



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

Monografia Científica

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUPERFICIAL USANDO INDICES DE
QUALIDADE DE ÁGUA NO DISTRITO DE CHÓKWÈ**

Trabalho de culminação do curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Licenciatura
em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural

Autor: Elton Aizeque Manhique

Tutor: Doutor Eng. Lateiro Salvador de Sousa, PhD

Lionde, Maio de 2024



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia científica sobre “Avaliação da Qualidade de Água Superficial usando Índices De Qualidade de Água no Distrito de Chókwe”, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para fim das actividades de investigação no âmbito de trabalho de culminação de curso em forma de monografia científica.

Monografia científica defendida e aprovada no dia 29 de Abril de 2024

Lateiro Salvador de Sousa
Júri

(Dr. Eng Lateiro Salvador de Sousa. PhD)

Philipa Nomaqugu Ncube

(Eng. Philipa Ncube MSc)

Algardás Mabunda

(Eng. Algardás Mabunda)

Lionde, ____ de Maio de 2024

Índice

ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	iv
DECLARAÇÃO	Erro! Marcador não definido.
DEDICATÓRIA	vi
AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	viii
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema e Justificativa	2
1.2. Objectivos	2
1.2.1. Geral	2
1.2.2. Específicos	2
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Qualidade de água	3
2.2. Índice de Qualidade de Água	3
2.2.1. Indicadores e índices	3
2.3. Indicadores para a Determinação do Índice de Qualidade de Água	5
2.3.1. Potencial Hidrogénico (pH)	5
2.3.2. Turbidez (UNT)	6
2.3.3. Oxigénio Dissolvido (OD)	6
2.3.4. Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO)	6
2.3.5. Sólidos Totais	6
2.3.6. Nitrogénio Total	6
2.3.7. Fósforo Total	6

2.3.8.	Temperatura.....	7
2.3.9.	Coliformes Fecais	7
2.4.	Parâmetros do Índice de Qualidade de Água e seus pesos	7
2.5.	Razão de adsorção de sódio (RAS)	7
2.6.	Classificação da água para irrigação segundo Richards	8
2.6.1.	Classificação das águas segundo as suas classes.....	8
III.	METODOLOGIA	11
3.1.	Caracterização da Área de Estudo.....	11
3.1.1.	Localização.....	11
3.1.2.	Clima.....	11
3.1.3.	Relevo e solos	12
3.1.4.	Hidrologia.....	12
3.2.	Determinação dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água.....	12
3.3.	Determinação do IQA.....	13
3.4.	Procedimentos de Campo	14
3.4.1.	Materiais.....	15
3.4.2.	Colecta de Dados	16
3.4.3.	Frequência de Amostragem.....	16
3.4.4.	Análise e interpretação dos dados.....	16
IV.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1.	Determinação dos parâmetros físico-químicos da água superficial no rio Limpopo e no Regadio	17
4.2.	Curvas de variação dos parâmetros do IQA	25
4.3.	Determinação do índice de qualidade de água.....	30
4.3.1.	IQA no leito do rio Limpopo.....	30

4.3.2. IQA no sistema de regadio de Chókwè.....	31
4.3.3. Correlações do IQA e seus parâmetros	32
4.4. Determinação da evolução espaço-temporal do IQA.....	37
4.5. Qualidade de Água para irrigação	39
4.5.1. Correlação	39
V. CONCLUSÕES	44
VI. RECOMENDAÇÕES.....	45
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Limite dos parâmetros usados no IQA par consumo humano	3
Tabela 2: Categorias de classificação do IQA	5
Tabela 3: Categorias de classificação do IQA	5
Tabela 4: Pesos dos Parâmetros para o cálculo do IQA	7
Tabela 6: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Macarretane	32
Tabela 7: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Guijá	33
Tabela 8: Corelação do IQA e seus parâmetros na linha férrea.....	33
Tabela 9: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Lionde.....	34
Tabela 10: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Conhane	35
Tabela 11: Correlação entre os parâmetros de qualidade de água para irrigação do rio.....	39
Tabela 12: Correlação entre os parâmetros de qualidade de água para irrigação do regadio.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Agregação do índice de qualidade de água	4
Figura 2: Diagrama para a interpretação das águas para irrigação	10
Figura 3: Mapa do Distrito de Chókwè.....	11
Figura 4: Curvas médias de variação dos parâmetros do IQA para consumo humano	14
Figura 5: Mapa de Pontos de Colecta de Amostras	15
Figura 6: Materiais usados na colecta de amostras.....	15
Figura 7: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte Macarretane no rio Limpopo	17
Figura 8: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte Guijá no rio Limpopo.....	18
Figura 9: Estatística descritiva para os parâmetros da linha férrea no sistema de regadio de Chókwè.....	19
Figura 10: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte de Lionde no sistema de regadio de Chókwè.....	20
Figura 11: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte de Conhane no sistema de regadio de Chókwè	21
Figura 12: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Macarretane	25
Figura 13: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Guijá.....	26
Figura 14: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte linha férrea.....	27
Figura 15: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Lionde	28
Figura 16: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Conhane.....	29
Figura 17: IQA do leito do rio Limpopo.....	31
Figura 18: IQA do sistema de regadio de Chókwè.....	31
Figura 19: Evolução espaço-temporal do IQA.....	37
Figura 20: Concentração dos valores de pH no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè.....	40
Figura 21: Concentração dos valores de Mg^{2+} no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè	40
Figura 22: Concentração dos valores de CE no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè.....	41
Figura 23: Concentração dos valores de NO_3 no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè.....	41

Figura 24: Concentração dos valores de Ca^{2+} no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè.....42

Figura 25: Concentração dos valores de P no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè.....42

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% - Percentagem

°C – Graus Celcius

(mmolc.L-1) ½ - Milimol carga por litro

ANA: Agência Nacional de Águas

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

ha - hectares

IQA/ WQI: Índice de Qualidade de Água

ISPG: Instituto Superior Politécnico de Gaza

km²- Quilómetros quadrados

meq.L-1 – Milequivalente por litro

mg/L: Miligrama por Litro ml

ml – Mililitros

NFS – Fundação Nacional de Saneamento

NTK: Nitrogênio Total NMP: Número Mais Provável

OD: Oxigênio Dissolvido

OMS- Organização Mundial da Saúde

pH: Potencial Hidrogeniônico

RAS – Razão de Adsorção de Sódio

UNT: Unidade Nefelométrica de Turbidez



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que esta Monografia de Trabalho de Culminação do Curso é resultado da 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, Maio de 2024

(Elton Aizeque Manhique)

Elton Aizeque Manhique

DEDICATÓRIA

Dedico essa conquista aos meus pais Aizeque Simão Manhique e Felismina Aurélio Novidade Manhique, por terem permitido que eu consiga alcançar esse feito, a irmã que me deu forças para chegar até aqui, obrigado por tudo. Dedico esta monografia com todo o meu carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, que sem ele nada disso seria possível, pela graça que ele tem me concedido a cada dia que passa, por ter me protegido em momentos de aflição, me consolado em momentos de angústia e me dado ânimo em dias de aflição obrigada meu Senhor.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que me apoiaram e me ajudaram a chegar até aqui. Sem o amor, a compreensão e o incentivo de cada um de vocês, eu não teria conseguido concluir esta jornada acadêmica. Agradeço aos meus pais e irmã Núsia Manhique, que sempre me apoiaram em todas as decisões que tomei, e nunca mediram esforços para me dar uma boa educação. Obrigado por me ensinarem a importância do estudo e por me encorajarem a seguir em frente, mesmo diante das adversidades.

Agradecer ao meu tutor Engo. Lateiro Salvador de Sousa primeiro por dar-me a grande responsabilidade de fazer esse estudo, por acreditar em minhas capacidades, pelos valiosos conhecimentos que carregarei pelo resto da vida, pela paciência, dedicação, pelos ensinamentos no decorrer dos nossos encontros de orientação. Sem palavras para definir tamanha gratidão.

Agradecer aos meus amigos e companheiros de sempre, mas concretamente aos meus “BROS, Team Diamond” que tive a oportunidade de alguns conhecer aqui e outros fortalecer o que já existia antes, Demilton Notisso, Sancho Owen Eduardo, Alfredo Júlio, Aílton de Mércio, Onésia Mavile, Agnércio Sambo, Kátia Samora, Rostina Mabunda, Mirza Xavier, Míngues Miguel e Áuria Sadózua que ao longo do tempo se tornaram pessoas nas quais eu dependeria para tudo, me ofereceram suporte nesses longos anos e momentos que jamais esquecerei por vós sou imensamente grato. Agradeço também aos meus colegas e amigos que fizeram comigo o curso.

Agradeço ao corpo de docentes do curso de EHAAR pelo todo conhecimento drenando, que me fará merecedora do prefixo, meu muito obrigado. E por fim agradeço a todos que direta ou indiretamente deram o seu contributo durante todo curso.

RESUMO

O monitoramento da qualidade de água superficial é uma ferramenta utilizada na obtenção e geração de informações que possam ser utilizadas para definição das condições presentes de qualidade de água. Com o objectivo de avaliar o índice de qualidade de água no leito do rio Limpopo e nos sistemas de regadio de Chókwè para consumo humano e irrigação foram analisados 13 parâmetros nomeadamente: potencial hidrogénico (pH), turbidez (UNT), oxigénio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigénio (DBO), sólidos totais, nitrogénio total, fosforo total, temperatura (t), coliformes fecais, coliformes totais, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e a condutividade eléctrica para consumo humano e irrigação na época chuvosa. As amostras foram colectadas em 5 pontos (2 no Rio Limpopo e 3 nos sistemas de regadio de Chókwè), num período de 3 meses (Fevereiro à Abril de 2023) e foram levadas imediatamente ao laboratório provincial de higiene de água e alimentos localizado no distrito de Xai-Xai na província de Gaza. O Rio Limpopo, assim como o sistema de regadio de Chókwè se classificam como tendo qualidade aceitável para o consumo humano em todos os pontos, devendo passar por um tratamento prévio antes do consumo. No que se refere à irrigação todos os pontos apresentaram boa qualidade, implicando que a água pode ser usada para irrigar as culturas. Os resultados da evolução espaço-temporal na água do leito do Rio Limpopo e do sistema de regadio de Chókwè mostram evolução nos pontos ponte linha férrea e ponte Lionde, os pontos ponte Conhane, Macarretane e ponte Chókwè-Guijá tiveram tendências no aumento do IQA, mas sem mostrar nenhuma evolução devido a factores humanos e não humanos como a prática de pescas e aumento de precipitações, mostrando que há necessidade de fazer tratamentos convencionais e não convencionais nessas águas antes do seu consumo.

Palavras-chave: Qualidade de Água; Índices de Qualidade de Água; Sistema de Regadio de Chókwè, Rio Limpopo.

ABSTRACT

Surface water quality monitoring is a tool used to obtain and generate information that can be used to define water quality conditions. In order to evaluate the water quality index in the Limpopo riverbed and in the Chókwè irrigation systems for human consumption and irrigation, 13 parameters were analyzed, namely: hydrogen potential (pH), turbidity (UNT), dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), total solids, total nitrogen, total phosphorus, temperature (t), fecal coliforms, coliforms, calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺) and electrical conductivity for human consumption and irrigation in the rainy season. The samples were collected at 5 points (2 in the Limpopo River and 3 in the Chókwè irrigation systems), over a period of 3 months (February to April 2023) and were taken immediately to the provincial water and food hygiene laboratory located in the Xai-xai district of Gaza province. The Limpopo River, as well as the Chókwè irrigation system, are classified as having acceptable quality for human consumption at all points, with regard to irrigation all points presented good quality, implying that the water can be used to irrigate crops. The results of the spatio-temporal evolution in the water of the Limpopo riverbed and the Chókwè irrigation system show evolution at the railway bridge and Lionde bridge points, the Conhane bridge, Macarretane and Guijá bridge points had tendencies in the increase of the WQI, but without showing any evolution due to human and non-human factors such as fishing and increased rainfall. showing that there is a need to carry out conventional and unconventional treatments in these waters before their consumption.

Keywords: Water Quality: Water Quality Indexes; Chókwè Irrigation System, Limpopo River.

I. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural imprescindível aos outros seres vivos, primário para os ecossistemas, renovável, contrariamente à generalidade dos recursos naturais, o crescimento demográfico e o desenvolvimento socioeconômico são acompanhados de aumentos na demanda por água, cuja quantidade e qualidade são de fundamental importância para a saúde e o desenvolvimento de qualquer comunidade (Zanini *et al.*, 2010).

Na modernidade são verificadas alienações regionais com respeito a disponibilidade da qualidade de água, situação muito problemática nas zonas áridas e semi-áridas onde as condições climatológicas proporcionam escassez hídrica, ou seja, baixa taxa de precipitação e temperaturas elevadas (Wang *et al.*, 2022).

A perda de qualidade da água pela ação antrópica torna indispensável o monitoramento da qualidade, o IQA vem sendo usado desde os meados de década de 70 com o objectivo de simplificar a interpretação das informações de qualidade da água para o público e autoridades dos sectores competentes ligados a este recurso natural limitado (Leit *et al.*, 2013).

O primeiro índice desenvolvido foi proposto por Horton, em 1965, posteriormente revisado pela *National Sanitation Foundation* (NSF) (Fortes, 2018). Segundo Garcia *et al.*, (2018) o Índice de Qualidade de água teve como a base a opinião de 142 especialistas que definiram os padrões de interesse para o IQA para consumo Humano, mais tarde Kahraman e Kaya desenvolveram o IQA para irrigação, existem vários índices ambientais, más o referencial mais utilizado é o WQI - *Water Quality Index* - proposto pela *National Sanitation Foundation* (NSF), em 1970. Os índices simplificam as concentrações de diversos parâmetros em formas simples e objetivas para interpretação dos dados, onde estabeleçam critérios numéricos ou normativos de fácil acompanhamento em programas ambientais de qualidade da água, apresentados em forma de tabelas, onde cada classe representa uma faixa de variação dos valores de determinados parâmetros (Silva *et al.*, 2017). Estudos realizados por Santa *et al.*, (2016) no Brasil, Kouadri *et al.*, (2021) na Argélia e Shanmugasundharam *et al.*, (2023) na India mostram que o IQA é uma ferramenta que demonstra as alterações na qualidade da água bruta ao longo do tempo, a viabilidade de seu tratamento, a

influência dos parâmetros do IQA em sua composição, assim como o prognóstico de sua qualidade no futuro.

Este trabalho aborda aspectos sobre o índice da qualidade de água do Rio Limpopo e Regadio para consumo humano e irrigação respectivamente, pois os índices reflectem directamente as interacções dessa água com o meio ambiente e intervenções humanas, o uso de indicadores consiste no emprego de variáveis que correlacionam com as alterações de um sistema, essas interações vão ser o ponto de partida para a avaliação da qualidade da água o local a ser estudado.

1.1. Problema e Justificativa

O Distrito de Chókwe apresenta como base de subsistência a agricultura e pecuária, actividades que são praticadas ao longo das margens dos cursos de água. Assim sendo, essas actividades tornam-se possíveis fontes que contribuem para a destruição dos ecossistemas que resulta na poluição dos cursos de água através da aplicação excessiva de agrotóxicos, fertilizantes no solo, que por meio da irrigação percolam para os cursos de água e pasto que ocorre na margem do Rio. E Essas actividades praticadas de forma inadequada tornam vulnerável a água para o uso doméstico aos 14 milhões de pessoas abrigadas pela bacia do Limpopo tornando indispensável o monitoramento da mesma.

O monitoramento da qualidade de água é a forma pela qual se pode realizar análises contínuas da sua qualidade, e esse monitoramento pode acarretar custos elevados desde a colecta até as análises das amostras, fazê-lo a partir do IQA os custos e pode garantir um monitoramento contínuo da qualidade de águas superficiais.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

- ✓ Avaliar a qualidade de água para consumo humano e irrigação usando Índices de Qualidade de Água no leito do Rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwe.

1.2.2. Específicos

- ✓ Determinar os parâmetros físico-químicos da água superficial no Rio Limpopo e no Regadio;
- ✓ Determinar os índices de qualidade de água no Rio Limpopo e no Regadio;
- ✓ Determinar a evolução do índice de qualidade de água do Rio Limpopo e no Regadio.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Qualidade de água

A qualidade da água está ligada às suas características físicas, químicas e biológicas, e sua condição em função dos diferentes usos a que se destina (Garcia *et al.*, 2018). As modificações que ocorrem nas características num curso de água de alguma forma alteram o equilíbrio e a dinâmica dos corpos da água, estão associados a possíveis poluições.

Tabela 1: Limite dos parâmetros usados no IQA par consumo humano

Parâmetros	Unidades	MISAU	OMS
PH	-	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Turbidez	NTU	5	5
Temperatura	°C	-	-
Coliformes Fecais	Ufc/100ml	Ausente	Ausente
Oxigênio Dissolvido	mg/l	-	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l	-	-
Sólidos Totais	mg/l	1000	1000
Nitrogênio Total	mg/l	50	50
Fósforo Total	mg/l	0.1	0.1

Fonte: (MISAU, 2004) e (OMS, 2006)

2.2. Índice de Qualidade de Água

O índice de qualidade de água é um meio para se fazer o monitoramento de águas superficiais, isto é, prevendo possível deterioração dos recursos hídricos de forma resumida ao longo do tempo (Fortes, 2018).

2.2.1. Indicadores e índices

Para entender acerca de indicadores e índices está ilustrada uma pirâmide de informações com os diferentes graus de agregação que envolve cada um destes elementos (**Figura 1**):

- ✓ A base da pirâmide é composta por dados brutos (variáveis ou parâmetros) com baixa agregação, matéria prima para a composição dos demais constituintes da pirâmide.
- ✓ No topo da pirâmide temos os índices com um grau de agregação de informações mais complexo, representando ponderação numérica de um conjunto de variáveis ou parâmetros.
- ✓ A base da pirâmide, apresenta os dados não lapidados, matéria prima para a produção de indicadores. São números brutos que ainda não sofreram qualquer espécie de tratamento

estatístico, podem ainda ser denominados valores quantitativos referentes a um facto ou circunstância que isoladamente não traduzem os fenômenos a que se destinam, só são representativos quando capazes de gerar informação mediante tratamento e agregação de outros dados, ou quando convertidos em indicadores (Fortes, 2018).

- ✓ No segundo nível da pirâmide aponta-se a informação, equivalente ao dado contextualizado.

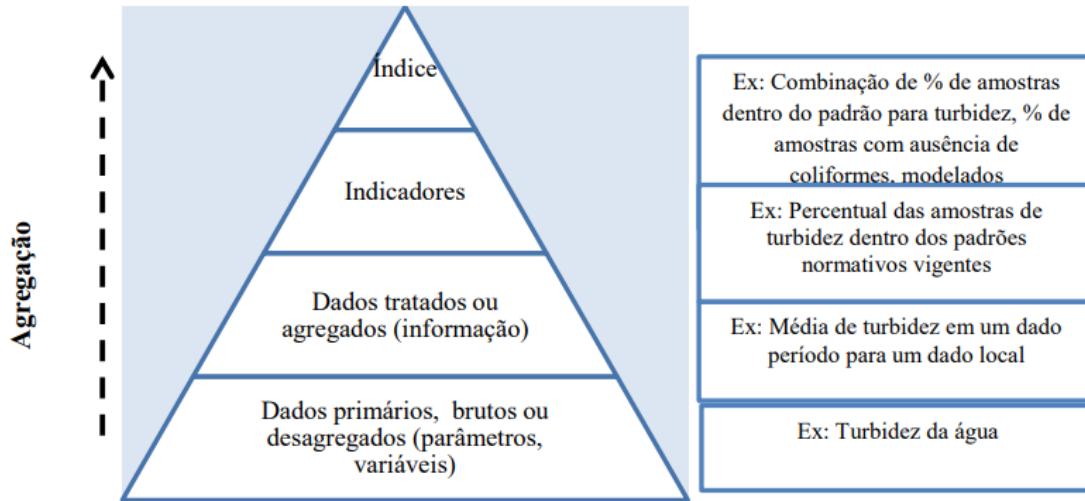


Figura 1: Agregação do índice de qualidade de água

Fonte: (Fortes, 2018)

Para esse propósito foram estabelecidas curvas de variação das águas e seus pesos relativos, baseando-se em alguns parâmetros, na década de 70, a CETESB adaptou o índice de forma a esse índice ser incorporado por nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação do índice de qualidade das águas superficiais (Suvarna *et al.*, 2020).

O IQA é calculado pela fórmula:

$$IQA = \sum_{i=1}^n q_i \cdot w_i \quad (1)$$

Onde:






IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e:

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade:






n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA

Tabela 2: Categorias de classificação do IQA

Valor	Cor	Categoria
$80 \leq \text{IQA} \leq 100$		Muito boa
$52 \leq \text{IQA} < 80$		Boa
$37 \leq \text{IQA} < 52$		Aceitável
$20 \leq \text{IQA} < 37$		Má
$0 \leq \text{IQA} < 20$		Muito Má

Fonte (CETESB)

Tabela 3: Categorias de classificação do IQA

Valor	Cor	Categoria	Significado
$91 < \text{IQA} \leq 100$		Muito boa	Águas apropriadas para tratamento convencional.
$71 < \text{IQA} \leq 90$		Boa	
$51 < \text{IQA} \leq 70$		Aceitável	
$26 < \text{IQA} \leq 50$		Má	Águas impróprias para tratamento convencional, sendo necessários tratamentos avançados.
$0 < \text{IQA} \leq 25$		Muito Má	

Fonte: (IGAM-MG)

2.3. Indicadores para a Determinação do Índice de Qualidade de Água

2.3.1. Potencial Hidrogénico (pH)

O pH representa o equilíbrio entre iões H^+ e iões OH^- , varia de 1 a 14. O pH é proporcional a solubilidade de substâncias, na intensidade da cor, na distribuição das formas livre e ionizada de vários compostos químicos e na toxicidade de alguns elementos, o pH é influenciado pela quantidade de matéria orgânica decomposta, isto é, quanto maior a quantidade de matéria orgânica presente na água, menor será o pH, pois os ácidos são produzidos no processo de decomposição da matéria orgânica (Fikadu, 2022).

2.3.2. Turbidez (UNT)

Turbidez é a presença de partículas em suspensão, (bactérias, siltes, argilas, plâncton), que provocam uma alteração na penetração da luz na água, criando uma zona eufótica, e essas partículas em suspensão podem servir de abrigo para micro-organismos patogênicos (Piveli, 2004).

2.3.3. Oxigênio Dissolvido (OD)

O teor de oxigênio dissolvido expressa a quantidade de oxigênio dissolvido presente no meio, sendo que a sua concentração está sujeita às variações diárias e sazonais em função da temperatura, da actividade fotossintética, da turbulência da água e da vazão do rio e é relevante pois ele serve para detectar impactos ambientais como a euforização e poluição orgânica (Silva *et al.*, 2020).

2.3.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Demanda bioquímica de oxigênio é a quantidade de oxigênio que as bactérias necessitam para a decomposição da matéria orgânica em mg/l, ou seja, quantidade de oxigênio que as bactérias precisam para estabilizar a matéria orgânica que é directamente proporcional a concentração da matéria biodegradável, ele é realizado em um período de cinco dias chamado de período de incubação, a temperatura constante, e é medida pela diferença do OD antes e depois do período de incubação (Leit *et al.*, 2013).

2.3.5. Sólidos Totais

Considera-se sólidos totais a todas as impurezas presentes na água que contribuem para a carga de sólidos presentes na água, excetuando os gases dissolvidos (Silva *et al.*, 2019).

2.3.6. Nitrogênio Total

É um nutriente, quando presente na em altas quantidades provoca a eutrofização, de acordo com Sperling (2014), a determinação a forma predominante do nitrogênio (nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito), vão indicar o estágio de poluição de um curso de água, se é recente ou não, de forma orgânica ou inorgânica, ou ainda se é remota.

2.3.7. Fósforo Total

O fosforo é um elemento importante, pois a sua ausência pode causar baixa produtividade da água, o fosforo estar presente nas formas de ortofosfatos (fertilizantes fosfatados vindos da

agricultura), polifosfatos (dejectos industriais e de esgotos domésticos) e fosforo orgânico (Bonifácio & Nóbrega, 2021).

2.3.8. Temperatura

A temperatura varia de acordo com região dos cursos de água, altitude, latitude, época do ano, profundidade e dia, ela é fundamental para os processos biológicos, químicos e bioquímicos. A temperatura é inversamente proporcional a solubilidade dos gases e minerais (Bonifácio & Nóbrega, 2021)

2.3.9. Coliformes Fecais

São bactérias que toleram temperaturas acima de 40°C e reproduzem-se em menos de 24 horas, são importantes na determinação da contaminação fecal (Ucker *et al.*, 2013).

2.4. Parâmetros do Índice de Qualidade de Água e seus pesos

Tabela 4: Pesos dos Parâmetros para o cálculo do IQA

Parâmetros de IQA	Peso
OD	0,17
Coliformes Fecais	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Temperatura	0.10
Nitrogénio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: (Fortes, 2018)

2.5. Razão de adsorção de sódio (RAS)

Este índice indica a proporção relativa em que se encontra o Na⁺ em relação com o Ca²⁺ e o Mg²⁺, catiões divalentes que competem com o sódio pelos lugares de intercâmbio do solo, o RAS é de grande importância quando há predominância do ião sódio, que induzirá trocas de iões cálcio e magnésio pelos de sódio nos solos, o que pode conduzir à degradação do mesmo, com a consequente perda de sua estrutura e permeabilidade (ALMEIDA, 2010).

A RAS é expressada em raiz quadrada do milequivalente por litro (meq.L⁻¹)^{1/2} ou do milimol carga por litro (mmolc.L⁻¹)^{1/2}, e serve como indicadora do perigo de sodicidade ou alcalinidade

do solo, sendo os valores da concentração dos elementos expressos em meq.L^{-1} e a RAS é definida pela equação:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}} (\text{meq.L}^{-1})^{1/2} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} (\text{mmol}_c.\text{L}^{-1})^{1/2} \quad (2)$$

Porções comparativamente altas de sódio ou baixas de cálcio no solo e água, diminuem a velocidade com que a água de irrigação se infiltra na superfície do solo. Esta redução pode adquirir tal magnitude, que as raízes das plantas não admitam água suficiente entre as irrigações.

2.6. Classificação da água para irrigação segundo Richards

A classificação da água para irrigação segundo Richard é feita a partir de um diagrama onde, as águas se repartem em quatro classes (C1 a C4), com estima a sua condutividade elétrica (CE), isto é, em função de sua concentração total de sais solúveis, e outras quatro classes (S1 a S4), segundo sua sodicidade, fundamentada especialmente no efeito que tem o sódio trocável sobre a situação física do solo. A combinação destes dois índices, CE e RAS, consente instituir diferentes tipos de águas, ficando reconhecida cada uma delas pela inicial de cada um dos índices e subíndices numéricos (ALMEIDA, 2010).

2.6.1. Classificação das águas segundo as suas classes

Quanto a Condutividade elétrica (CE) as águas podem ser classificadas em:

- **C1 – água de baixa salinidade (CE entre 0 e 250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C).** Pode ser usada para irrigação da maior parte dos cultivos, em quase todos os tipos de solos com muito pouca possibilidade de que se fortaleça a salinidade, pode precisar de lixiviação em solos de muito baixa permeabilidade.
- **C2 – água de salinidade média (CE entre 250 e 750 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C).** Pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.
- **C3 – água de salinidade alta (CE entre 750 e 2250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C).** Não pode ser usada em solos cuja drenagem seja deficiente. Mesmo com drenagem adequada pode necessitar de práticas especiais de controle da salinidade, devendo, portanto, selecionar unicamente aquelas espécies vegetais muito tolerantes a sais.

- **C4 – água de salinidade muito alta (CE entre 2250 e 5000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C).** Não é apropriada para irrigação sob condições ordinárias, porém pode ser usada ocasionalmente em casos muito características. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem apropriada, devendo aplicar um excesso de água para alcançar uma boa lixiviação; devem ser selecionados cultivos altamente tolerantes a sais.

Quanto a concentração total de sais solúveis:

- **S1 – água com baixo conteúdo em sódio ($\text{RAS} \leq 18,87 - 4,44 \log \text{CE}$).** Pode ser usada para a irrigação na maioria dos solos com pouca probabilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável. Não obstante, os cultivos sensíveis, como algumas fruteiras e abacate, podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.
- **S2 – água com conteúdo médio em sódio ($18,87 - 4,44 \log \text{CE} < \text{RAS} \leq 31,31 - 6,66 \log \text{CE}$).** Pode ser em solos de textura fina o sódio representa um perigo considerável, mais ainda se ditos solos possuem uma alta capacidade de intercâmbio de catiões, especialmente em condições de lixiviação deficiente, a menos que o solo contenha gesso. Estas águas só podem ser usadas em solos com textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade.
- **S3 – água com alto conteúdo de sódio ($31,31 - 6,66 \log \text{CE} < \text{RAS} \leq 43,75 - 8,87 \log \text{CE}$).** Pode gerar níveis tóxicos de sódio trocável na generalidade dos solos, pelo que estes necessitarão práticas especiais de manuseio, boa drenagem, fácil lixiviação e aporte de matéria orgânica. Os solos com alto conteúdo de gesso podem não desenvolver níveis prejudiciais de sódio trocável quando se irrigam com este tipo de águas. Pode ser requerido o uso de melhoradores químicos para substituir o sódio trocável; entretanto, tais melhoradores não serão economicamente viáveis quando são usadas águas de muito baixa salinidade.
- **S4 – água com conteúdo muito alto de sódio ($\text{RAS} > 43,75 - 8,87 \log \text{CE}$).** é imprópria para irrigação, exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução de cálcio do solo e o emprego de gesso ou outros melhoradores não faz antieconômico o emprego desta classe de água.

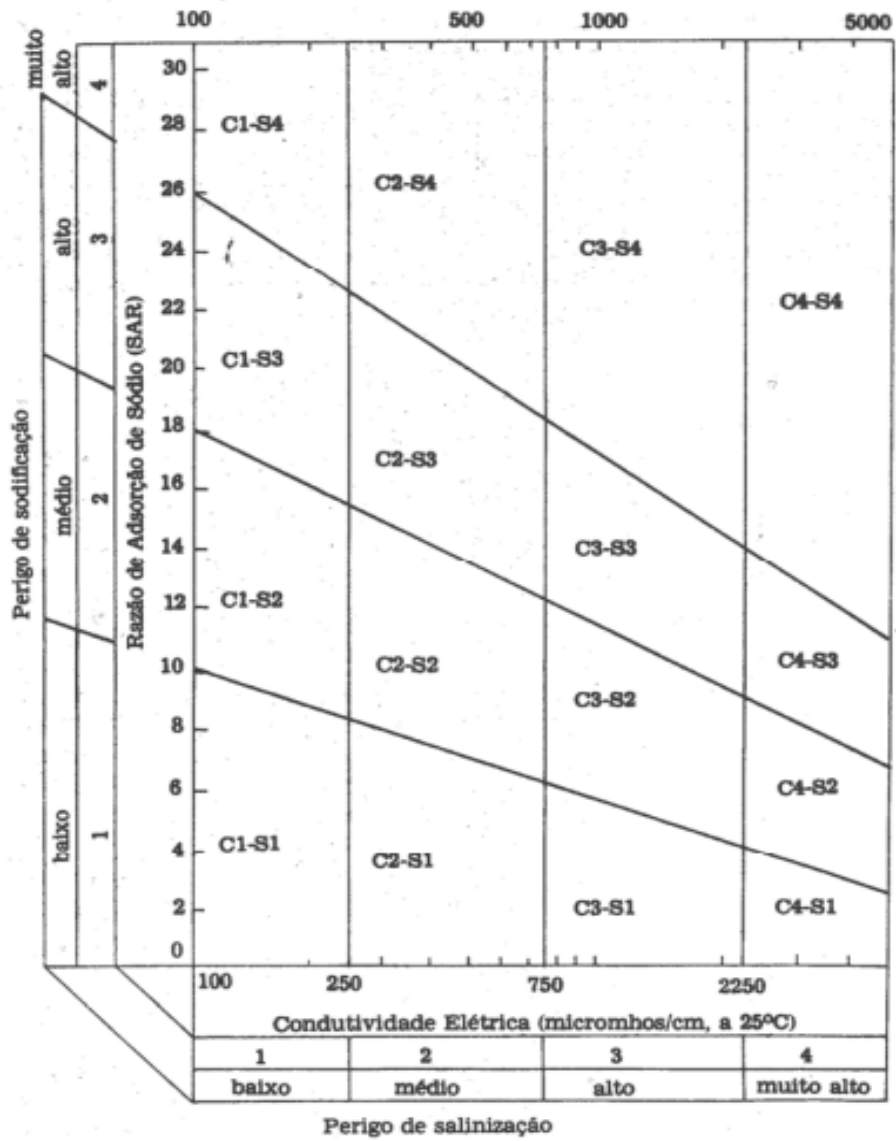


Figura 2: Diagrama para a interpretação das águas para irrigação

Fonte: (ALMEIDA, 2010).

III. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da Área de Estudo

3.1.1. Localização

O distrito de Chókwè está localizado a sul da província de Gaza, no curso medio do rio Limpopo, com os seguintes limites: a norte o rio Limpopo que o separa dos distritos de, Massingir, Mabalane e Guijá, a sul o distrito de Bilene e o rio Mazimuchope, Magude, a este os distritos de Bilene e Chibuto e a oeste os distritos de Magude e Massingir, com uma superfície de 2.466 km² (Dadá, 2016).

Mapa de localização geográfica do distrito de Chókwè

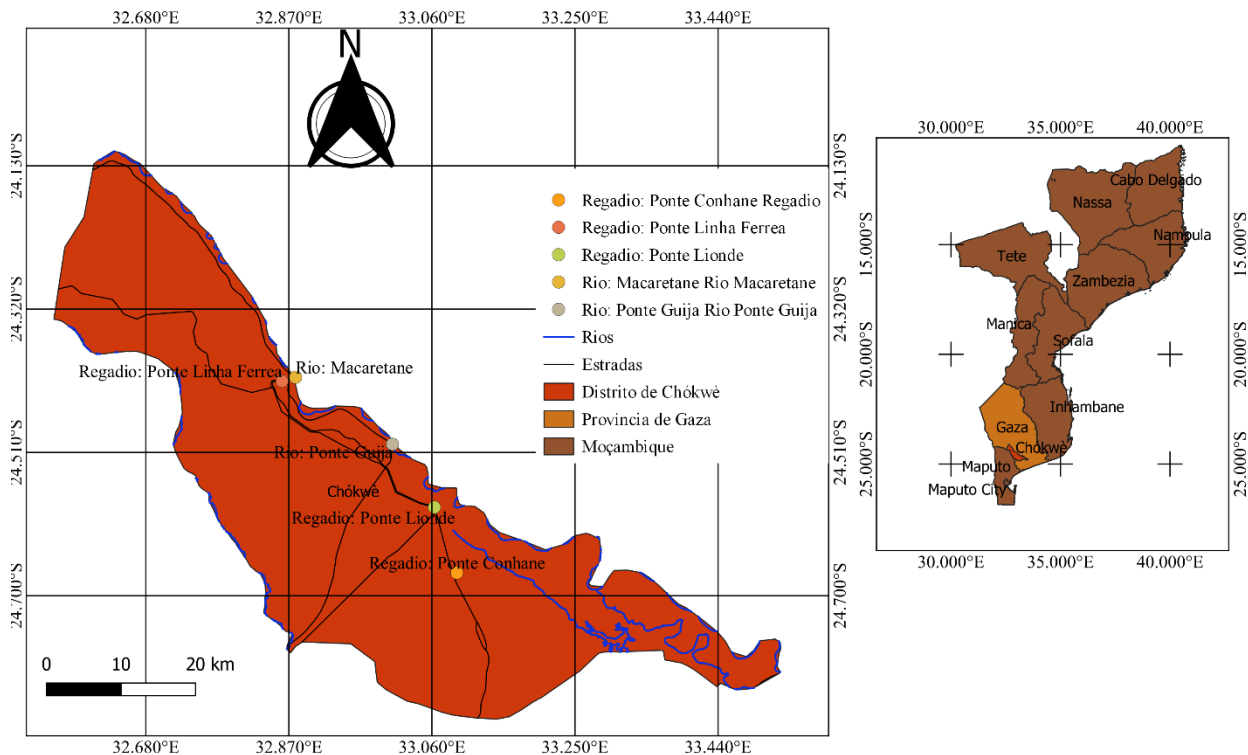


Figura 3: Mapa do Distrito de Chókwè

3.1.2. Clima

O distrito de Chókwè mostra um clima semiárido, com baixas precipitações que têm uma média anual de 500 a 800 mm, evapotranspiração potencial de referência (ET_0) é de 1400 a 1500 mm, com temperatura media anual de 22 a 26 °C e humidade reactiva entre 60 a 65% (Dadá, 2016).

3.1.3. Relevo e solos

Todo distrito de Chókwè é uma planície com menos de 100 m de altitude, constituída por aluviões ao longo do rio Limpopo, depósitos indiscriminados no distrito, nos postos administrativos de Macarretane e Lionde, ocorrência de terraços no posto administrativo de Chilebene junto ao distrito de Bilene e a ocorrência de argilas vermelhas em Macarretane e Matuba (Dadá, 2016).

3.1.4. Hidrologia

O distrito é banhado pela margem direita do rio Limpopo e pelo rio Mazimuchope, com riachos periódicos respectivamente, Ngonwane, Munhuane, Chuezi, Nhambabwe e as lagoas de Chinangue, Ngondzo, Nha-nhai, Mbalambe e Khokhotiva, dessa forma apresentando um grande potencial hidrográfico (Zamberlan *et al.*, 2013).

As águas do rio Limpopo são qualificadas pela salinidade devido ao facto de o rio drenar uma área de captação árida, ao baixo fluxo da água salina drenada dos vários sistemas de regadio presente ao longo de suas margens, dessa forma, amplificando a condutividade eléctrica (CE) e concentração de sais em direcção a jusante, o rio mostra um gradiente baixo no período seco que proporciona a intrusão salina para o interior do distrito, até 80 km da costa (Zamberlan *et al.*, 2013).

3.1.4.1. Rio Limpopo

O rio Limpopo é qualificado por um relevo suavemente ondulante, com numerosos afluentes e charcos, criando a parte de sistema de drenagem do Changane. Este afluente nasce perto da fronteira entre Zimbabwé-Moçambique, corre através da planície litoral do país, unindo-se ao rio Limpopo muito próximo da sua foz, nas vizinhanças de Xai-Xai (Dadá, 2016).

O caudal do rio Limpopo é comparativamente estreito em relação à enorme amplitude da sua bacia hidrográfica, predominantemente em regiões áridas, mal correndo na estiagem, ou mesmo deixando praticamente de correr no troço a montante da foz do rio dos Elefantes. Historicamente o Limpopo tinha um regime perene de corrente forte, mas atualmente é considerado um rio perene fraco, cujos fluxos podem deixar de subsistir com alguma frequência (Dadá, 2016).

3.2. Determinação dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água

As amostras foram analisadas no Laboratório Provincial de Higiene de Águas e Alimentos, na Cidade de Xai-Xai na Província de gaza. Os parâmetros analisados foram os seguintes: pH, temperatura, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido e demanda bioquímica de oxigénio pel

método de electometria; o magnésio e o nitrogénio total pelo método de diferença; turbidez pelo método de nefelométrico; os coliformes totais e fecais pelo método filtrante; o fósforo pelo método de calorimetria; o cálcio pelo método de titrimétrico e os sólidos totais dissolvidos pelo método turbidimétrico.

3.3. Determinação do IQA

Para a determinação do IQA, usou-se o índice adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (**CETESB**), foram usados 9 parâmetros detalhadamente: Coliformes fecais, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido. Para o cálculo do IQA foi considerado uma avaliação de qualidade (q). O resultado da avaliação final varia de 0 a 100 para cada um dos parâmetros de qualidade que compõem o índice. A qualidade (q) é elevada à ponderação (w) semelhante à relevância da variável (**Figura 4**), (Oliveira, 2017). O IQA é obtido multiplicando-se cada constituinte (q_w), (**Equação 1**).

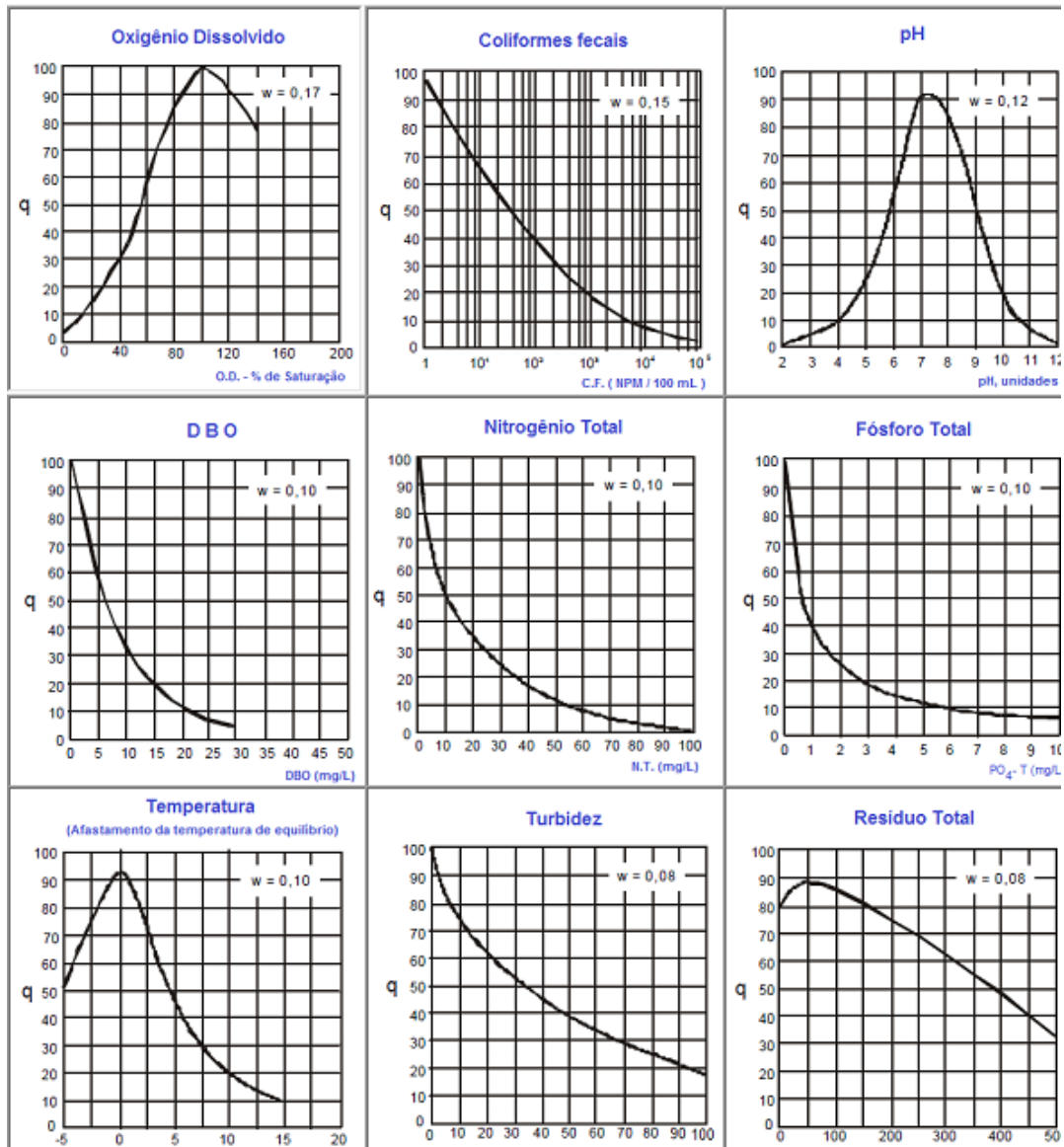


Figura 4: Curvas médias de variação dos parâmetros do IQA para consumo humano

Fonte: (Fortes, 2018)

3.4. Procedimentos de Campo

As amostragens em rios devem ser executadas em locais onde a água é satisfatoriamente bem misturada, pois assim uma única amostra pode ser representativa. Pontes são excelentes locais para se estabelecer uma estação de coleta, fornecendo fácil acesso ao meio de um rio. Normalmente, são de fáceis acessos e facilmente identificáveis (**Figura 5**). Uma amostra

colectada de uma ponte no meio de um canal de um rio bem misturado será adequadamente representativa de toda a água presente nesse local de amostragem (Zanon, 2020).

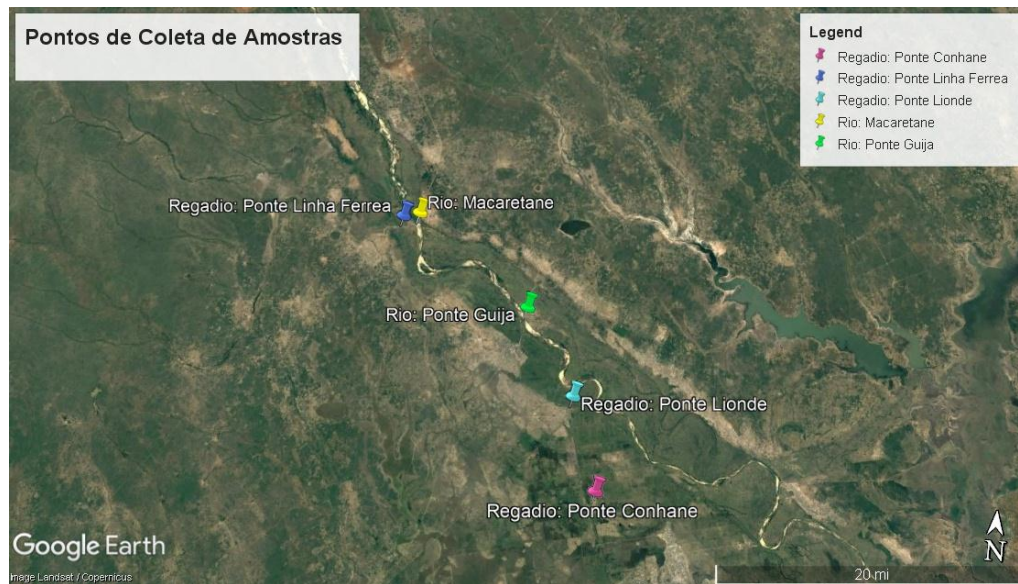


Figura 5: Mapa de Pontos de Colecta de Amostras

3.4.1. Materiais

Para a colecta foram usados os seguintes materiais: uma corda de 20 metros, um balde de 10 litros, garrafas plásticas de 500 ml, uma esferográfica, fita-cola e um papel A4. Onde se amarrou a corda ao balde e se atirou para o curso de água retirando água com a boca do balde contra a corrente para evitar a contaminação da amostra, a primeira retirada foi para a lavagem do balde e das garrafas plásticas, na segunda retirada encheu-se as garrafas plásticas e usando o papel, caneta e fita-cola se rotulou a garrafa **Figura 6**.



Figura 6: Materiais usados na colecta de amostras

3.4.2. Colecta de Dados

A colecta de dados teve como objectivo básico de criar um banco de dados de qualidade de água dos indicadores de qualidade de água do rio Limpopo e do Regadio, retirada de uma pequena quantidade de água, 500 ml, do ponto de coleta as amostras transportadas em garrafas plásticas ao laboratório para análises, as amostras foram retiradas em 5 pontos (dois pontos no rio e três pontos no regadio), de 15 em 15 dias a 1m de profundidade nos fluxos do rio Limpopo e Regadio.

3.4.3. Frequência de Amostragem

A amostragem foi feita duas vezes por mês, de Fevereiro a Abril de 2023 (durante 3 meses), não foram feitas medições in-situ devido a falta de equipamento.

3.4.4. Análise e interpretação dos dados

Para a análise e interpretação dos dados usou-se o software MS Office Excel (para a determinação da estatística descritiva, análise de correlação e formação de gráfico de barras) e QualiGraf (para o cálculo do IQA).

O software de qualidade de água QualiGraf é uma ferramenta para auxiliar na parte gráfica das análises mais usuais de qualidade de amostras da água. Desenvolvido em 2001 como ferramenta de uso interno no Departamento de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, acabou por receber uma interface mais amigável e posto à disposição do público em 2002, (Qualigraf, 2021).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Determinação dos parâmetros físico-químicos da água superficial no rio Limpopo e no Regadio

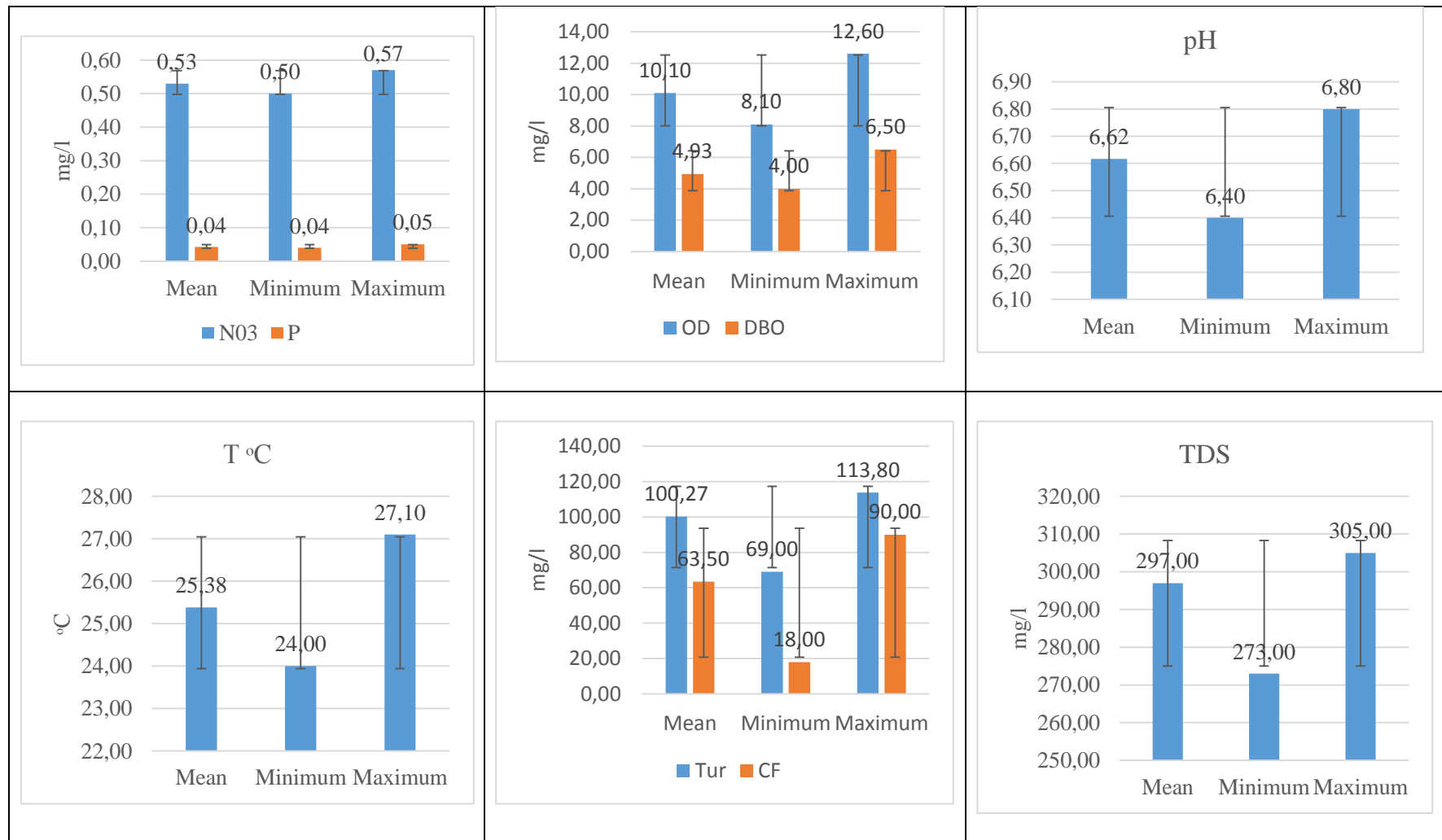


Figura 7: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte Macarretane no rio Limpopo

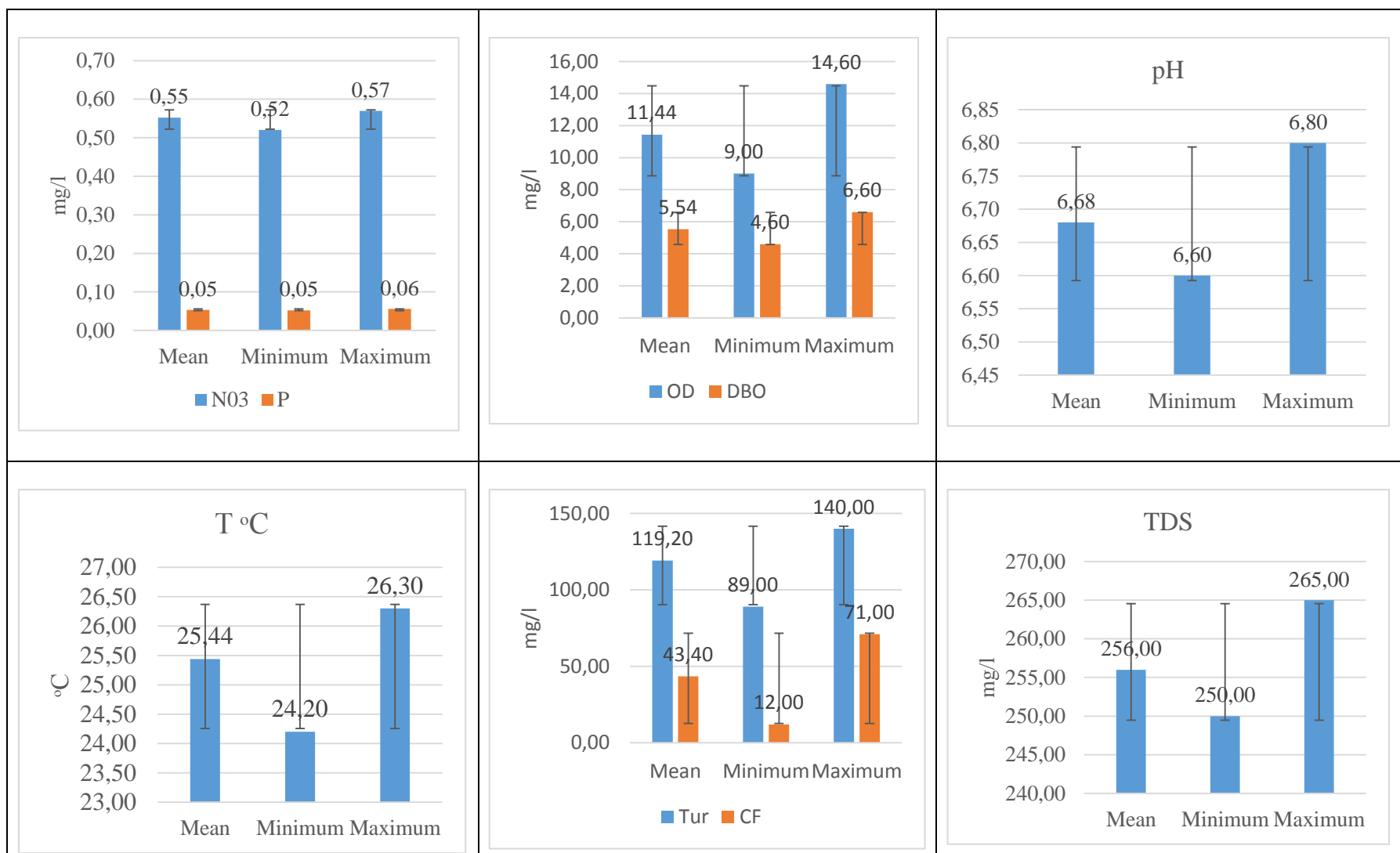


Figura 8: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte Guijá no rio Limpopo

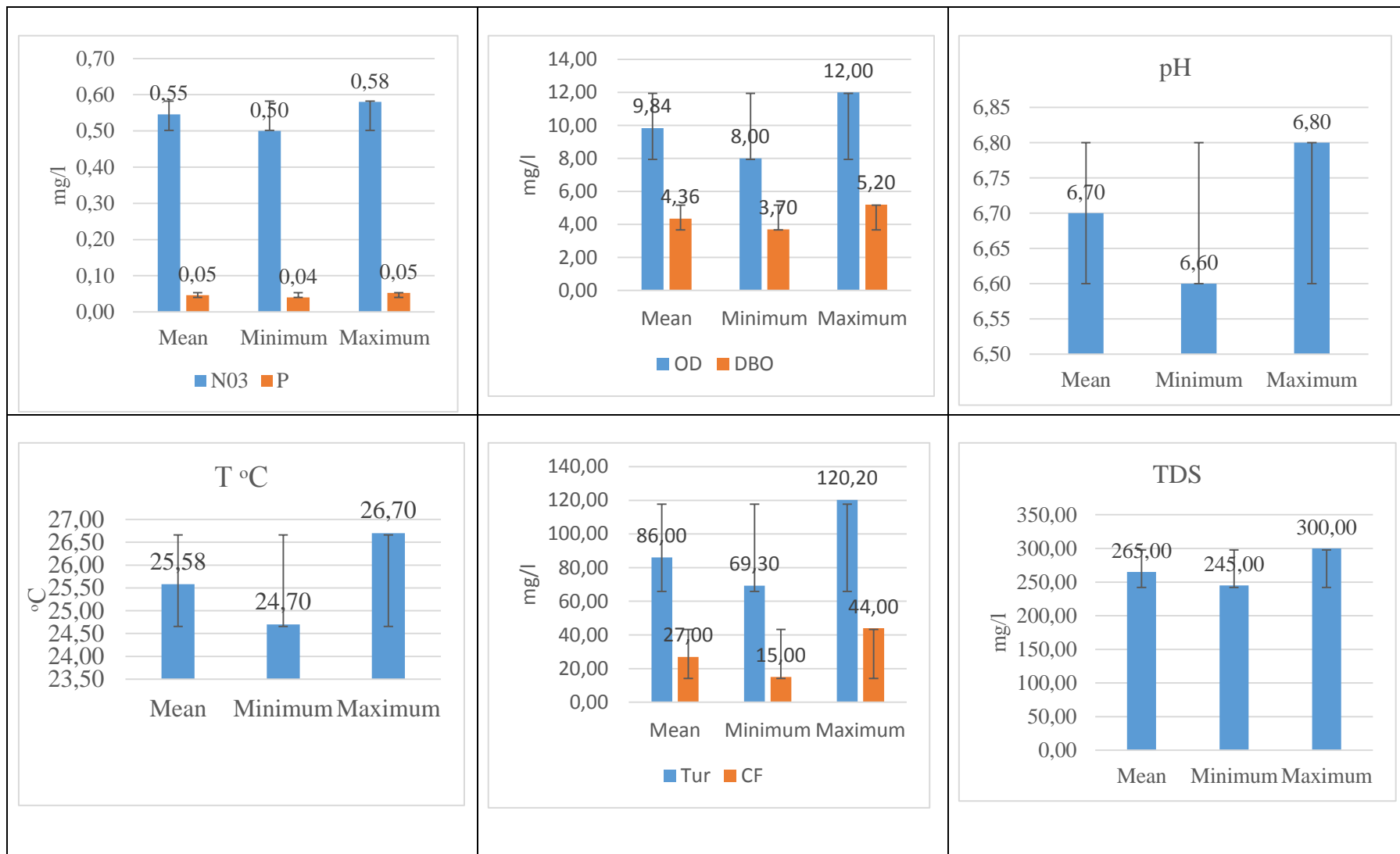


Figura 9: Estatística descritiva para os parâmetros da linha férrea no sistema de regadio de Chókwè

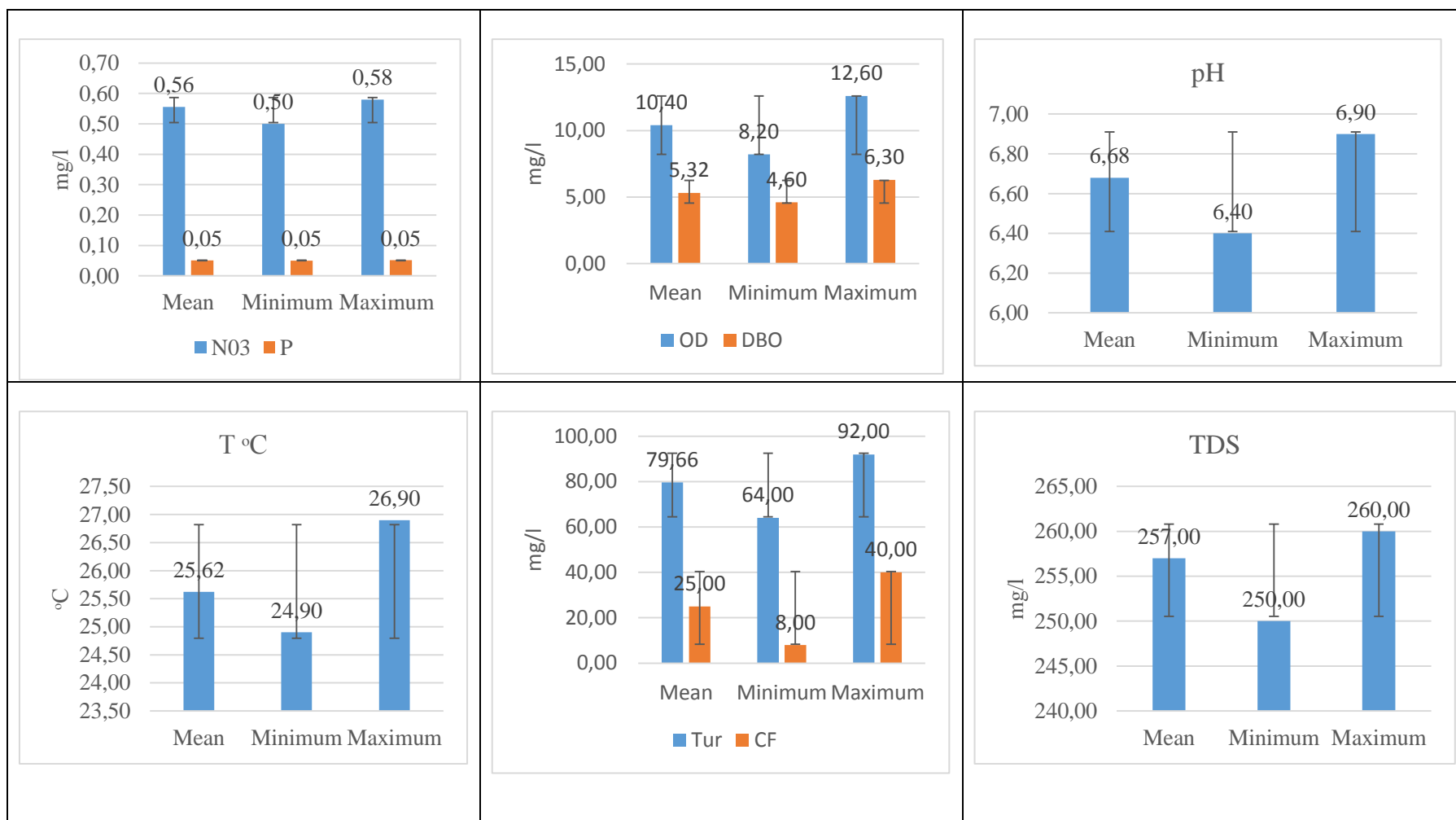


Figura 10: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte de Lionde no sistema de regadio de Chókwe

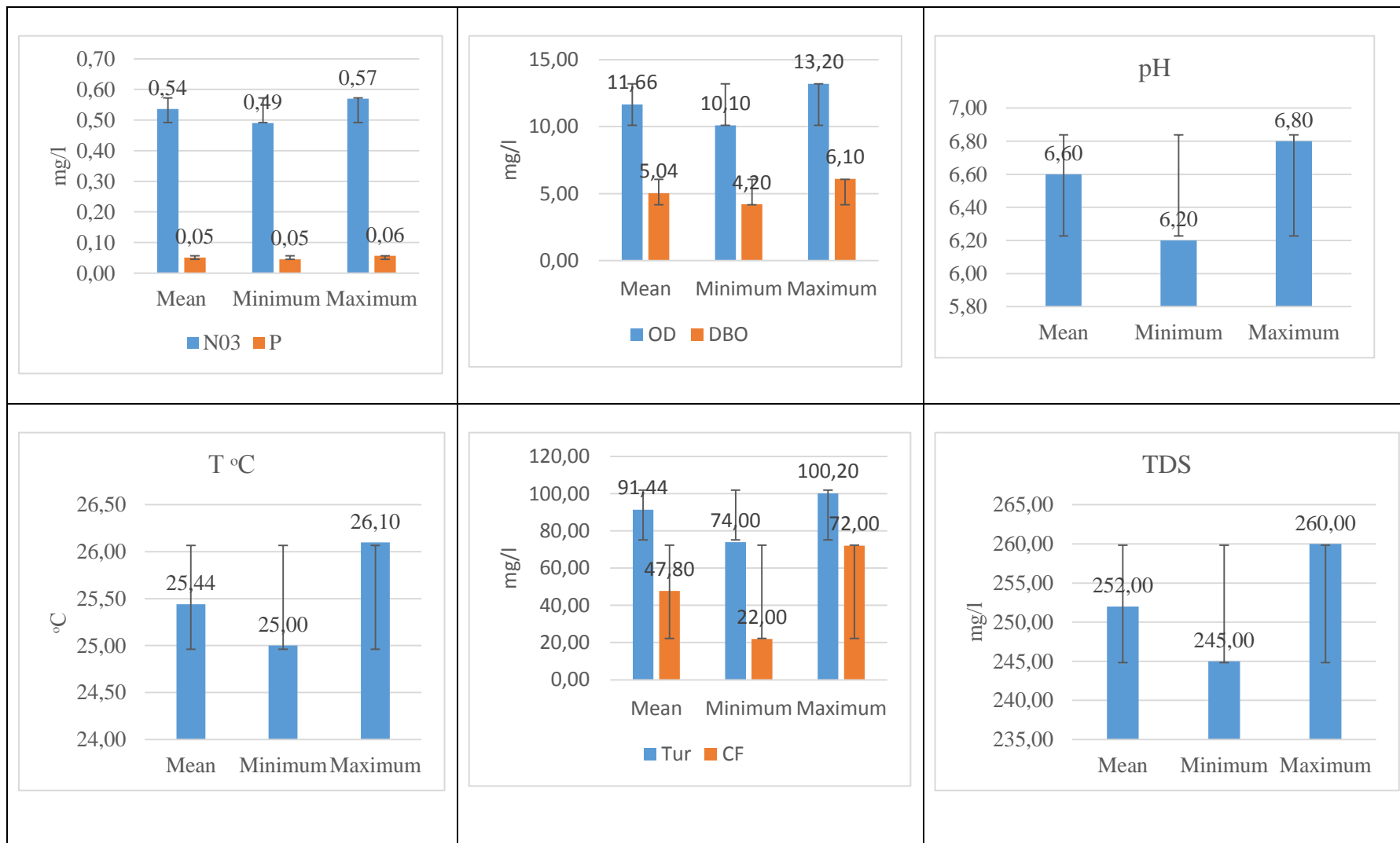


Figura 11: Estatística descritiva para os parâmetros da ponte de Conhane no sistema de regadio de Chókwe

O Rio e o Regadio tiveram uma média do pH de 6,5. De acordo com Fikadu (2022), em decorrência da presença de ácidos húmicos originários da decomposição de vegetação o pH das águas é sempre ácido (valores de 4 a 6).

A origem da acidez tanto pode ser natural (CO_2 absorvido da atmosfera, ou resultante da decomposição de matéria orgânica, presença de H_2S – gás sulfídrico) como antropogénica (despejos industriais, passagem da água por minas abandonadas), ela também um fenómeno derivado da poluição atmosférica, mediante complexação de gases poluentes com o vapor de água, provocando o predomínio de precipitações. Ela decorre, fundamentalmente, da presença de gás carbónico livre na água.

Para o OD não houve diferenças significativas entre o Rio e o Regadio tendo uma média de 11,01 e 10,86. O OD em rios tem como fonte principal de oxigénio a atmosfera, mediante a presença de turbidez. A diminuição da concentração de oxigénio em solução no meio líquido é consequência dos seguintes processos: perdas para a atmosfera, respiração dos organismos, mineralização da matéria orgânica e oxidação de iões (Silva *et al.*, 2020). Para a manutenção da vida aquática aeróbica são necessários teores mínimos de oxigénio dissolvido de 2 mg/L a 5 mg/L, exigência de cada organismo (Sperling *et al.*, 2019).

A turbidez teve médias de 108,93 e 87,73 para o Rio e Regadio respectivamente. A turbidez dos corpos de água é peculiarmente elevada em regiões com solos erosivos, onde a precipitação pluviométrica pode causar o araste de partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo (Piveli, 2022). Bonifácio & Nóbrega (2021), afirmam que grande parte das águas de rios é naturalmente turva devido às características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas, muitas vezes desapropriadas.

As médias dos TDS variam entre 276,58 e 256,78 para o Rio e Regadio, respectivamente. Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm e que permanecem em solução mesmo após a filtração. A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural por processos erosivos, por organismos e detritos orgânicos ou antropogénica por lançamento de lixo e esgotos (Silva *et al.*, 2019).

Não houve uma variação significativa para as concentrações do NO_3 , tendo média de 0,54 e 0,56 mg/l no Rio e Regadio, respectivamente. A forma oxidada de nitrogênio é encontrada em condições de aerobiose (Sperling *et al.*, 2019).

Não houve uma variação significativa de P entre o Rio e o Regadio, tendo uma média de 0,05 mg/l para os dois cursos de água. A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg/L a 0,05 mg/L (Bonifácio & Nóbrega, 2021).

Não houve uma variação significativa da DBO entre o Rio e o Regadio, tendo uma média de 5,41 e 4,89 mg/l, respectivamente. De acordo com Leit *et al.* (2019), em ambientes naturais não poluídos, a concentração de DBO é baixa (1 mg/L a 10 mg/L), podendo atingir valores bem mais elevados em corpos de água sujeitos à poluição orgânica, em geral decorrente do recebimento de esgotos domésticos ou de criatórios de animais. O consumo de oxigênio é um dos problemas mais sérios do aumento do teor de matéria orgânica, pois provoca desequilíbrios ecológicos, podendo causar a extinção dos organismos aeróbicos.

Não houve uma variação significativa das coliformes fecais entre o Rio e o Regadio, tendo uma média de 51,67 e 31 ufc/100ml, respectivamente. As suas maiores fontes são os lançamentos de esgotos sanitários e a agropecuária (Ucker *et al.*, 2013). Quando se encontra contaminação por coliformes fecais significa que naquele local houve descarga de esgoto em período recente, o que aumenta a probabilidade de haver ali ovos e larvas de parasitas intestinais, visto que estas também podem ser eliminadas com as fezes (Sperling, 2014).

As concentrações dos parâmetros no rio e no regadio de Chókwè, mostram melhor qualidade de água para às do regadio devido aos seguintes factores:

O rio Limpopo é um curso de água específico, que compreende vários países, enquanto o regadio é uma prática que pode ocorrer em qualquer área onde a irrigação seja necessária (Nhassengo *et al.*, 2021).

O rio Limpopo é uma fonte natural de água, sustentada por chuvas e outras fontes de água, e é empregado para atender a diversas necessidades, além da agricultura. Por outro lado, o regadio envolve a alocação e o uso controlado de água em áreas agrícolas específicas (El-Mahdy, 2022).

O rio Limpopo tem múltiplas aplicações, incluindo abastecimento público, apoio à vida aquática e sustento de ecossistemas. O regadio, por sua vez, é majoritariamente voltado para a agricultura, fornecendo água para as plantações (Nhassengo *et al.*, 2021).

4.2. Curvas de variação dos parâmetros do IQA

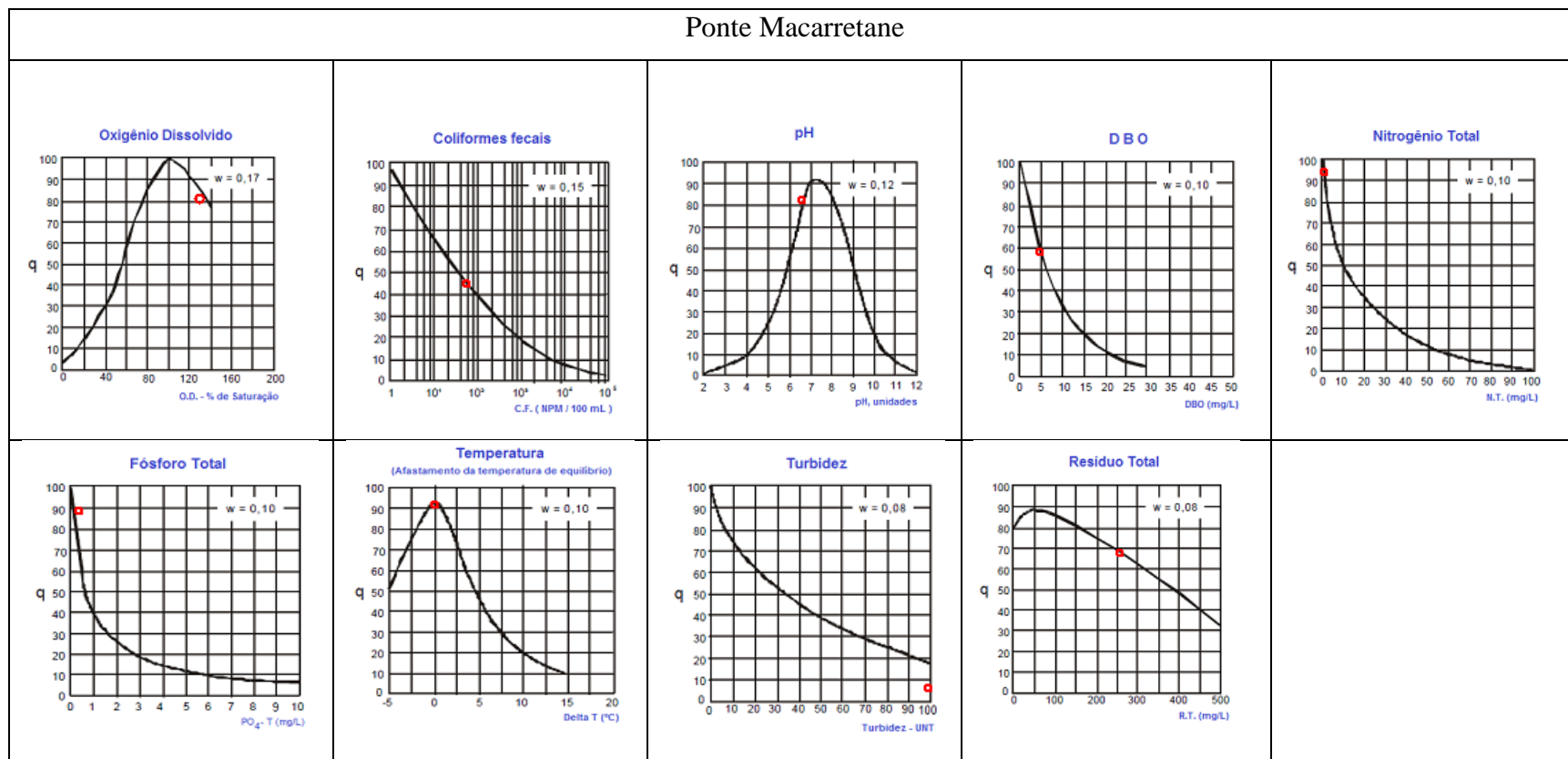


Figura 12: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Macarretane

Ponte Guijá

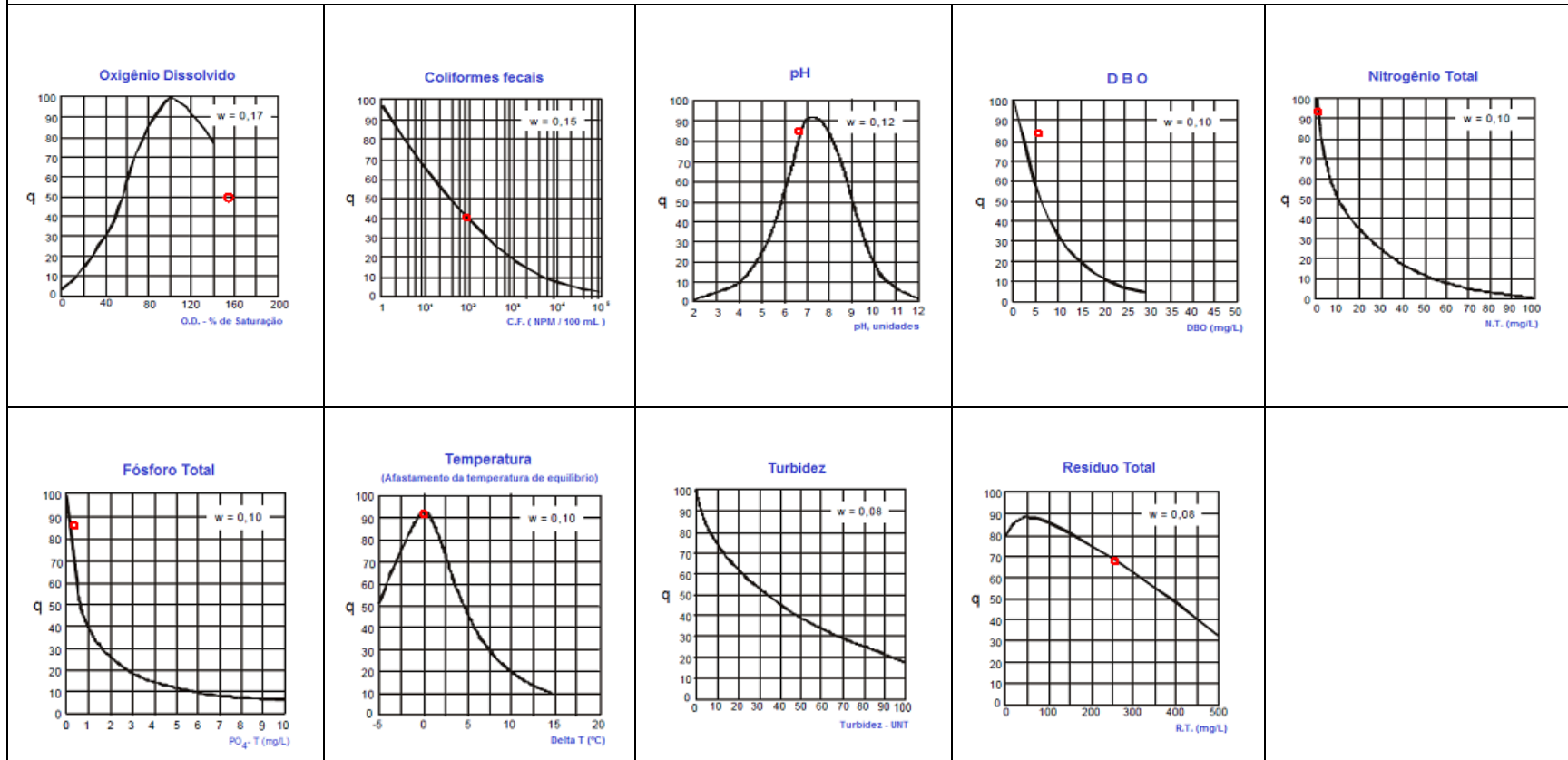


Figura 13: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Guijá

Ponte linha férrea

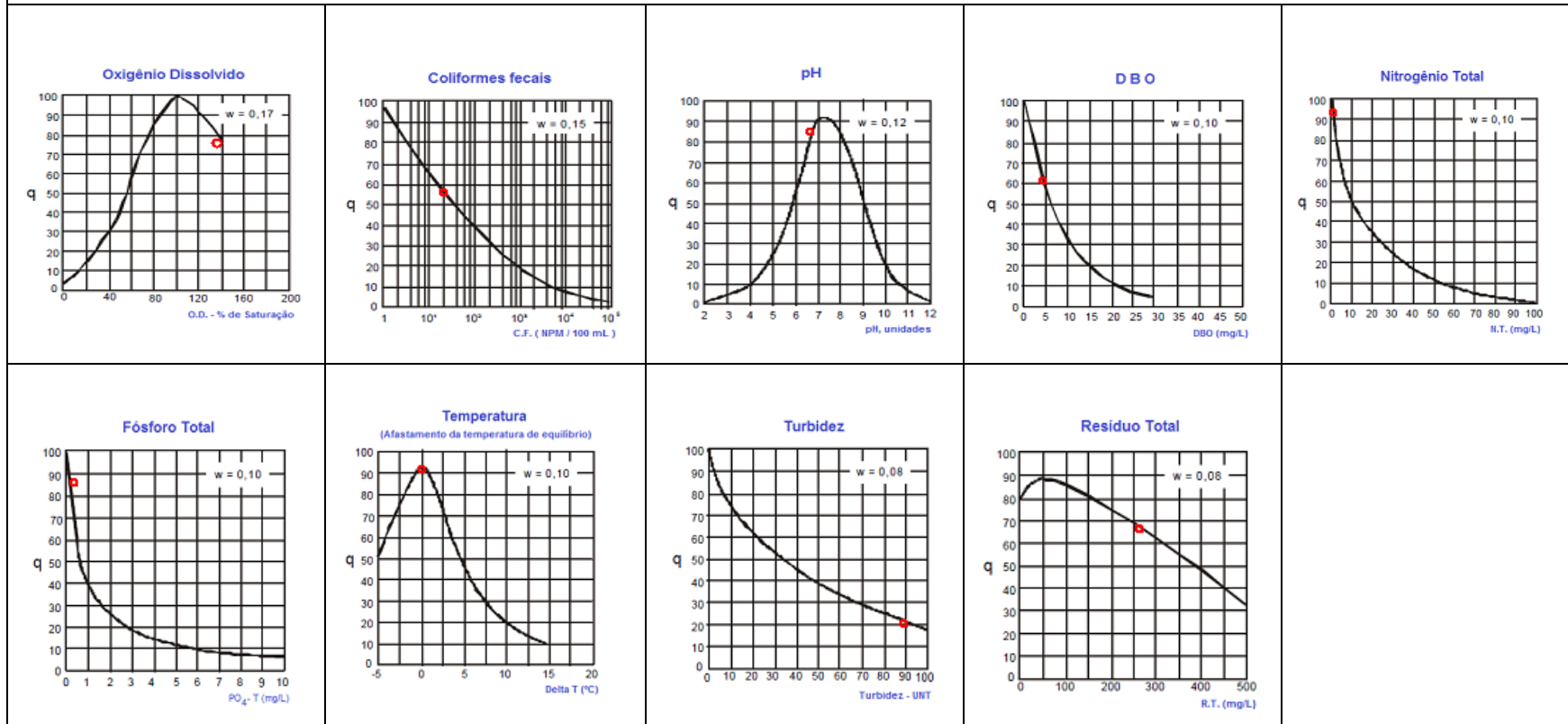


Figura 14: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte linha férrea

Ponte Lionde

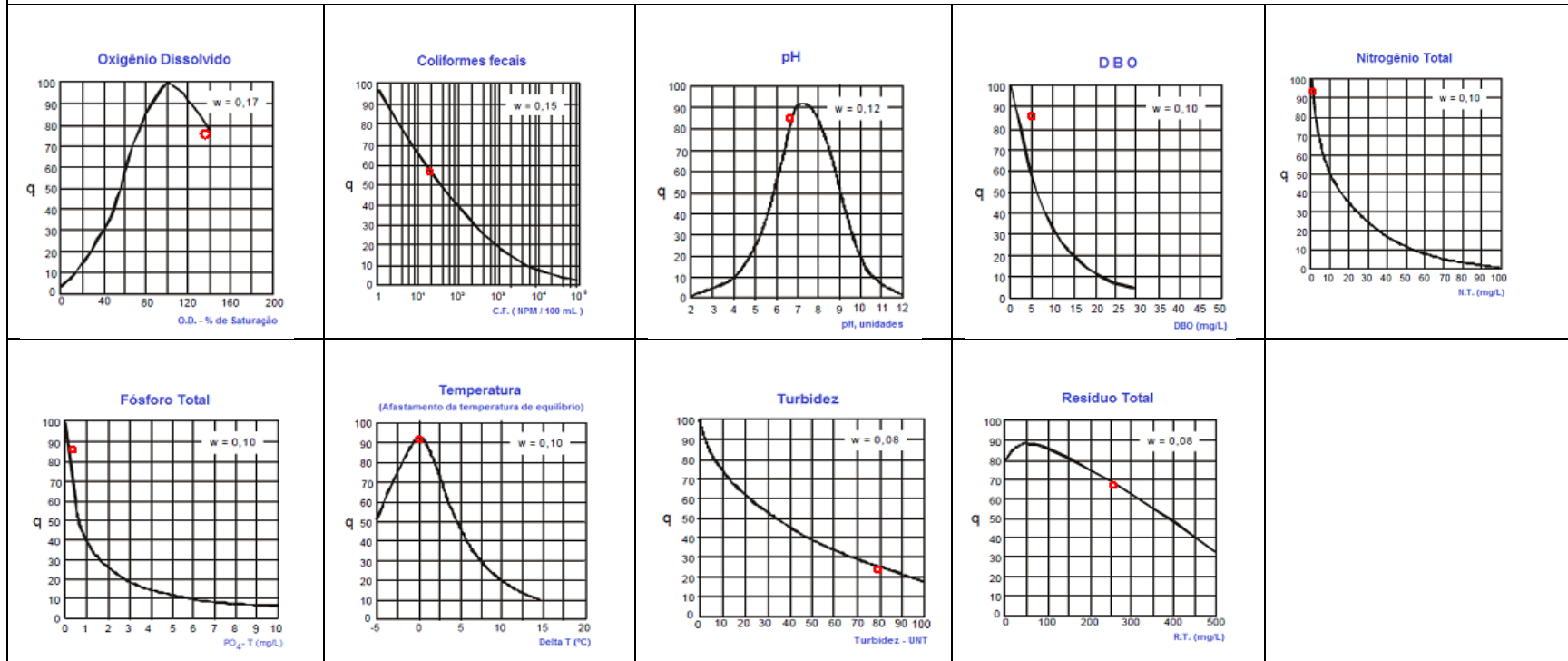


Figura 15: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Lionde

Ponte Conhane

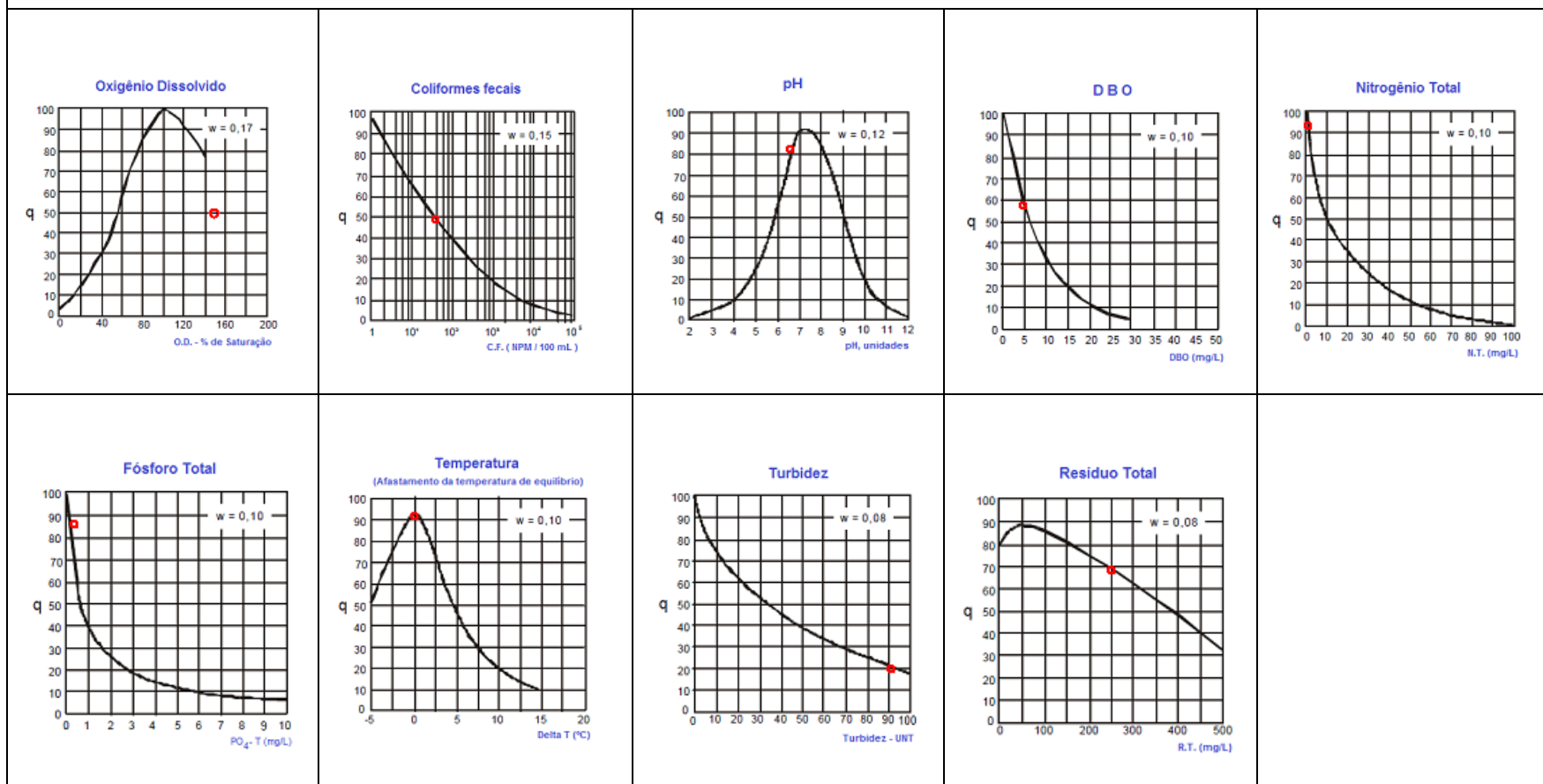


Figura 16: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas da ponte Conhane

4.3. Determinação do índice de qualidade de água

O IQA das amostras de água foi calculado usando a fórmula adaptada pela CETESB e IGAM/MG, que classificou o índice de qualidade de água em cinco classes com base no seu valor, (**Tabela 2 e Tabela 3**).

Segundo Schuitema *et al.*, (2020), a interpretação dos resultados do índice de qualidade da água deve ser feita levando em ponderação os limites estabelecidos para cada parâmetro avaliado, conforme regulamentações e critérios técnicos. Além disso, a realização de monitoramento contínuo em diferentes pontos ao longo do tempo e do espaço é fundamental para obter uma compreensão abrangente da qualidade da água em uma determinada área (Shanmugasundharam *et al.*, 2023).

Quanto aos 9 parâmetros usados no cálculo do IQA, sete encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela MISAU e OMS, excepto para a turbidez e para os coliformes fecais. Segundo Ambrozini (2021), a erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exigem manobras operacionais, como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas estações de tratamento de águas.

As partículas em suspensão podem abrigar bactérias e outros microrganismos patogênicos, aumentando o risco de contaminação e doenças relacionadas à água (Bonifácio & Nóbrega, 2021). A turbidez pode ser reduzida por meio de processos de filtração, sedimentação e coagulação (Liu *et al.*, 2023).

A detecção de coliformes fecais em concentrações acima dos padrões estabelecidos pode apontar a necessidade de tratamento adicional ou restrições no uso da água. Segundo (Abd El-Mageed *et al.*, 2022). Os coliformes fecais são indicadores da presença de bactérias fecais na água, o tratamento para eliminação desses micro-organismos pode envolver processos de desinfecção, como cloração, ozonização ou irradiação ultravioleta (Fortes, 2018).

4.3.1. IQA no leito do rio Limpopo

Para o rio e os valores dos índices calculados foram de 58 na ponte Macarretane e 55 na ponte Guijá, sua classificação sendo Boa e Aceitável para a CETESB e IGAM/MG respectivamente, e isso implica que esta água pode ser usada para consumo humano após passar por um tratamento convencional.

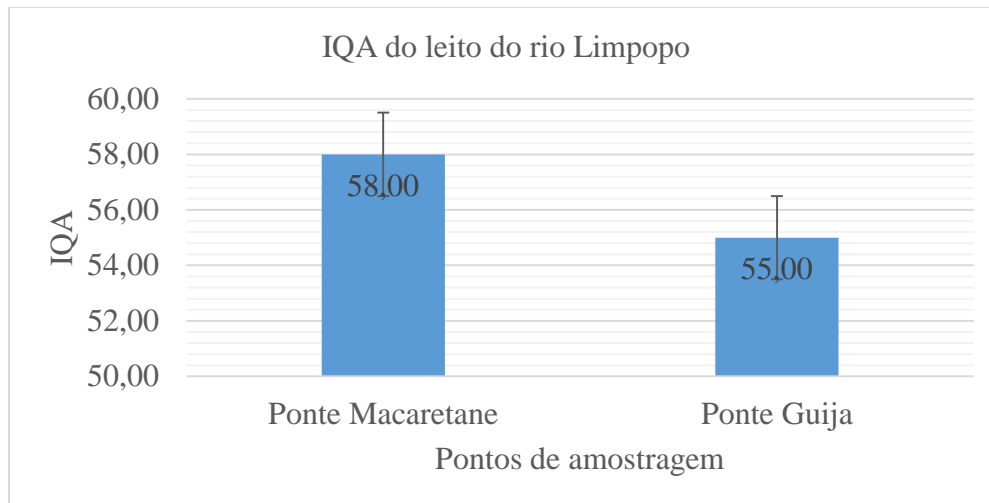


Figura 17: IQA do leito do rio Limpopo

4.3.2. IQA no sistema de regadio de Chókwè

Para o regadio os índices foram de 67, 70 e 61 na ponte linha férrea, ponte Lionde e ponte Conhane respectivamente.

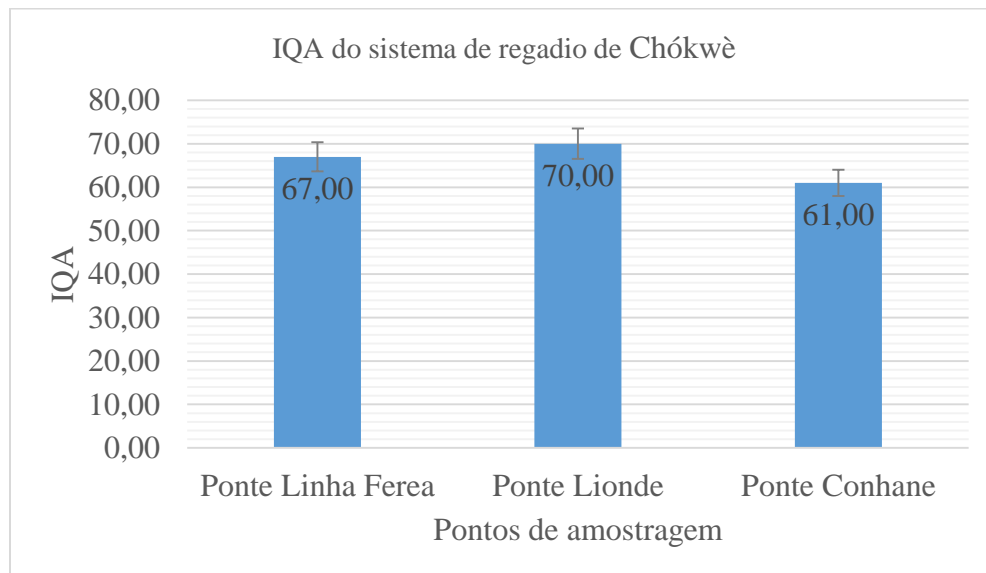


Figura 18: IQA do sistema de regadio de Chókwè

Para a CETESB os três pontos estão na categoria de boa qualidade, enquanto para a IGAM/MG a ponte linha férrea e a ponte Conhane classificam com qualidade aceitável e por fim a ponte Lionde se classifica com boa qualidade para consumo humano. Sendo necessário tratamento convencional pra a ponte Lionde e tratamentos avançados para os demais pontos (IGAM, 2020).

4.3.3. Correlações do IQA e seus parâmetros

De acordo com Silva *et al.*, (2020), a interação entre os parâmetros deve ser considerada como um ponto para avaliação da qualidade da água e a selecção dos parâmetros de maior importância para composição dos modelos do IQA.

A **Tabela 5** mostra os resultados das correlações do IQA e seus parâmetros onde há correlação positiva forte entre o pH com a turbidez e o OD (0.92 e 0.86 respectivamente), a temperatura com o NO₃ (0.85) e por fim OD com DBO (0.95). Também há correlação negativa forte entre a temperatura com os TDS (-0.83), coliformes fecais com OD e DBO (0.91 e 0.93 respectivamente) e por fim o IQA apresentou correlação negativa forte com a turbidez (-0.86).

Tabela 5: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Macarretane

	pH	Tur	T °C	C.F	OD	DBO	TDS	NO ₃	P	IQA
pH	1									
Tur	<u>0.929</u>	1								
T °C	0.325	0.064	1							
CF	-0.692	-0.538	-0.585	1						
OD	<u>0.862</u>	0.781	0.463	-0.915	1					
DBO	0.763	0.664	0.351	-0.934	<u>0.959</u>	1				
TDS	-0.670	-0.421	<u>-0.838</u>	0.752	-0.780	-0.695	1			
NO ₃	0.394	0.224	<u>0.850</u>	-0.281	0.357	0.139	-0.764	1		
P	0.023	-0.022	-0.194	0.572	-0.471	-0.559	0.229	0.111	1	
IQA	-0.682	<u>-0.867</u>	0.368	0.307	-0.597	-0.563	0.089	0.180	0.138	1

Para a ponte Guijá há correlação forte positiva entre o OD com a DBO (0.91). nenhum parâmetro apresentou correlação forte com o IQA.

Tabela 6: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Guijá

	pH	Tur	T °C	CF	OD	DBO	TDS	NO ₃	P	IQA
pH	1									
Tur	0.317	1								
T °C	-0.032	-0.326	1							
CF	-0.313	-0.531	0.114	1						
OD	0.676	0.657	0.300	-0.621	1					
DBO	0.570	0.437	0.436	-0.760	<u>0.916</u>	1				
TDS	-0.402	-0.622	0.176	0.553	-0.453	-0.473	1			
NO₃	-0.065	0.744	-0.700	-0.030	0.011	-0.270	-0.380	1		
P	0.193	-0.104	0.430	-0.659	0.477	0.714	0.103	-0.655	1	
IQA	-0.234	-0.655	-0.376	0.195	-0.771	-0.553	0.111	-0.236	-0.147	1

Tabela 7: Corelação do IQA e seus parâmetros na linha férrea

	pH	Tur	T °C	CF	OD	DBO	TDS	NO ₃	P	IQA
pH	1									
Tur	-0.623	1								
T °C	-0.756	0.276	1							
CF	0.792	<u>-0.822</u>	-0.434	1						
OD	<u>-0.851</u>	<u>0.871</u>	0.639	<u>-0.921</u>	1					
DBO	-0.521	0.139	0.334	-0.636	0.492	1				
TDS	-0.053	-0.612	-0.089	0.206	-0.389	0.407	1			
NO₃	-0.175	0.683	0.251	-0.277	0.548	-0.259	<u>-0.898</u>	1		
P	-0.399	0.739	0.442	-0.454	0.725	-0.007	-0.782	<u>0.959</u>	1	
IQA	0.682	<u>-0.968</u>	-0.469	0.770	<u>-0.900</u>	-0.079	0.662	-0.758	<u>-0.825</u>	1

Há correlações positivas fortes entre os parâmetros turbidez com OD (0.87), e NO₃ com o P (0.95). As correlações negativas fortes foram entre os parâmetros pH com OD (-0.85), turbidez com coliformes fecais (-0.82), coliformes fecais com OD (-0.92) e por fim os TDS com NO₃ (-

0.89). O IQA apresentou correlação negativa com os parâmetros turbidez, OD e P (-0.96, -0.90 e -0.82, respectivamente).

A **Tabela 8** mostra a correlação dos parâmetros onde o pH apresenta correlação forte positiva entre o pH com o OD (0.97) e por fim o IQA apresentou correlação forte negativa com a turbidez (-0.95).

Tabela 8: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Lionde

	pH	Tur	T °C	CF	OD	DBO	TDS	NO ₃	P	IQA
pH	1									
Tur	0.647	1								
T °C	-0.411	-0.436	1							
CF	0.788	0.548	-0.776	1						
OD	<u>0.971</u>	0.708	-0.310	0.675	1					
DBO	0.629	-0.047	-0.170	0.323	0.563	1				
TDS	0.625	0.398	0.235	0.269	0.585	0.382	1			
NO ₃	0.678	0.494	0.238	0.376	0.728	0.147	0.739	1		
P	-0.084	0.175	0.645	-0.400	0.118	-0.402	0.091	0.543	1	
IQA	-0.684	<u>-0.952</u>	0.392	-0.654	-0.715	0.107	-0.484	-0.653	-0.211	1

Tabela 9: Corelação do IQA e seus parâmetros na ponte Conhane

	pH	Tur	T °C	CF	OD	DBO	TDS	NO ₃	P	IQA
pH	1									
Tur	<u>0.851</u>	1								
T °C	0.202	0.204	1							
CF	0.216	0.363	-0.294	1						
OD	0.594	0.764	-0.330	<u>0.815</u>	1					
DBO	0.579	0.424	0.151	0.514	0.460	1				
TDS	0.394	0.495	-0.633	0.220	0.625	0.199	1			
NO ₃	0.527	0.799	0.432	-0.131	0.323	-0.034	0.301	1		
P	-0.050	-0.196	-0.126	<u>-0.861</u>	-0.508	-0.414	0.284	0.151	1	
IQA	-0.652	-0.768	-0.641	-0.226	-0.416	-0.202	0.158	-0.713	0.397	1

Para a ponte Conhane há correlação forte positiva entre os parâmetros pH com a turbidez (0.85), coliformes fecais com OD (0.81) e por fim correlação negativa forte para os coliformes fecais com P (-0.86).

A correlação que existe entre o pH com a turbidez e o OD (**Tabela 5**, **Tabela 7**, **Tabela 8** e **Tabela 9**) pode vir do aumento do escoamento superficial causado descarga de água na barragem de Macarretane, que aumenta a concentração da turbidez na água aumentando o consumo de oxigênio dissolvido, provavelmente pelo processo de decomposição da matéria orgânica (Pereira, 2014).

A correlação entre o OD com a DBO (**Tabela 5** e **Tabela 6**) se deve ao facto de o oxigênio dissolvido corresponder à quantidade de oxigênio consumida por microrganismos na água e a DBO fornece um indicativo da carga orgânica do recurso hídrico (Valentini *et al.*, 2020).

O NO₃ pode ser de origem mineral ou orgânica, a correlação entre o NO₃ com TDS (**Tabela 5** e **Tabela 7**) pode ser um indicativo do aumento do escoamento superficial nas áreas de agricultura e de pastagem degradada (Pereira, 2014). Outra possibilidade é que tenha sido originado dos lançamentos difusos de esgotos domésticos e de efluentes resultantes da criação de animais (Ragazzo, 2019).

De acordo com Pereira (2014) correlação significativa entre OD e turbidez (**Tabela 7**) pode estar associada ao lançamento de efluentes domésticos nas propriedades rurais.

O IQA apresentou correlações significativas com os parâmetros turbidez na ponte Macarretane, ponte Guijá e na ponte Lionde. OD e P na ponte Guijá implicando que esses as concentrações desses parâmetros são os que mais influenciam para a degradação do índice de qualidade de água nesses pontos, ou seja, quanto maior forem as concentrações destes parâmetros, menor será o IQA (Valentini *et al.*, 2020).

4.4. Determinação da evolução espaço-temporal do IQA

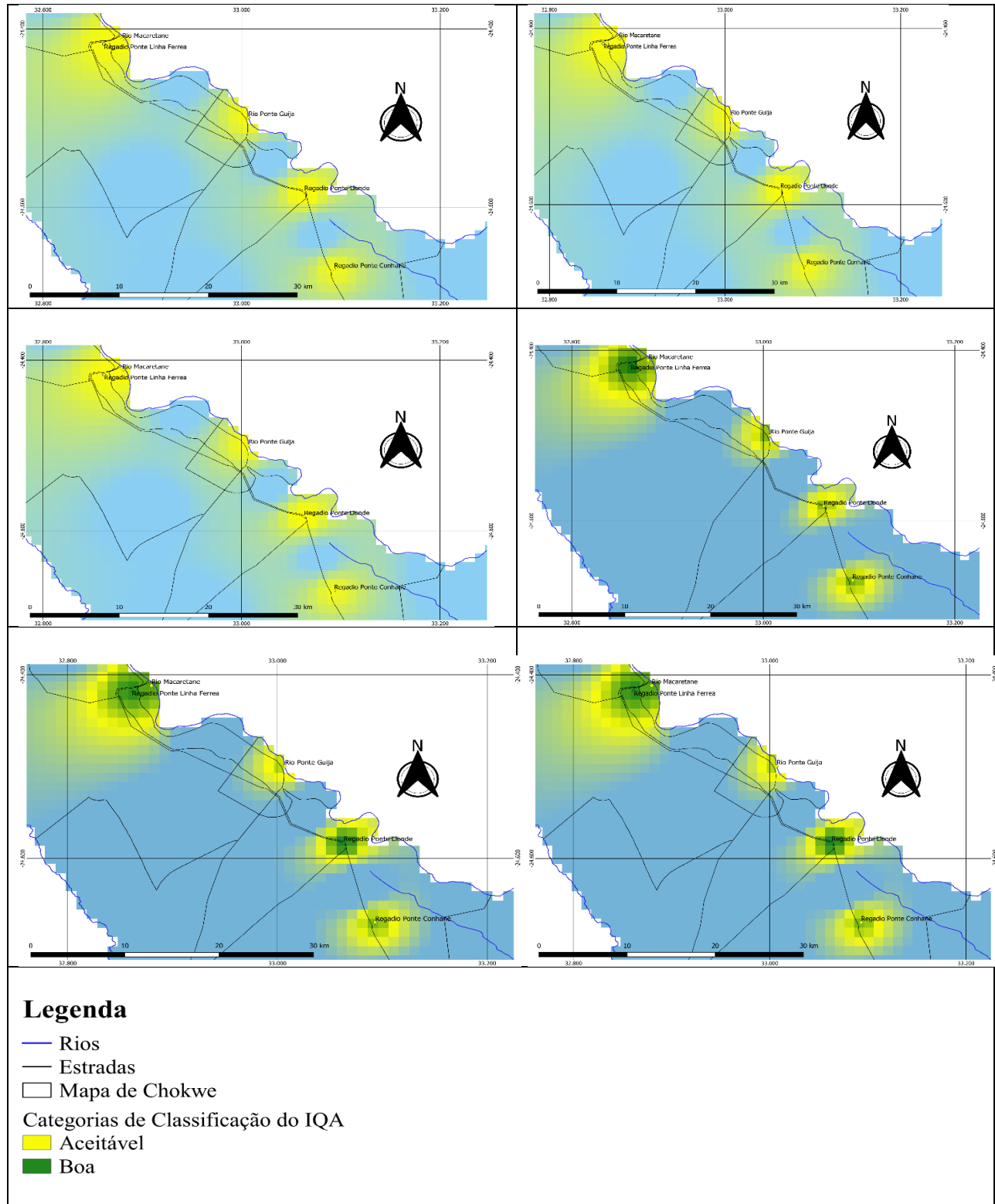


Figura 19: Evolução espaço-temporal do IQA

A análise espaço-temporal pode revelar padrões e tendências temporais e regionais, onde diferentes factores, como impactos industriais, agrícolas, urbanos ou naturais, podem influenciar a qualidade da água em diferentes áreas. Além disso, também pode identificar áreas protegidas ou com melhores condições de qualidade da água, fornecendo informações para a conservação e a gestão de recursos hídricos (Abd El-Mageed *et al.*, 2022).

Os mapas acima (**Figura 19**), apresentam a distribuição espaço-temporal do IQA para o rio Limpopo e regadio tendo sido classificados entre as categorias de qualidade aceitável a boa, cor amarela e verde relativamente. Observou-se os valores mínimos do IQA de 53 e 57, e valores máximos de 68 e 66 para os pontos Macarretane e ponte Guijá no rio respectivamente. Durante os três meses rio apresentou propensão no aumento dos valores do IQA, mas os pontos de colecta de amostras do rio se classificaram como sendo de qualidade aceitável segundo da classificação do IQA (**Tabela 3**). Para Kouadri *et al.*, (2021) o rio não apresentou nem evolução assim como degradação pois os valores do IQA se encontram na mesma categoria durante o período de coleta.

Para o sistema de regadio de Chókwè houve tendências evolutivas nos pontos ponte linha férrea e ponte Lionde com valores do IQA mínimos e máximos de 68 e 63, 71 e 74 respectivamente, enquanto para o ponte Conhane não há evolução nem degradação da qualidade de água (Rosa & Saad, 2014).

O IQA pode ser alterado conforme o conjunto de parâmetros utilizados, e a variação da quantidade de dados de cada parâmetro (Kumar Ravi *et al.*, 2023). Quanto ao rio Limpopo, assim como o sistema de regadio de Chókwè não apresentam degradação do IQA, pelo contrário, o sistema de regadio apresentou tendências evolutivas e o rio Limpopo manteve os IQA's na mesma categoria. STRADA, (2021) afirma que a prática de pesca, prática de agricultura nas margens e o crescimento populacional podem ser um dos factores que contribuem para o aumento das concentrações da turbidez, coliformes fecais e P, que por sua vez influenciam negativamente no IQA.

Tendências crescentes no valor do índice podem indicar melhorias na qualidade da água ao longo do tempo (Kouadri *et al.*, 2021). Essa disposição pode ser explicada devido ao aumento das chuvas que causam uma variação nos valores de IQA (Pinto *et al.*, 2012).

4.5. Qualidade de Água para irrigação

4.5.1. Correlação

O rio apresentou apenas correlação negativa entre os parâmetros CE com Ca^{2+} e P. Quanto maior for o valor da CE menor será dos parâmetros Ca^{2+} e P (Valentini *et al.*, 2020).

Tabela 10: Correlação entre os parâmetros de qualidade de água para irrigação do rio

	pH	CE	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3	P
pH	1					
CE	-0.480	1				
Ca^{2+}	0.580	<u>-0.684</u>	1			
Mg^{2+}	-0.045	-0.360	0.206	1		
NO_3	0.287	-0.361	-0.070	0.157	1	
P	0.294	<u>-0.828</u>	0.442	0.236	0.119	1

Para o regadio houve correlação forte positiva entre os parâmetros Ca^{2+} e Mg^{2+} . As concentrações dos parâmetros são directamente proporcionais, (Valentini *et al.*, 2020).

Tabela 11: Correlação entre os parâmetros de qualidade de água para irrigação do regadio

	pH	CE	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3	P
pH	1					
CE	0.198	1				
Ca^{2+}	-0.179	-0.201	1			
Mg^{2+}	-0.176	-0.209	<u>0.993</u>	1		
NO_3	0.429	-0.343	-0.185	-0.162	1	
P	-0.146	-0.665	-0.058	-0.056	0.622	1

Os valores de pH foram de 6.65 para o rio assim como para o regadio e todos estão dentro dos limites estabelecidos para a qualidade de água para irrigação.

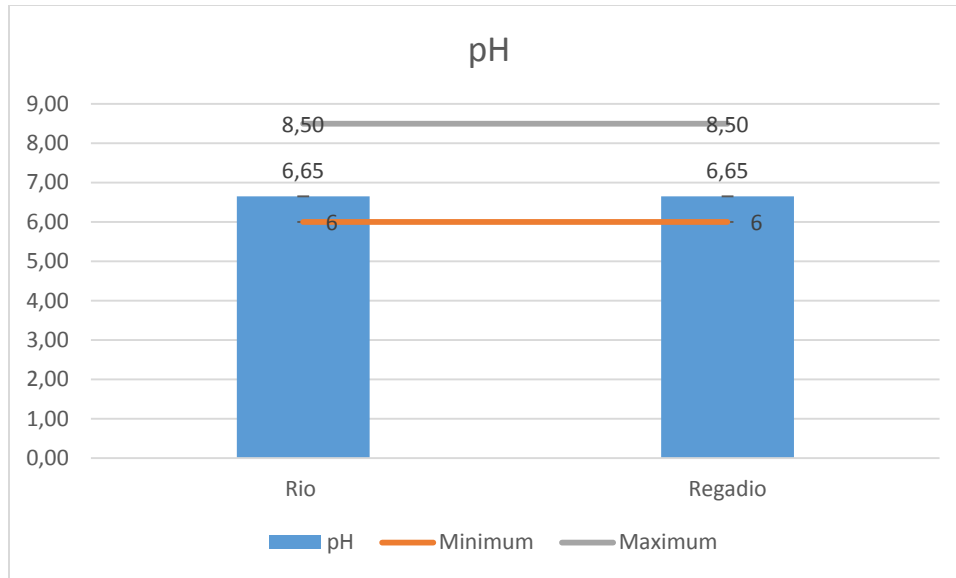


Figura 20: Concentração dos valores de pH no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè

Quanto ao magnésio, as concentrações estão dentro dos limites estabelecidos no rio assim como no regadio apresentando valores de 0.90 e 0.91 respectivamente.

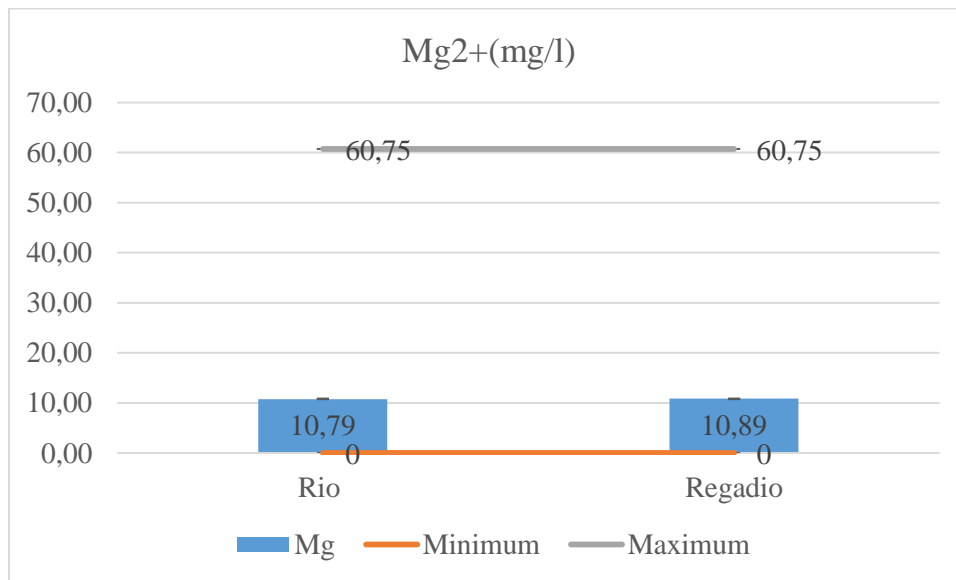


Figura 21: Concentração dos valores de Mg²⁺ no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè

A condutividade eléctrica encontra-se dentro dos limites estabelecidos para a irrigação apresentando valores de 551.50 e 515.67 para o rio e regadio respectivamente.

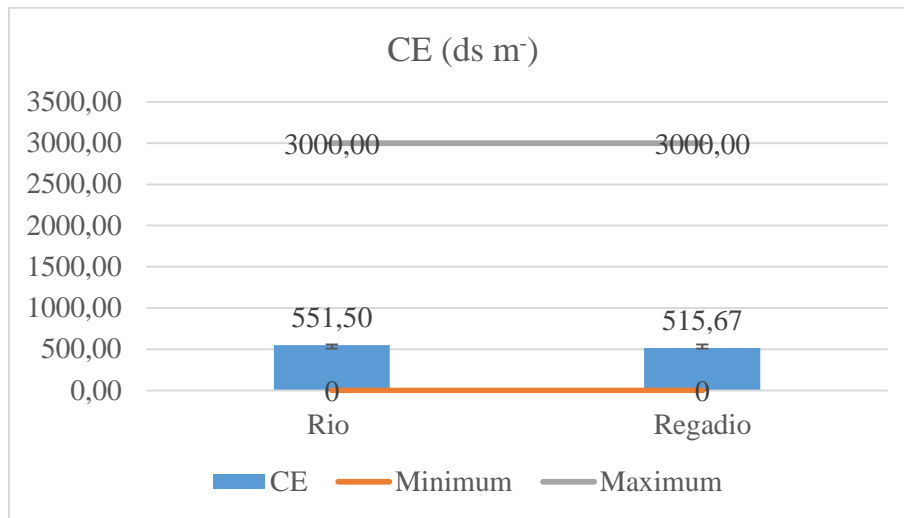


Figura 22: Concentração dos valores de CE no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè

Para o nitrogénio o gráfico abaixo mostra que para o rio e regadio as concentrações estiveram abaixo do limite estabelecido para a irrigação, o rio apresentou uma concentração de 0.54 mg/L, e o regadio de 0.56 mg/L.

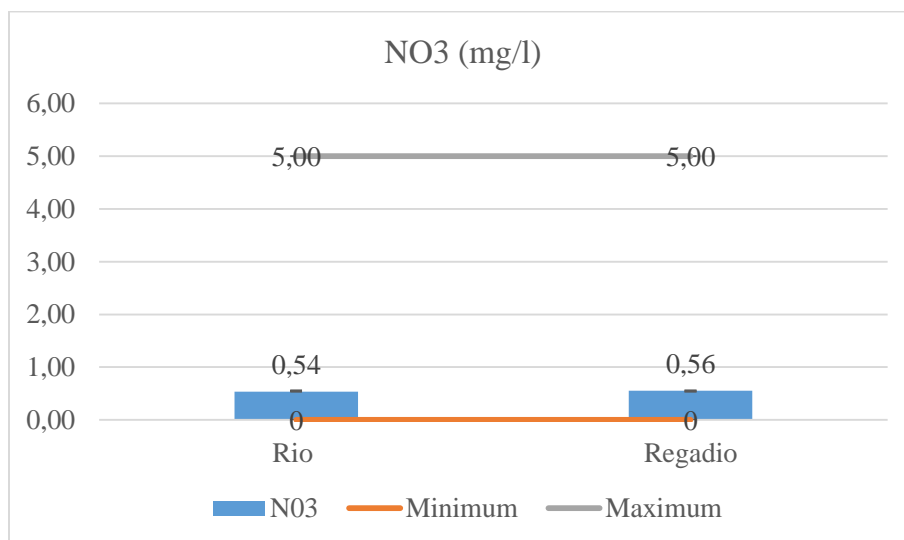


Figura 23: Concentração dos valores de NO₃ no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè

Para o cálcio a concentração no rio foi de 1.12 meq/L e no regadio foi de 0.93, com o rio apresentando maior concentração em relação ao regadio, sendo que nem o rio, nem o regadio tiveram uma concentração igual ou acima dos limites estabelecidos.

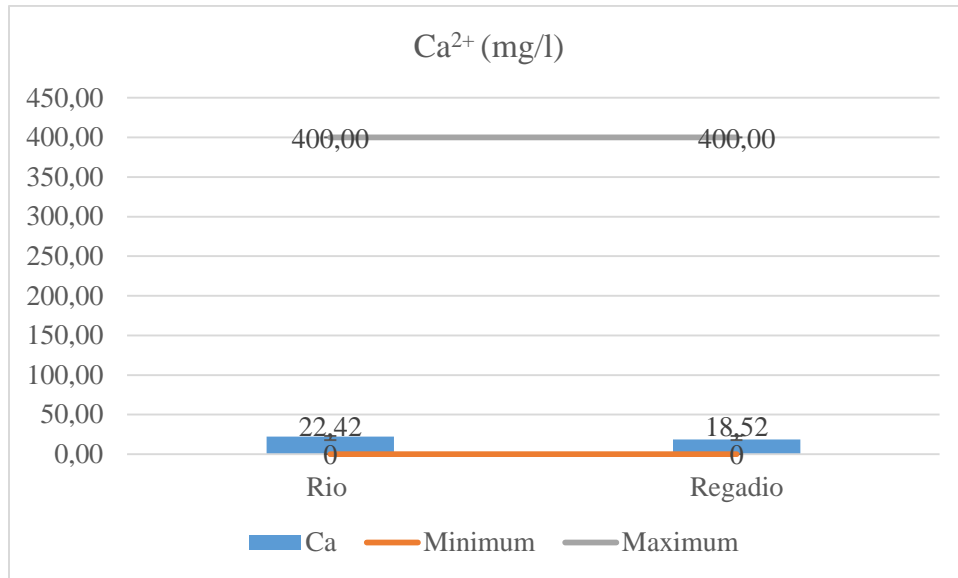


Figura 24: Concentração dos valores de Ca²⁺ no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè

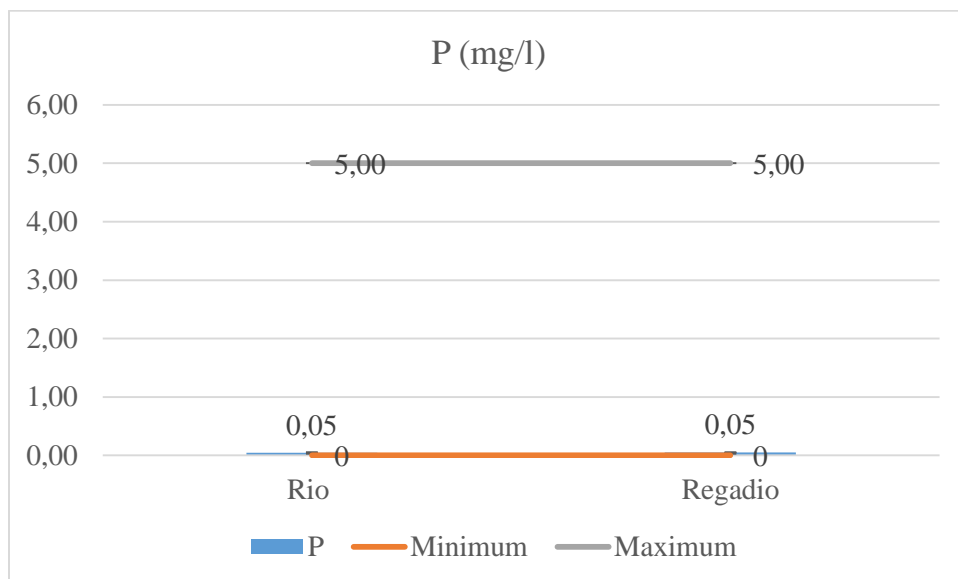


Figura 25: Concentração dos valores de P no leito do rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè

O rio e o regadio apresentam o mesmo valor para a concentração de fosforo e que está dentro do limite estabelecido para a qualidade de água para irrigação.

Para a qualidade de água para irrigação foram analisados 6 parâmetros, o pH, a CE, o Ca^{2+} , o Mg^{2+} , NO_3 e o P, e todos os parâmetros estão dentro dos limites estabelecidos para irrigação. Para ALMEIDA (2010) a qualidade de água para irrigação não pode ser definida apenas por esses parâmetros, pois o sódio é um critério analisa o risco de que se induza uma elevada Percentagem de Sódio Trocável (PST), podendo causar deterioração da estrutura do solo.

V. CONCLUSÕES

Com a realização cálculo do IQA, observou-se que os pontos ponte Macarretane e ponte Guija, localizados no leito do rio Limpopo possuem um índice aceitável. Para os pontos linha férrea, ponte Lionde e ponte Conhane localizados no sistema de regadio de Chókwè possuem índices aceitável, boa e aceitável respectivamente. Contudo, as variáveis turbidez e coliformes fecais, foram as que estiveram acima dos limites estabelecidos pela MISAU para todos os pontos, devendo-se fazer o tratamento da mesma antes do seu consumo.

Ao analisar a evolução espaço-temporal do índice de qualidade da água, a comparação de dados coletados em diferentes momentos revelou mudanças significativas nas condições da água ao longo dos 3 meses. Isso pode ser resultado de factores como mudanças climáticas, alterações no uso do solo, urbanização e práticas agrícolas.

VI. RECOMENDAÇÕES

Considerando a actual situação da qualidade de água superficial o rio Limpopo e no sistema de regadio de Chókwè, são apresentadas algumas orientações e recomendações de modo a minimizar a contaminação dos corpos d'água nessa região:

- ✓ Recomenda-se a fazer o tratamento da água antes do consumo;
- ✓ Recomenda-se a fazer o estudo da evolução espaço-temporal em outros pontos ao longo do leito do Rio;
- ✓ Recomenda-se a comunidade académica a encarar o estudo como não conclusivo, mas sim como um ponto de partida para a reflexão sobre a situação do monitoramento da qualidade de água superficial, de modo a se realizar futuras pesquisas na área de estudo com o objectivo de proporcionar um melhoramento técnico e gerar conhecimento científico mais aprofundado.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd El-Mageed, A. M. G., Enany, T. A., Goher, M. E., & Hassouna, M. E. M. (2022). Previsão de parâmetros de qualidade da água no Lago Superior Wadi El Rayan, Fayoum, Egito usando sistema de inferência neuro-fuzzy adaptativo. *O Jornal Egípcio de Pesquisa Aquática*, 48(1), 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.10.001>
- Almeida, O. A. de. (2010). Qualidade da água de Irrigação. Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- Almeida, J. C. (2013). Avaliação do Índice de Qualidade da Água na Lagoa dos Patos.
- Ambrozini, B. (2021). ETA (Estação de Tratamento de Água) e ETE (Estação de Tratamento de Efluentes).
- Bonifácio, C. M., & Nóbrega, M. T. D. (2021). Parâmetros De Qualidade Da Água No Monitoramento Ambiental. Em R. J. D. Oliveira, *Recursos Hídricos: Gestão, planejamento e técnicas em pesquisa* (1.^a ed., pp. 219–232). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/210805810>
- Dadá, Y. A. I. (2016). Estratégias de Produção Camponesa em Moçambique: O Caso de Guijá, Chokwe e Kamavota [PhD Thesis]. Universidade de Lisboa (Portugal).
- El-Mahdy, M. E.-S. (2022). Um índice unificado de avaliação da vulnerabilidade dos sistemas de recursos hídricos – Traduzindo a abordagem teórica em uma ferramenta simples para avaliar o impacto das mudanças climáticas: Estudo de caso na Bacia do Rio Limpopo, África. *Revista de Engenharia Ain Shams*, 13(5), 101687. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.101687>
- Fikadu, G. (2022). Determination of Selected physicochemical water quality parameters of the upper stream of Amerti watershed of Western Ethiopia. *Environmental Challenges*, 8, 100558. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100558>
- Fortes, A. C. C. (2018). Índice de qualidade de água para consumo humano: Uma proposta de ferramenta para a vigilância da qualidade da água comunicar os resultados à sociedade.
- Garcia, J. M., Mantovani, P., Gomes, R. C., Longo, R. M., Demanboro, A. C., & Bettine, S. D. C. (2018). Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. *Sociedade & Natureza*, 30(1), 228–254. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-10-IGAnn.2020>
- Instituto Brasileiro de Gestão de Águas. Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos. *Holos*, 2, 35–50. <https://doi.org/10.15638/holos.2024.692>

- Kouadri, S., Kateb, S., & Zegait, R. (2021). Modelo espacial e temporal para predição do IQA baseado em rede neural de retropropagação, aplicação na região EL MERK (sudeste argelino). *Jornal da Sociedade Saudita de Ciências Agrárias*,20(5), 324–336. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.03.004>
- Kumar Ravi, N., Kumar Jha, P., Varma, K., Tripathi, P., Kumar Gautam, S., Ram, K., Kumar, M., & Tripathi, V. (2023). Aplicação do índice de qualidade da água (IQA) e técnicas estatísticas para avaliar a qualidade da água para beber, irrigação e fins industriais do rio Ghaghara, Índia. *Temas de Pesquisa em Meio Ambiente Total*,6, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100049>
- Leit, D. A. N. de O., Ramos, M. A. G., Godoi, D. R. de, Mariamo, A. P., Piao, A. C. S., & Angelis, D. F. de. (2013). AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA SEGUNDO O MODELO ESTATÍSTICO ARIMA. 13.
- Liu, X., Xia, J., Zu, J., Zeng, Z., Li, Y., Li, J., Wang, Q., Liu, Z., & Cai, W. (2023). Variações espaço-temporais e funções gradientes da turbidez da água em lagos rasos. *Indicadores Ecológicos*,147, 109928. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109928>
- MISAU, M. da S., UNICEF. (2004). Regulamento sobre a Qualidade de Água para o Consumo Humano (pp. 26–31).
- Nhassengo, O. S. Z., Somura, H., & Wolfe, J. (2021). Environmental flow sustainability in the Lower Limpopo River Basin, Mozambique. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36, 100843. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100843>
- Oliveira, A. R. M. D. (2017). Desenvolvimento De Índices De Qualidade Da Água Com Número Reduzido De Parâmetros.
- Pereira, I. D. S. (2014). Índices De Qualidade Da Água Para Consumo Humano: Modelagem E Influência Do Uso E Ocupação Do Solo.
- Pinto Filho, J. L. O., Santos, E. G., & Souza, M. J. J. B. (2012). Proposta De Índice De Qualidade De Água Para A Lagoa Do Apodi, Rn, Brasil. *Holos*, 2, 69–76. <https://doi.org/10.15628/holos.2012.692>
- Piveli, D. R. P. (2004). Características Físicas Das Águas: Cor, Turbidez, Sólidos, Temperatura, Sabor E Odor. 26.
- Qualigraf. (2021). Obtido 8 de junho de 2022, de <http://www3.funceme.br/qualigraf/app/pagina/show/3>

- Ragazzo, G. S. (2019). Avaliação do índice de qualidade de água da represa billings através de técnicas de geoprocessamento. [Mestrado em Matemática Aplicada, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.45.2009.tde-20220712-123618>
- Rosa, C. A. da S., & Saad, A. M. dos S. O. e A. R. (2014). A expansão urbana e o IQA como ferramentas de avaliações e análises da evolução da qualidade das águas do rio Cotia, região metropolitana de São Paulo, Brasil. 14.
- Santa Rosa, C. A. da, Oliveira, A. M. dos S., & Saad, A. R. (2016). Monitoramento Do Índice De Qualidade Das Águas (Iqa) E Seus Parâmetros Por Séries Temporais, Tendo Como Estudo A Bacia Hidrográfica Do Rio Cotia, São Paulo, Brasil.
- Schuitema, G., Hooks, T., & McDermott, F. (2020). Water quality perceptions and private well management: The role of perceived risks, worry and control. *Journal of Environmental Management*, 267, 110654. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110654>
- Shanmugasundharam, A., Akhina, S. N., Adhithya, R. P., Singh, D. S. H., & Krishnakumar, S. (2023). Índice de qualidade da água (IQA), estatística multivariada e SIG para avaliação da qualidade das águas superficiais do estuário do rio Karamana, costa oeste da Índia. *Temas de Pesquisa em Meio Ambiente Total*, 6, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100031>
- Silva Araújo Alencar, V. E., Paulino da Rocha, E. J., de Souza Júnior, J. A., & Santana Carneiro, B. (2019). Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorência de Efeitos da Precipitação na Baía de Guajará – Belém – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(2), 661–680. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p661-680>
- Silva, I. R. D., Brovini, E. M., Pereira, R. D. O., & Gomes, M. H. R. (2020). Influência Da Precipitação E Do Uso E Ocupação Do Solo Na Qualidade Da Água Da Bacia Do Ribeirão Espírito Santo – JUIZ DE FORA/MG. *Revista de Estudos Ambientais*, 22(1), 35. <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2020v22n1p35-51>
- Silva, J. P., Mesquita, K. F. C., Pereira, J. A. R., Sousa, R. R. de, Varela, A. W. P., Sousa, P. H. C., Santos, R. M., & Santos, M. de L. S. (2020). Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). *Scientia Plena*, 15(12). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.124301>
- Silva, R. A. S., Maynard, I. N. F., Barbosa, A. Q., Tolle, E. C., Cavalcante, E. B., & Marrques, M. N. (2017). Aplicação de um Índice de Qualidade de Água para o sistema de

abastecimento público. Scientia Plena, 13(10).
<https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109917>

- Strada, D. C. (2021). APLICAÇÃO DO IQA-CCME EM SÉRIE HISTÓRICA DE QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO DAS SUB-BACIAS DO ARROIO DO SALSO E DO ARROIO LAMI, RS. Agencia Nacional de Aguas.
- Suvarna, B., Sudharshan Reddy, Y., Sunitha, V., Reddy, B. M., Prasad, M., & Reddy, M. R. (2020). Dados sobre a aplicação do método de índice de qualidade da água para avaliação da qualidade da água em torno do corredor industrial de cimento, Yerraguntla Mandal, Y.S.R District, A.P South India. Dados em resumo,28, 104872.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104872>
- Ucker, F. E., Lima, P. B. S. de O., Camargo, M. F., Pena, D. S., Cardoso, C. F., & Evangelista, A. W. P. (2013). ELEMENTOS INTERFERENTES NA QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 10(10), 2102–2111. <https://doi.org/10.5902/223611707540>
- Valentini, M. H. K., Santos, G. B. D., Franz, H. S., Silva, L. A. D., Machado, L. L., Vieira, D. D. S., Vieira, B. M., Romani, R. F., Leandro, D., Nadaleti, W. C., & Vieira, B. M. (2020). Análise da qualidade da água da Lagoa Mirim através do IQA e de métodos estatísticos. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 12(1), 375–384.
<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0031>
- Von Sperling. (2014). Von Sperling. www.amazon.com.br > Livros-Marcos-Von-Sperling > rh=n:6740748011,...
- Wang, W., Liu, C., Zhang, F., Leong Tan, M., Shi, J., Zhang, Z., Duan, P., Kung, H.-T., & Xin, H. (2022). Avaliação dos impactos de fatores ambientais e uso da terra na qualidade sazonal da água superficial em regiões áridas e úmidas utilizando modelos de equações estruturais. Indicadores Ecológicos, 144, 109546.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109546>
- Zamberlan, J. F., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Ferraz, R. C., & Pinto, L. D. M. (2013). Índices Sazonais De Qualidade Da Água De Irrigação Via Análise Multivariada Na Região Central Do Rio Grande Do Sul. Irriga, 18(3), 376.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n3p376>

Zanini, H. L. H. T., Amaral, L. A. D., Zanini, J. R., & Tavares, L. H. S. (2010). Caracterização da água da microbacia do córrego rico avaliada pelo índice de qualidade de água e de estado trófico. *Engenharia Agrícola*, 30(4), 732–741. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000400017>

Zanon, A. (2020). Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água: Monitoramento E Diagnóstico De Qualidade De Água Superficial. Editora Secco.