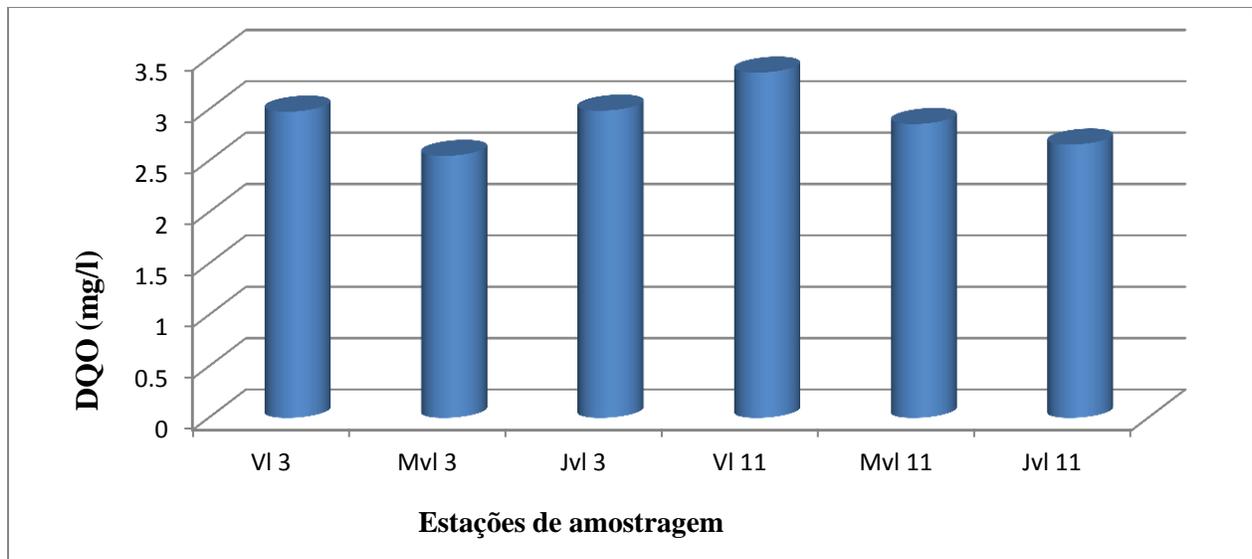


Figura 6: Gráfico das médias de DQO, da Vala 3, montante, jusante, Vala 11, montante e jusante.

d) Coliformes Totais

A presença deste grupo de bactérias em corpos de água evidenciam haver poluição por esgotos humanos em um corpo de água, o consumo desta água, assim como o uso da mesma para irrigação de culturas consumidas cruas pode representar perigo a saúde humana.

O gráfico abaixo mostra haver altas concentrações da CT nas águas das valas de drenagem, seguida por uma tendência de aumento da concentração da montante a jusante, estes resultados confirmam haver poluição do rio por este parâmetro, somente a água da montante da vala 3, encontra-se dentro do limite estabelecido pela Decreto 18/2004, esse resultados demostram haver poluição da água do rio e das valas por esgotos humanos, tornando necessário o tratamento deste efluente. Segundo Oliveira (2018), o valor de coliformes totais e fecais em águas para fins de irrigação não deve ultrapassar 100ufc/100ml, de acordo com este autor somente a água da montante do ponto de descarga da vala 3 pode usada na irrigação.

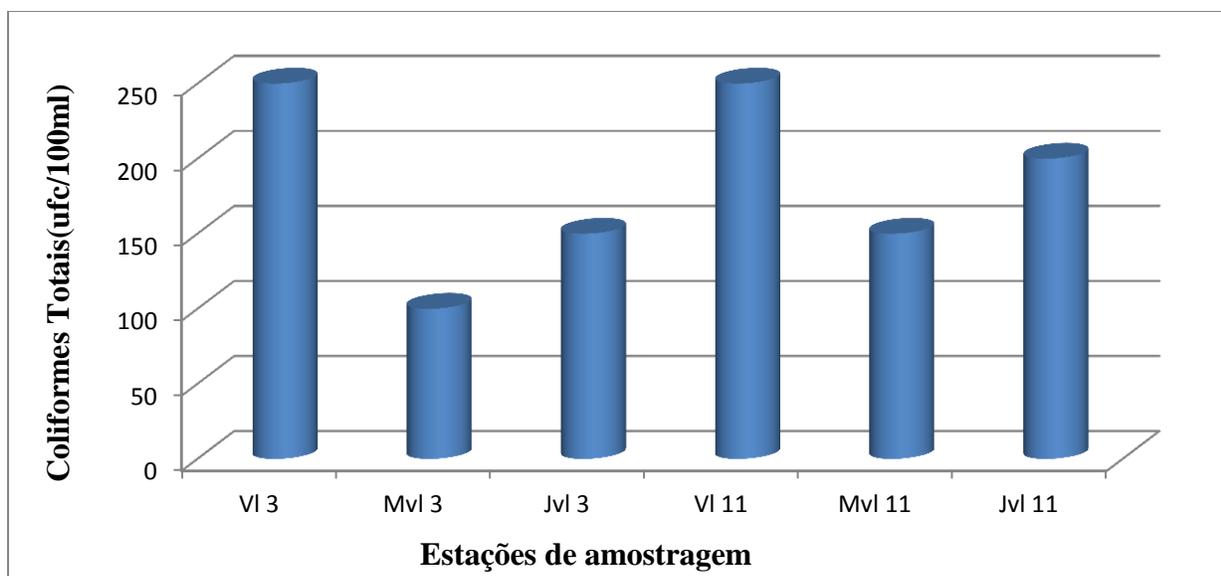


Figura 7: Gráfico das médias de CT, da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

e) Coliformes Fecais

A presença deste grupo de bactérias em corpos de água evidenciam haver poluição por esgotos humanos em um corpo de água, o consumo desta água, assim como o uso da mesma para irrigação de culturas consumidas cruas pode representar perigo a saúde humana.

O gráfico abaixo mostra uma tendência do aumento de CF da jusante a montante da vala 3, a concentração máxima encontra-se na vala, o que confirma haver poluição do rio pela mesma, a concentração deste na vala e a jusante encontra-se acima do limite estabelecido pelo Decreto 18/2004, que limita o valor de CF em 100ufc/100ml, em corpos de águas receptores de efluentes. Na vala 11 a concentração deste parâmetro tende a aumentar da jusante a montante a concentração máxima, verifica-se na vala o que demonstra que a vala contribui para a poluição do rio por este parâmetro, em todos os pontos da vala 11 o valor de CF encontra-se acima do recomendado pelo Decreto 18/2004, sendo assim estes resultados apontam haver poluição destas águas por esgotos humanos. Esta água quando consumida pode ser prejudicial para a saúde humana, ou até mesmo entrar em contacto directo com a mesma, porque neste grupo de bactérias encontra se o *Escherichia coli*, responsável por varias doenças como intoxicações alimentares, infecções do trato urinário e outas.

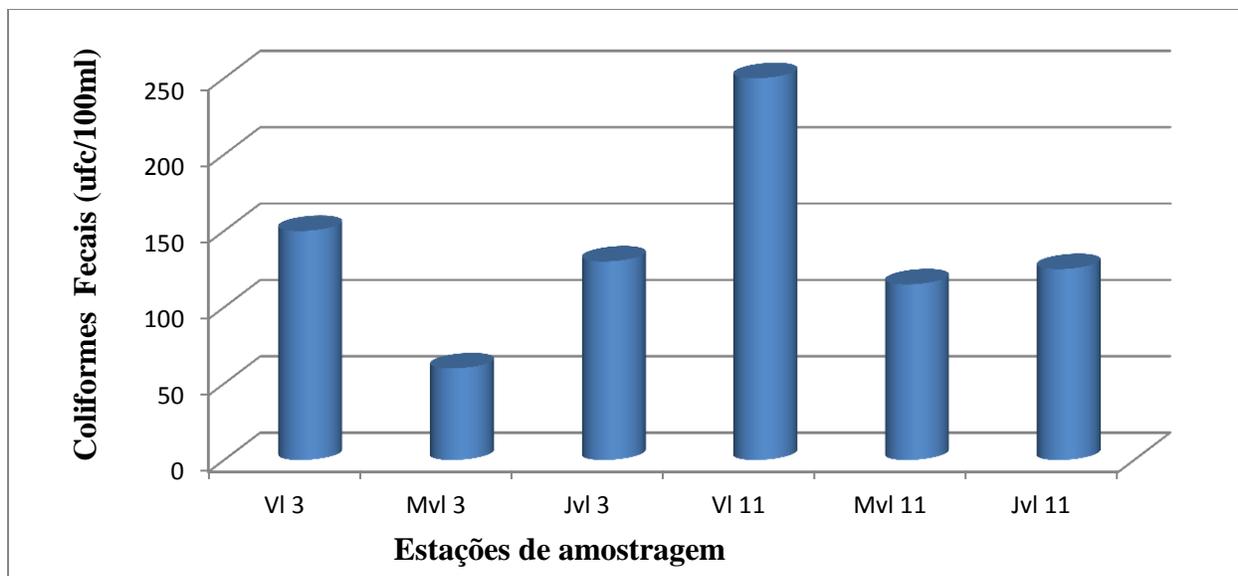


Figura 8: Gráfico das médias de CF, da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

4.4. Parâmetros de qualidade da água para irrigação

4.4.1. Parâmetros Físicos

a) pH

PH é um parâmetro de grande importância quando se trata da qualidade da água para irrigação ela indica o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente aquático.

O gráfico abaixo demonstra um aumento do valor do pH, da montante a jusante confirmando assim que a vala 3 contribui para a poluição do rio, a água destes pontos encontram-se dentro do limite recomendado pela FAO, para o uso da água na irrigação que varia entre 6.5 a 8.4. Na vala 11 verifica-se uma redução do pH da montante a jusante, podendo afirmar assim que a vala não contribui de forma significativa para a poluição do rio, em termos de qualidade da água para irrigação estas águas encontram-se dentro do limite de pH estabelecido pela FAO. Em termos de grau de restrição proposta por Montovani *et al.*, (2009), os resultados de todos os pontos de colecta estão abaixo de 7.0 que é considerada faixa de baixo risco. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.*, (2014).

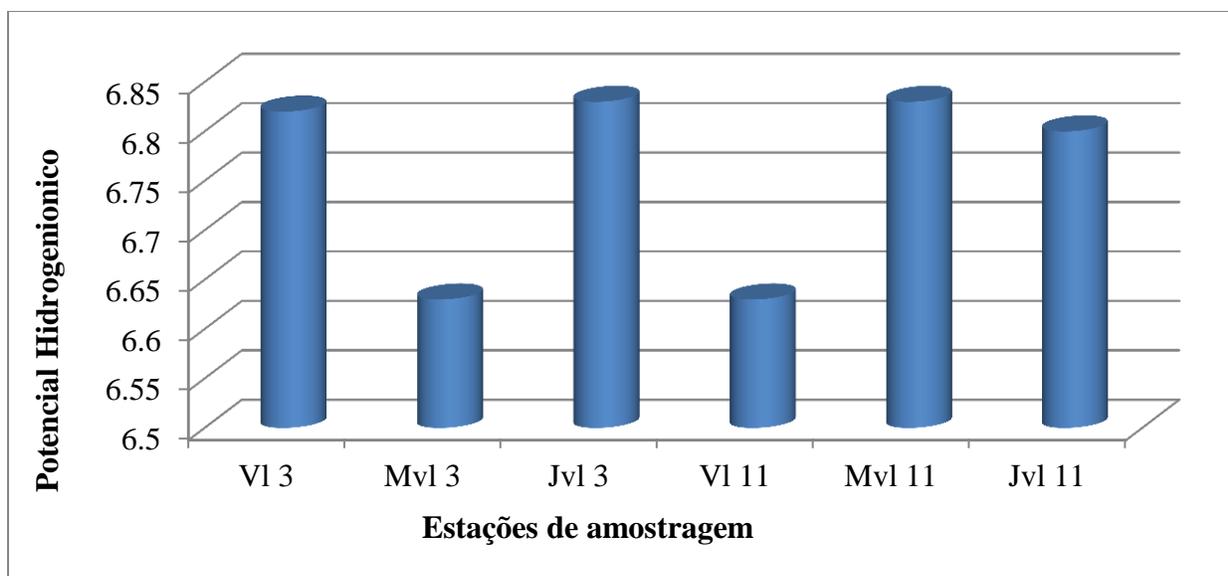


Figura 9: Gráfico das médias de pH da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

b) Condutividade Eléctrica

A condutividade eléctrica da água é o parâmetro mais importante para avaliar a salinidade da água, é a medida da capacidade dos iões presentes na água conduzirem electricidade e cresce a conforme o aumento da concentração dos sais. A condutividade eléctrica mede a quantidade de sais que existe na coluna de água, constitui uma medida indirecta da concentração de poluentes (Costa, 2021).

O gráfico abaixo mostra uma tendência do aumento da CE da montante a jusante logo após a descarga da vala 3 o que evidencia que esta contribui de forma significativa para a poluição do rio, a água da vala e jusante estão na faixa de salinidade media e a da montante com baixa salinidade de acordo com os limites recomendados pela FAO que estabelece que as águas com CE abaixo de 700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ são de salinidade baixa, e de 700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 3000 salinidade media, para Souza *et al.*, (2016) as águas da vala 3 e montante e jusante são de salinidade media, pois para este as águas com CE de 250 a 750 $\mu\text{s}/\text{cm}$ são de salinidade média.

Nos pontos da vala 11 há uma tendência de redução da CE da montante a jusante, o que evidencia que o rio consegue autodepurar-se da poluição a que foi submetido, em termos de qualidade da água para irrigação as águas da montante e jusante são de baixa salinidade e a da

vala 11 de salinidade media de acordo com os limites estabelecidos pela FAO, Segundo Souza *et al.*, (2016), as águas da montante e jusante são de media salinidade e a da vala 11.

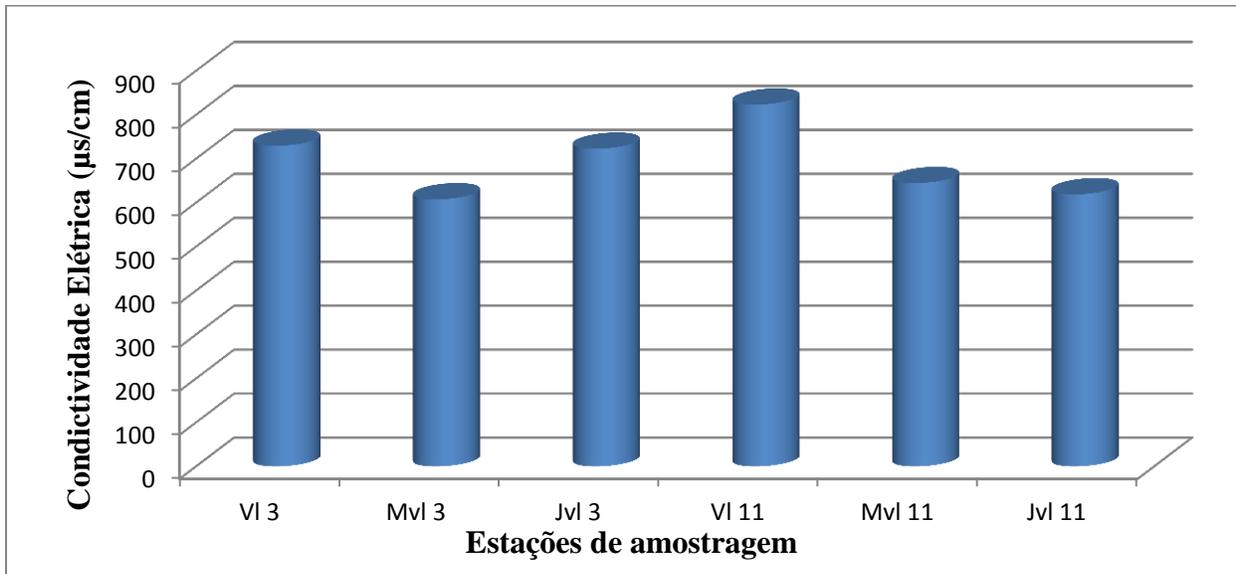


Figura 10: Gráfico das médias da CE da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

c) Total de Sólidos Dissolvidos

O gráfico abaixo mostra uma redução do valor de TSD da montante a jusante do ponto de descarga da vala 3, podemos afirmar que a vala não contribui de forma significativa na concentração deste a jusante, as águas da vala 3, montante e jusante não possuem nenhum grau de restrição para o uso na irrigação, de acordo com os limites estabelecidos pela FAO que estabelece que, se o valor de TSD for menor que 450mg/l, esta água pode ser usada sem restrição, de 450 a 2000mg/l grau de restrição moderada e maior que 2000 grau de restrição grave. Os pontos da vala 11 demonstram uma tendência de aumento da concentração de TSD da montante a jusante, após a descarga da vala, evidenciando que a mesma esta poluindo o rio, em termos de qualidade da água para irrigação as águas da vala 11 montante e jusante podem ser usadas para irrigação sem nenhuma restrição de acordo com os limites estabelecidos pela FAO.

Segundo Frevet e Cruz (2007), o valor máximo permitido de STD, em águas de irrigação e de 500mg/l. Para Blum, (2003), os sólidos totais dissolvidos na água de irrigação agrícolas não devem ultrapassar 500 mg/L, podem chegar até 2000 mg/L em condições especiais, acima de

500 mg/L, a irrigação deve ser realizada cuidados especiais de manejo, porque podem afectar culturas mais sensíveis. Verifica-se que as águas de todos os pontos estão dentro do limite mínimo para o uso na irrigação estabelecidos pelos autores acima citados.

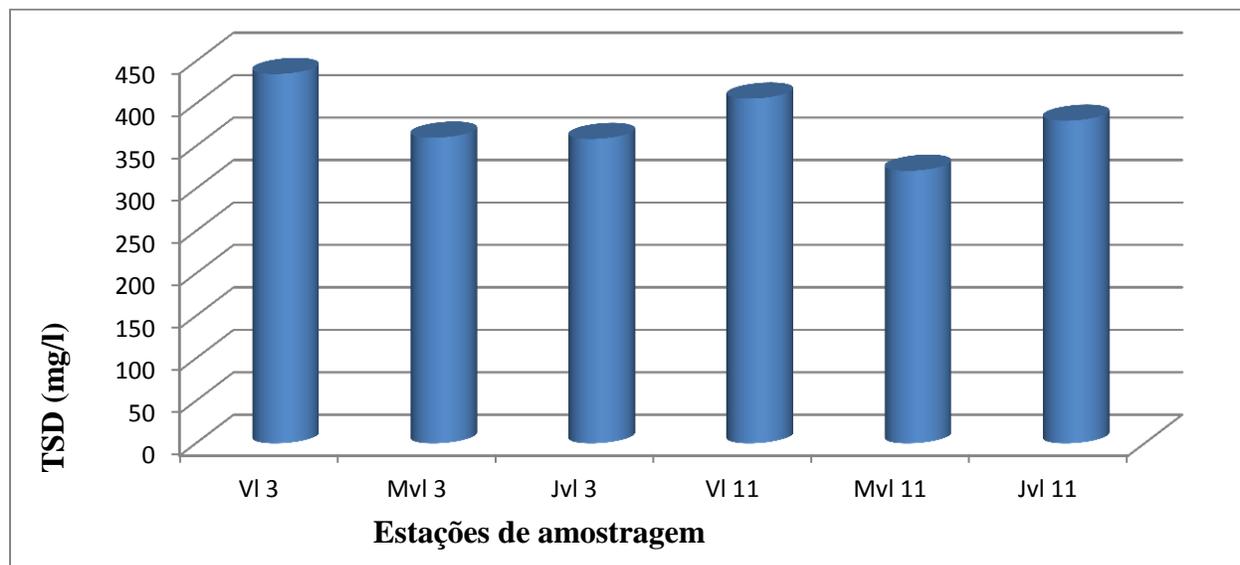


Figura 11: Gráfico das médias de TSD da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

Os valores deste parâmetro nas amostras analisadas encontra-se na faixa de boa para irrigação, este é um importante parâmetro para definir as condições ambientais baseadas nas premissas de que estes sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática, porque a densidade da água determina o fluxo da água e para as células dos organismos aquáticos.

d) Turbidez

A turbidez pode ser de origem natural, partículas de argila, rochas, silte, algas e de outros microorganismos resultantes de despejos domésticos, industriais e erosão. Quando a turbidez é de origem natural não apresenta problemas sanitários, somente estéticos. Quando é de origem antrópica possivelmente esta relacionada a presença de substâncias tóxicas e organismos patogénicos. A turbidez diminuir a penetração da luz, prejudicando o processo de fotossíntese em corpos da água (Silveira, 2017).

O gráfico abaixo mostra uma tendência de aumento do valor da Turbidez da montante a jusante do ponto de descarga da vala 3, evidenciando a poluição da água do rio pela vala 3, a água da montante e jusante encontra-se dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA (2005), estabelece que a Turbidez em águas de irrigação deve situar se entre 0 a 100NTU, a água da vala 3 não pode ser usada para irrigação porque ultrapassa o limite estabelecido. Segundo Santos (2012), a Turbidez das águas destinadas a irrigação devem variar de 0 a 100 NTU, as águas da montante e jusante da vala 3 estão dentro do limite estabelecido por este autor, a da vala não pode se usada para irrigação segundo este autor. Os pontos da vala 11 demostram uma tendência de aumento do valor da Turbidez da montante a jusante, todos os pontos da vala 3 encontram-se dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA e Santos (2012), para o uso desta água para irrigação.

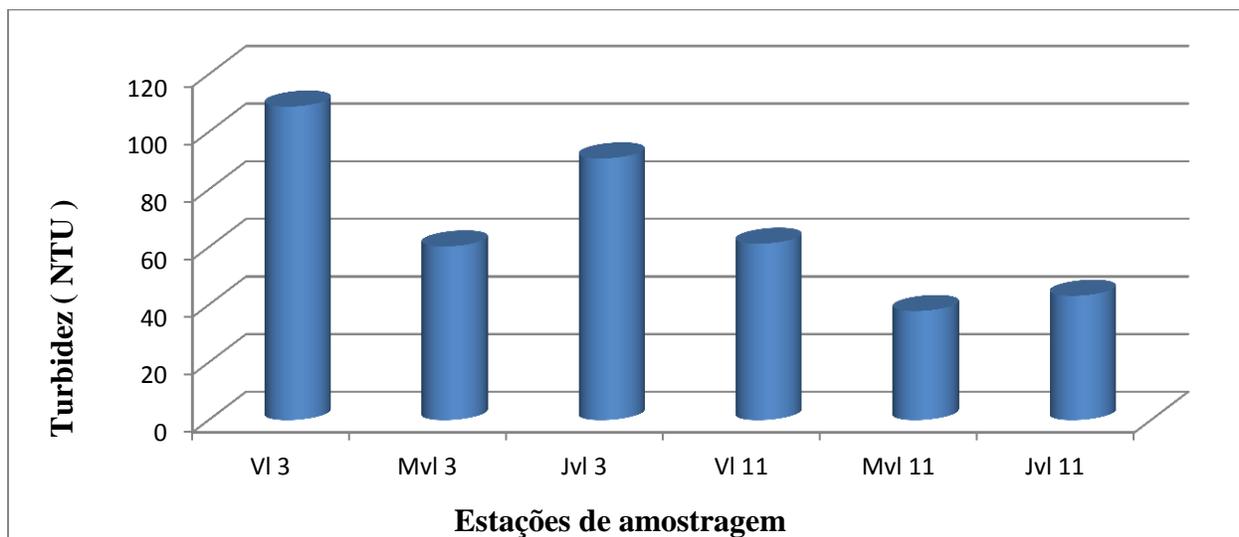


Figura 12: Gráfico das médias da Turbidez da água da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

4.4.2. Indicadores químicos de qualidade da água

a) Nitratos

O consumo de águas contaminadas por nitratos pode ocasionar problemas de saúde, à doença de meta hemoglobina, que provoca a ausência de oxigênio na corrente sanguínea transformando a cor do sangue para azul.

O gráfico abaixo mostra uma tendência do aumento do valor de Nitratos da montante a jusante, confirmando assim que a vala 3 esta poluindo o rio, a água destes pontos encontra-se dentro dos limites estabelecidos para o uso da água na irrigação pela FAO que estabelece um valor de 5mg/l, estes encontram-se também dentro dos limites recomendados no Decreto 18/2004 este estabelece que a concentração de Nitratos em águas de irrigação situa-se no intervalo de 0 a 20 mg/l. Os pontos da vala 11 demostram haver uma tendência de redução do valor de Nitratos da montante a jusante o que evidencia a autodepuração do rio depois da poluição pela vala 11, em termos de qualidade da água para irrigação esta água encontra-se dentro do limite estabelecido pela FAO, e pelo Decreto 18/2004. Para Pohling, (2009), a quantidade máxima do Nitratos deve ser de 0.001 mg/l em águas não contaminadas, para este a água de todos os pontos esta poluída.

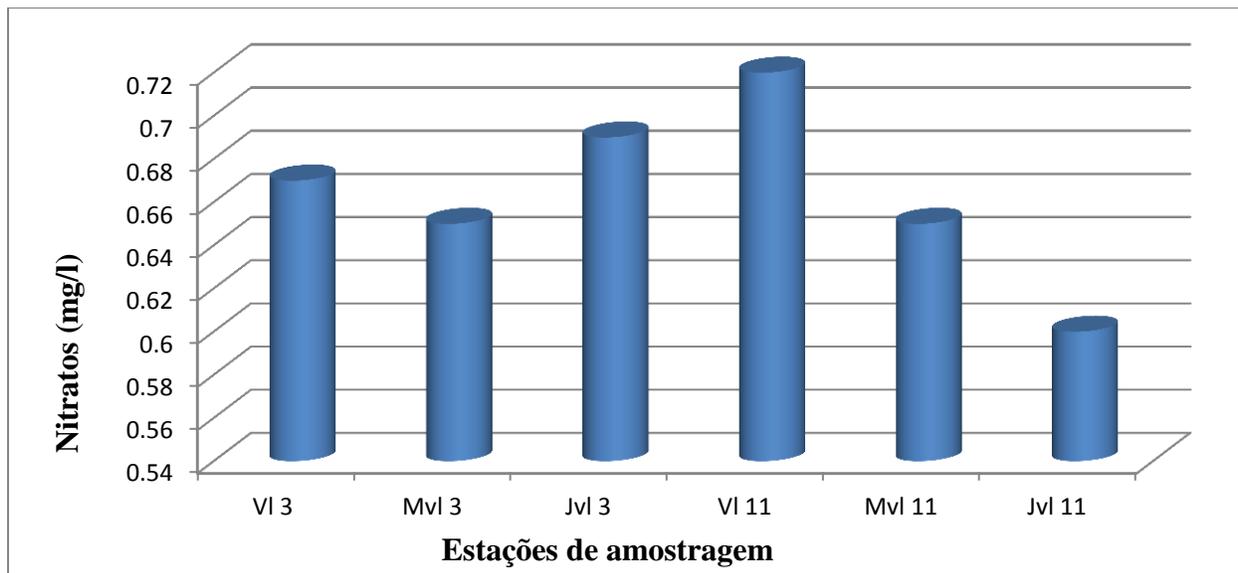


Figura 13: Gráfico das médias de Nitratos nas águas da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

Dos dados analisados este parâmetro não representa risco de poluição, nos casos em que este é elevado pode representar risco para a saúde para o consumo humano. Este parâmetro quando encontra-se em excesso na água provoca a eutrofização do meio aquático, que provoca a redução do OD e a penetração da luz na água.

b) Fósforo Total

O fósforo disponível nos ambientes aquáticos é um dos factores mais importantes para a regulação da produtividade de um sistema (Lamparelli, 2004).

O gráfico abaixo demonstra uma tendência do aumento da concentração do Fósforo da montante a jusante, o que evidencia a contribuição da vala 3 na poluição do rio, a água destes pontos encontra-se dentro do intervalo usual para irrigação segundo a FAO, que estabelece um valor de 0 a 2mg/l, Lamparelli (2004), afirma que o Fósforo é um elemento limitante para o crescimento de Fitoplancton em águas naturais, o valor deste para limitar a eutrofização deve ser até 0.02 mg/l, para este autor, as águas destes pontos encontram-se poluídas por P pois estão acima do valor que limita a eutrofização dos corpos aquáticos. Os pontos da vala 11 demonstram uma redução no valor de P da montante a jusante, evidenciando que a vala não contribui para a poluição do rio, para FAO estas águas encontram-se dentro da faixa usual para o uso na irrigação, para Lamparelli (2004) todas essas águas encontra-se poluída por P, pois encontram-se acima do valor que limita a eutrofização. Por apresentar um valor acima do recomendado este parâmetro representa um risco de eutrofização no rio, que pode provocar a redução do OD e a penetração da luz na água, conseqüentemente a morte de peixes.

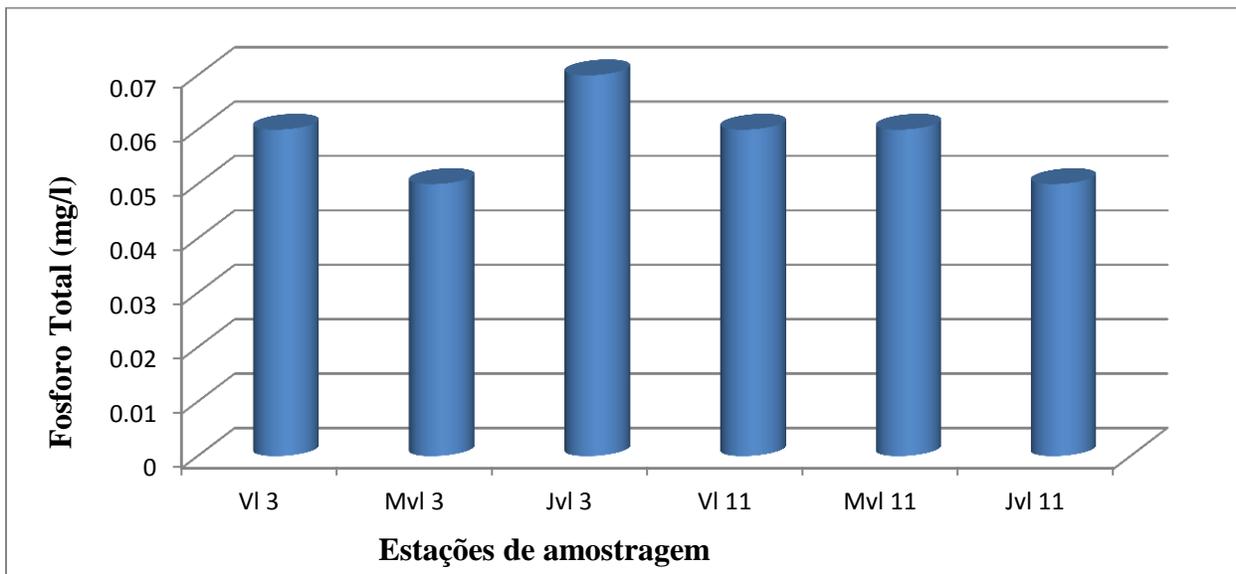


Figura 14: Gráfico das médias de Fósforo Total da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

c) Nitrogénio Total

O nitrogénio em excesso causa o processo de eutrofização, provocando um crescimento exagerado das algas (Lima, 2015).

O gráfico abaixo demonstra uma tendência de aumento do valor de N da montante a jusante, o que evidencia a contribuição da vala 3 na poluição do rio, para FAO estes resultados encontram-se dentro da faixa usual para irrigação que varia de 0 a 10mg/l, para Silva, *at al.*, (2011), estas águas não possuem nenhuma restrição para o uso, pois encontra-se na faixa de 0 a 5mg/l considerada sem restrição, para Lamparelli (2004), as águas da vala 3 e da jusante encontram-se poluídas por N pois ultrapassam o valor que limita a eutrofização dos corpos de água que é de 0.015mg/l. os pontos da vala 11 demonstram uma tendência da redução da concentração de N da montante a jusante, o que exclui a evidência de que a vala esta poluindo o rio, esta água pode ser usada para irrigação de acordo com o limite estabelecido pela FAO, e não possui nenhuma restrição para o uso na irrigação de acordo com Silva, *at al.*, (2011), para Lamparelli (2004), as águas da vala 11, montante e jusante da mesma encontram-se poluída por N pois ultrapassam o limite estabelecido por este para limitar a eutrofização dos corpos de água.

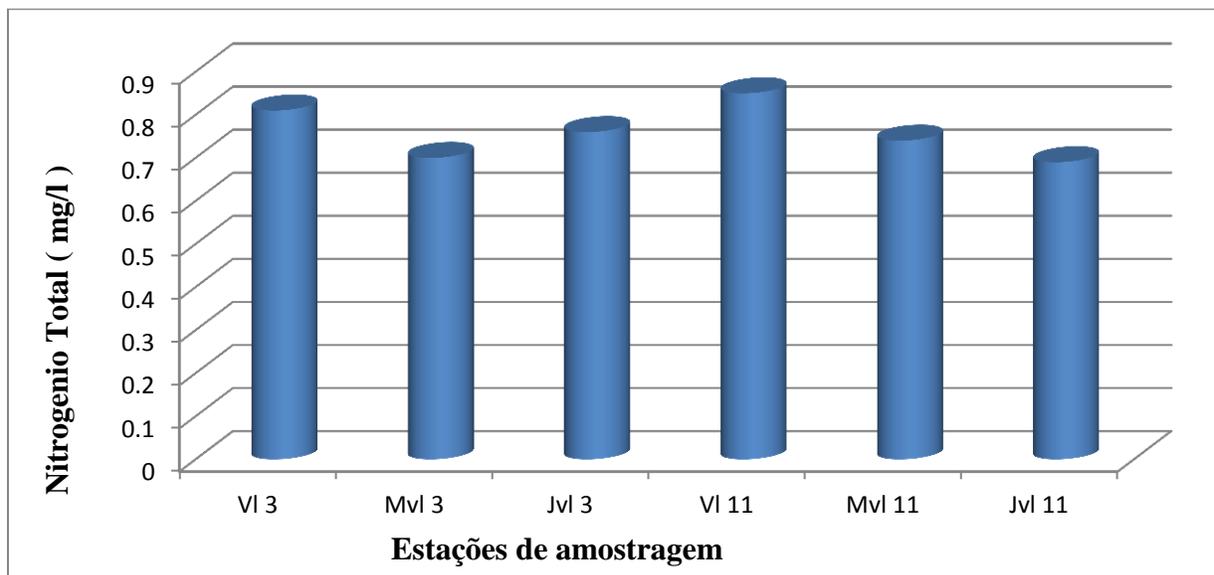


Figura 15: Gráfico das médias de Nitrogénio Total da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e Jusante.

d) Dureza

O gráfico abaixo mostra uma tendência do aumento do valor da Dureza da montante a jusante da vala 3, evidenciando assim que esta vala esta poluindo o rio, estes resultados assemelham-se aos encontrados por Siqueira *et al.*, (2012), Silva *et al.*, (2011) que classifica a dureza em 4 fazes menor que 50 é considerada mole; de 50 a 150 é moderada, de 150 a 300 é dura e acima de 300 e considerada muito dura, de acordo com este autor as águas da vala 3, montante e jusante variam entre mole e moderada. para os pontos da vala 11, o valor da Dureza não varia a jusante, descartando a possibilidade da vala estar a poluir o rio, em termos de uso na irrigação esta água da montante e jusante é mole e a da vala 11 moderada, de acordo com Silva *et al.*, (2011). As águas dos pontos analisados em termos de Dureza variam de mole a moderada, este parâmetro é muito importante quando se trata de sistemas de irrigação pois em elevadas quantidades pode provocar incrustações em tubulações, se a água for destinada ao consumo pode causar sabores desagradáveis, em termos de classificação a melhor é a mole, pois não representa nenhum risco para qualquer das finalidades de uso da água.

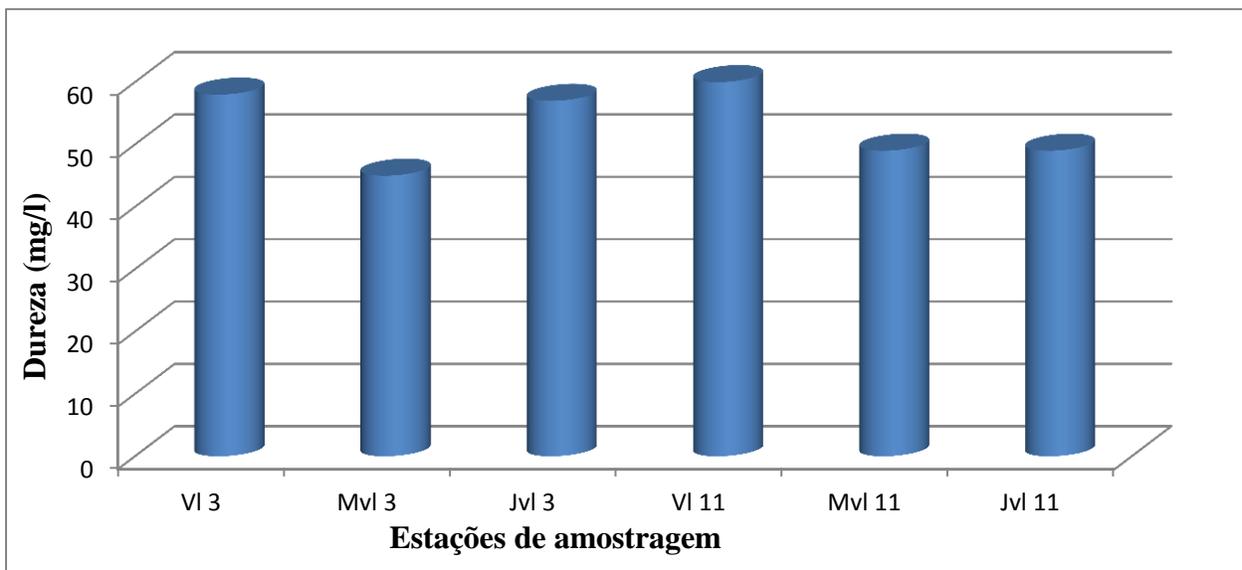


Figura 16: Gráfico das médias da Dureza da Vala 11, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

e) Cálcio

O gráfico abaixo mostra uma tendência do aumento do Ca da montante a jusante, evidenciando que a vala 3 esta contribuindo para a poluição do rio, estas águas encontram-se dentro dos limites para o uso das mesmas na irrigação estabelecidos pela FAO que varia de 0 a 400mg/l, Para Parron (2011), em corpos de águas naturais a concentração de Cálcio esta em torno 15mg/l, para este autor a água do rio esta poluída por cálcio pois passa o limite admitido pelo mesmo. Os pontos da vala 11, verifica-se uma tendência de aumento do Ca da montante a jusante, estes valores encontram se dentro da fixa usual para irrigação de acordo com os limites estabelecidos pela FAO, Para Parron (2011), em corpos de águas naturais a concentração de Cálcio esta em torno 15mg/l, para este autor a água do rio, esta poluída por cálcio pois passa o limite admitido pelo mesmo.

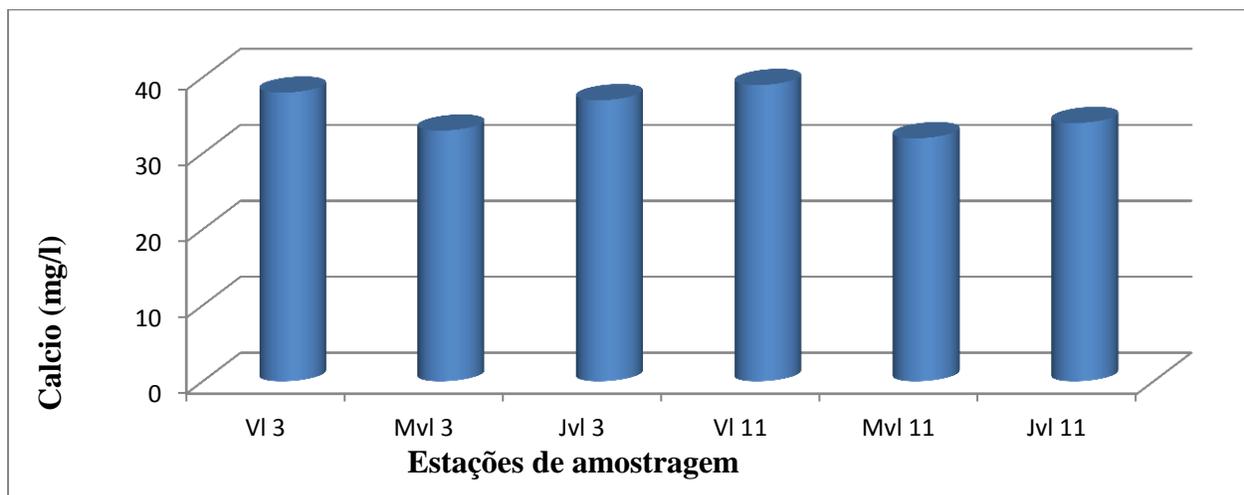


Figura 17: Gráfico das médias de Cálcio da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante

f) Magnésio

O gráfico abaixo mostra uma tendência do aumento do valor de Mg da montante a jusante, evidenciando que a vala 3 esta poluindo o rio, a água destes pontos encontram-se dentro dos limites recomendados para o uso da água na irrigação estabelecidos pela FAO, variam de 0 a 60mg/l, para Parron (2011), a concentração de Magnésio em águas Naturais e de 4mg/l, para este as águas destes pontos não é poluída. Para os pontos da vala 11, verifica-se uma tendência de redução do valor de Mg da jusante a montante, as águas destes pontos encontram se dentro da

faixa usual para irrigação de acordo com a FAO, para Parron (2011), somente a água da montante da vala 11, esta poluída.

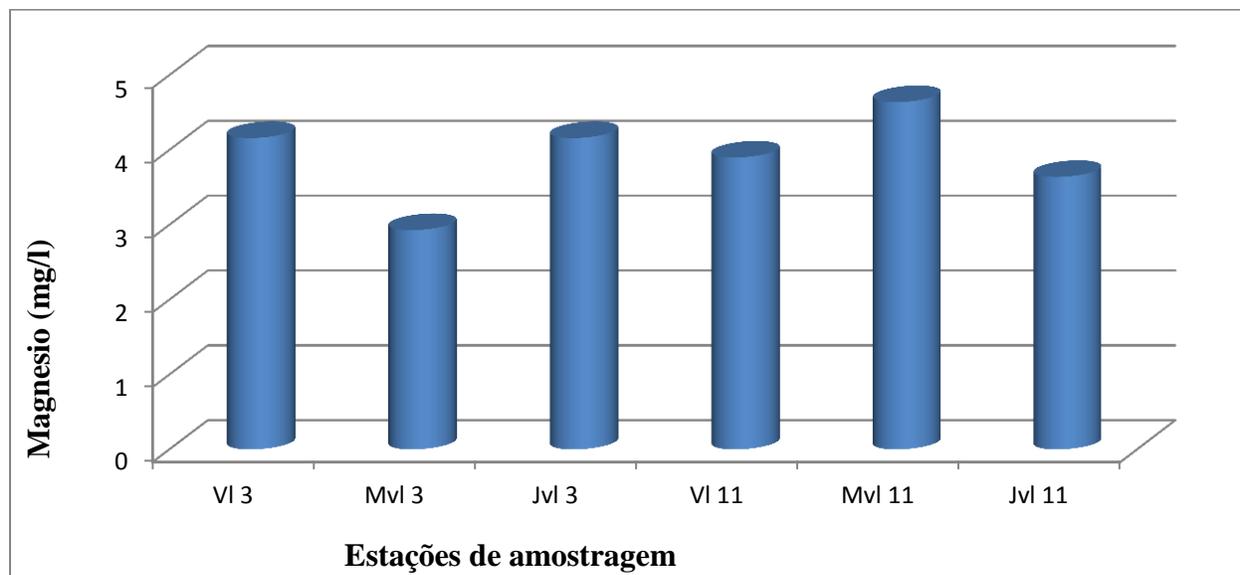


Figura 18: Gráfico das médias de Magnésio da Vala 3, montante e jusante, Vala 11, montante e jusante.

4.5. Alternativas sustentáveis para a gestão de águas residuárias

O processo com microalgas vem merecendo muitos estudos, considerando aspectos da remediação de águas residuárias e da viabilidade económica para recuperar nutrientes, permitindo a aeração em processos consorciados com lodos activados, a redução da emissão de CO₂ e a recuperação de energia (Silveira *et al.*, 2019).

Uma das alternativas sustentáveis de gestão de águas residuárias é o uso de infra-estruturas de tratamento biológico baseado no uso de algas e plantas que reduzem a concentração de poluentes em efluentes, tais sistemas como: Sistemas de lagunagem e Leitões de macrófitas, estes são um dos sistemas de tratamento mais utilizados nos países em via de desenvolvimento, por ser uma das técnicas que exige menos custos de investimento e manutenção.

Johnson e Hunt (2019) analisaram o abatimento de carga poluidora de nutrientes em sistemas de bioretenção. Depois de 16 anos de sua implementação, teve uma redução inicial de nitrogénio total foi de 40% e o fósforo total, 65%; e após 17 anos, essas reduções passaram a 72 e 79%, respectivamente. Gao *et al.* (2015), em seu estudo de caso em área industrial na China,

verificaram também a redução de sólidos suspensos totais, nitrogénio total, Zinco, fósforo e demanda bioquímica de oxigénio. David *et al.* (2015) analisaram a eficiência dos sistemas de biorretencao em áreas de clima semiáridos para a remoção de metais e químicos na água, observaram uma redução da concentração desses poluentes.

5. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo levaram a concluir que as concentrações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, na água drenada para o rio, tendem a um nível preocupante, com indicações de que, a qualidade da água do Rio Limpopo, está a ser directamente influenciada pelas descargas de efluentes agrícolas do Sistema de Regadio de Chókwé. Embora ainda limitado, como tamanho de amostra utilizado e teste de correlação de Pearson, sugere-se que as valas de drenagem estão a poluir o rio. Constatou-se que os parâmetros que caracterizam a composição da maior parte dos efluentes agrícolas foram: Nitrogénio, Fósforo e Nitratos, com concentrações abaixo de 1mg/L.

A qualidade da água do rio mostrou valores de DBO, acima do recomendado pela legislação, sugerindo elevada presença da decomposição da matéria orgânica na água. Concentrações altas deste parâmetro podem colocar em risco as espécies aquáticas, por outro lado parâmetros microbiológicos demonstraram haver poluição da água das valas por esgotos humanos ou proveniente de resíduos pecuários.

Constatado que foi que as águas são descarregadas directamente no leito do Rio Limpopo, surge a necessidade de buscar-se um mecanismo sustentável de gestão de águas residuárias de efluentes agrícolas. É necessário que se abandone o sistema de drenagem de efluentes brutos em corpos de água e se aposte em soluções mais ecológicas e com menos custos para o tratamento de efluentes agrícolas por meio de sistemas de tratamento biológico de efluentes.

Em termos gerais o estudo analisou a qualidade da água drenada para o Rio Limpopo, resultante das actividades agrícolas no regadio de Chókwé e contactou a existência de indícios de contaminação daquela água e elevado potencial para a melhoria do sistema de gestão de efluentes agrícolas.

6. RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- ✓ Realização de estudos mais abrangentes e com maior frequência, que inclua todas as valas do regadio, compare épocas seca e chuvosa, e estude os impactos tanto negativos como positivos do regadio sobre o leito do rio;
- ✓ Que os estudos considerem também aspectos relacionados a alterações climáticas e ambientais causadas pelo homem através da agricultura;
- ✓ Que se estude as alternativas de sistemas de tratamentos de efluentes com viabilidade económica, e que sejam adaptáveis para um País em via de desenvolvimento, como Moçambique.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ayers, R.S. Westcot, D.W. A qualidade de água na agricultura. Tradução de H.R. Gheyi; J.F. de Medeiros; F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB,1991. 208p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29.).
2. Alves, E.D.L. (2016) ‘Influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície: análise por meio de regressão linear múltipla’, *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 38, pp. 345–364.
3. Alaburda, J.; Nishihara, L. Presença de compostos de nitrogénio em águas de poços. *Revista de Saúde Pública*, v. 32, p. 160-165, 1998.
4. Almeida, O. A de. Qualidade da Água de Irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.
5. Anjinho, P. da S. (2019) Modelagem distribuída da poluição pontual e difusa dos sistemas hídricos da bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo, Itirapina-SP. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.
6. Becker, A.C.C. *et al.* (2020) ‘Séries históricas como ferramentas para a verificação de padrões sazonais de estratificação térmica e química na qualidade da água’, *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17 (2020).
7. Blum, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. dos. (Ed.). Reuso de água. Barueri: Manole, 2003. p. 125-174.
8. Borges, S.A. *et al.* (2015) ‘Qualidade da água de irrigação na cultura do tomate de mesa no município de Goianópolis-GO’.
9. Araujo, J.G.S. de (2021) Atividades antrópicas e a qualidade das águas do Rio Ipojuca no município de Caruaru-PE: documentário como proposta para o ensino das Ciências Ambientais. Master’s Thesis. Universidade Federal de Pernambuco.
10. Borges, T.C. de S. (2019) A Gestão dos Recursos Hídricos no Pará: Uma Análise do Uso Múltiplo da Água na Região de Santarém e suas Implicações. PhD Thesis. Universidade Federal do Oeste do Para.
11. Barros, F. M. Dinâmica do Nitrogénio e do Fósforo e estado trófico nas águas do rio Turvo Sujo. (Tese de Doutorado) Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2008.
12. Costa, R. de O. (2021) ‘Tratamento de água cinza visando o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar.’

13. Cabral, G.A.J. (2020) 'Comportamento dos compostos nitrogenados, amônia, nitrito e nitratos, em águas subterrâneas'.
14. Camelo, S.M. *et al.* (2020) 'Modelagem da qualidade da água em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas', *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25, pp. 873–885. doi: [10.1590/S1413415220202019033](https://doi.org/10.1590/S1413415220202019033).
15. Dellamatrice, P.M. and Monteiro, R.T.R. (2014) 'Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, pp. 1296–1301. doi: [10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1296-1301](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1296-1301).
16. De Souza, M. and Ribeiro, A.A. (2019) 'Qualidade da água para fins de irrigação em regiões áridas e semiáridas', *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 13 (4), pp. 355–359.
17. Dos Santos, A.P.R. and de Monteiro, L.R.L. (2018) 'Determinação da Qualidade Microbiológica da Água em Nascente da Unidade de Conservação em Filadélfia, Tocantins; *Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins*, 5(Especial), pp. 74–86.
18. EMBRAPA. Manual de Procedimentos e análises físico-química de água. 2.ed.Rio de Janeiro, 212 p.2011.
19. Ferreira, J.B. (2018) Modelo estatístico para o crescimento da bactéria E. Coli considerando influência de parâmetros físicos-químicos e índice pluviométrico: um estudo de caso no manancial de Cascavel. B.S. thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
20. Fonseca, W.C. and Tibiriçá, C.E.J. de A. (2021) 'Avaliação da influência da estação de tratamento de efluente de Catanduva (SP) na qualidade da água do rio São Domingos', *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 26, pp. 181–191. doi: [10.1590/S1413-415220180157](https://doi.org/10.1590/S1413-415220180157).
21. Hespanhol, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. *Rev. Bras. Rec. Hid.*, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.
22. Oliveira Mesquita, F. *et al.* (2015) 'Formação de mudas de nim sob a salinidade, biofertilizante e drenagem do solo', *Irriga*, 20(2), pp. 193–203.
23. Junior, A. and Ponce, P. (2017) Aprimoramento das rotinas e parâmetros dos processos hidrológicos do modelo computacional Soil and Water Assessment Tool-SWAT. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.

24. Junior, A.S.M. *et al.* (2019) ‘Monitoramento da Concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) em Lagoas de Estabilização’, *INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation* (ISSN 2357-7797), 7(1), pp. 128–146.
25. Queiroz, T.M., Melo, M.T. and Ferreira, F.S. (2018) ‘Qualidade da água para irrigação na comunidade quilombola vão grande, município de Barra do Bugres/MT’, *Revista Brasileira da Agricultura Irrigada*, 12(3), pp. 2613–2620.
26. Lima, V.F. de M. (2015) Dinâmica do fitoplâncton e assimilação de nitrato, amônio e ureia em reservatórios subtropicais com diferentes graus de trofia. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.
27. Lima, L.A. *et al.* (2015) ‘Tolerância da berinjela à salinidade da água de irrigação’, *Revista agro@ambiente on-line*, 9(1), pp. 27–34.
28. Lamarelli, M. C. Grau de trofia em corpos de água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 56.
29. Lira, O. O ; Lemos, A. O. Manual de controlo da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. V1, Brasil 2014.
30. Macedo, C.F. and Sipaubá-Tavares, L.H. (2018) ‘Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações’, *Boletim do instituto de Pesca*, 36(2), pp. 149–163.
31. Mansor, M. T. C. Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do pinhal, Limeira-SP. 2005. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
32. Mendonça, T.P., Petreca, W.L. and de Souza, A.D.G. (2020) ‘ Autodepuração de corpos Hídricos: Estudo do Lançamento de Esgoto Domestico no rio Lambari’, *Geoambiente On-line*, (36), pp. 85–103.
33. Novotny, V. Diffuse pollution from agriculture. *Water Science and Technology*, Great Britain, v.39, n.3, p.1-13, 2003.
34. Pompeu, F.S.S. *et al.* (2016) ‘Ensaio comparativo entre envoltórios de drenos tubulares na drenagem agrícola’, *Magistra*, 28(1), pp. 29–35.

35. Primo, K.R. (2020) 'Avaliação ambiental de trechos urbanos de córregos de leito concertado após intervenções one-off visando a revitalização'.
36. Pedrotti, A. *et al.* (2015) 'Causas e consequências do processo de salinização dos solos', *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2), pp. 1308–1324.
37. Parron, L. M.; Muniz, H. F.; Pereira, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2011.
38. Pereira, C.C. and Lima, J.D. (2015) 'As influencias dos usos das Terras na Bacia Do Córrego Brejo Alegre de Araguari.', *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 3 (19).
39. Pinto.D.F; Silva. M. A; Mello, R. C. Qualidade Água do Ribeirão Lavrinha na Região Alto do Rio Grande-MG, 2009.
40. Jane, A., F. 2017. Tratamento de Águas Residuais e Gestão de Lamas Fecais em Moçambique: Ponto de Situação, Desafios e Perspectivas, Tese de mestrado.
41. Santos, V.L.P. *et al.* (2019) 'Monitoramento da qualidade físico-química da água do rio Bacacheri, Curitiba–Paraná-Brasil', *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, 2(2).
42. Souza, C.A. *et al.* (2016) 'Análise Comparativa da Qualidade de Água Para irrigação em três Sistemas Hídricos Conectados no Semiárido.', *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI*, 10 (6).
43. Souza, M. de O. (2019) 'Análise da qualidade da água da lagoa da salina-Morada Nova/CE'
44. Sperling, V., M., 2002. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais. 2ª Edição Ampliada, Vol.3, DESA Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
45. Santos, C. A. C.; Brito, J. I. B.; Rao, T. V. R.; Menezes, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1,p. 39-47, 2009.
46. Silveira, B.A. (2017) Tratamento de água de abastecimento com aplicação da Moringa oleífera líquida e em pó em diferentes concentrações de solução salina. B.S. thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
47. Silva, Ítalo Nunes. Qualidade de água na irrigação. ACSA - Agro-pecuária Científica no Semiárido, v.07, n 03.2011. 15 p.

48. Schneider, J.A. (2017) Simulação e avaliação da qualidade da água em rios: estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Forqueta, RS. B.S. thesis.
49. Scalize, P.S. *et al.* (2015) ‘Avaliação da autodepuração do Ribeirão das Cruzes através da depressão do oxigênio dissolvido após receber efluente da ETE-Araraquara’.
50. Soares, F.B. (2015) ‘Planejamento e zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do manancial Balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente-São Paulo/Brasil’.
51. Zanini, H. L. H. T.; Amaral, L. A. do.; Zanini, J. R.; Tavares, L. H. S. Caracterização da água da microbacia do córrego Rico avaliada pelo índice de qualidade de água e de estado trófico. 2012

8.APÊNDECES

Tabela 6: Resultados das análises da primeira e segunda colecta de dados

colecta	Fontes	PH	CE µs/cm	Turb NTU	OD mg/l	TDS mg/l	C.T Ufc/100ml	C.F Ufc/100ml	NI mg/l	Du mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	N mg/l	DBO mg/l	P mg/l	DQO mg/l
M1	VI 3	6.84	905	87.4	5.06	496	200	100	0.66	74	46	4.39	0.88	6.26	0.07	2.8
M1	J.vl 3	6.97	878	93.31	5.86	434	200	200	0.73	72	44	4.39	0.83	5.61	0.07	3.2
M1	M.vl 3	6.73	640	47.15	5.86	434	100	38	0.69	50	36	3.41	0.77	6.11	0.06	2.78
M1	VI 11	6.38	547	2.33	4.98	272	300	300	0.78	42	28	3.41	0.86	5.9	0.06	3.6
M1	J.vl 11	6.99	518	6.12	4.81	256	300	200	0.58	42	30	3.92	0.7	6.22	0.04	2.6
M1	M.vl 11	6.73	535	5.27	4.93	268	100	30	0.62	40	28	3.92	0.76	6.57	0.06	2.75
M2	vl 3	6.8	554	130.23	4.81	374	300	200	0.68	42	30	3.92	0.73	6.22	0.05	3.16
M2	J.vl 3	6.68	567	88.36	5.11	283	100	60	0.64	42	30	3.92	0.68	6.31	0.07	2.77
M2	M.vl 3	6.52	575	73.42	4.97	286	100	100	0.6	40	30	2.44	0.63	6.37	0.04	2.31
M2	VI 11	6.87	1099	120.12	4.89	540	200	200	0.66	78	50	4.39	0.83	7.2	0.05	3.11
M2	J.vl 11	6.61	720	80.19	5.03	360	100	50	0.62	56	38	4.39	0.67	6.06	0.05	2.72
M2	M.vl 11	6.93	754	70.46	4.9	374	200	200	0.68	58	36	5.36	0.71	5.98	0.06	2.96

Tabela 7: Resultados das médias da primeira e segunda colecta de dados.

Fontes	pH	CE	Turb	OD	TDS	C.T	C.F	NI	Du	Ca	Mg	N	DBO	F	DQO
VL3_P	6.820	729.5	108.815	4.935	435	250	150	0.67	58	38	4.155	0.805	6.24	0.06	2.98
VL3_J	6.825	722.500	90.835	5.485	358.500	150.000	130.000	0.685	57.000	37.000	4.155	0.755	5.960	0.070	2.985
VL3_M	6.625	607.500	60.285	5.415	360.000	100.000	69.000	0.645	45.000	33.000	2.925	0.700	6.240	0.050	2.545
VL11_P	6.625	823.000	61.225	4.935	406.000	250.000	250.000	0.720	60.000	39.000	3.900	0.845	6.550	0.055	3.355
VL11_J	6.800	619.000	43.155	4.920	308.000	200.000	125.000	0.600	49.000	34.000	4.155	0.685	6.140	0.045	2.660
VL11_M	6.830	644.500	37.865	4.915	321.000	150.000	115.000	0.650	49.000	32.000	4.640	0.735	6.275	0.060	2.855