



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO: QUÍMICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RIOS UMBELÚZI E
INCOMÁTI PARA FINS DE CONSUMO DOMÉSTICO E
IRRIGAÇÃO**



Autora: Fátima Momade Boana

Maputo, Agosto de 2011



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO: QUÍMICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RIOS UMBELÚZI E
INCOMÁTI PARA FINS DE CONSUMO DOMÉSTICO E
IRRIGAÇÃO**



Autora: Fátima Momade Boana

Supervisora: Prof^a. Doutora Fung Dai Kin

Co-supervisor: dr. Moisés Mabui

Maputo, Agosto de 2011

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em memória do meu querido pai Momade Boana, especialmente à minha mãe Maria Celeste Tibana e a toda a sociedade em geral.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a ALLAH o poderoso e o misericordioso, por ter concedido o dom da vida e por iluminar todos os meus caminhos;

Aos meus pais que me deram a vida e todo o apoio desde o primeiro dia da minha vida até hoje vai um especial agradecimento;

Um especial agradecimento à minha supervisora Prof^a. Doutora Fung Dai Kin pela orientação sábia, críticas, dedicação, ensinamento e todo o apoio prestado na realização deste trabalho;

Ao meu co-supervisor dr. Moisés Mabui por ter acompanhado cada etapa do trabalho desde a recolha da amostra até à realização da parte experimental;

Ao dr. Jaime Mandlate e ao dr. Paulino Muteto pela disposição, acompanhamento da parte experimental e da elaboração do relatório e pelas sugestões dadas durante a realização deste trabalho;

Ao Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM) por me ter concedido o estágio para a realização deste trabalho e aos técnicos do laboratório de química do LEM por terem esclarecido dúvidas na realização da parte experimental;

Ao meu colega Conjo pelas sugestões e críticas dadas durante a realização da parte experimental e elaboração do relatório final; ao meu colega Edson que incansavelmente me ajudou na reparação do computador para a digitação do trabalho;

Às minhas colegas Vina, Emília, Joice, Odete e Saquia pela convivência e amizade durante o curso;

Ao Departamento de Química da UEM, a todos os professores, funcionários e aos meus colegas em geral que, de uma forma directa ou indirecta, me ajudaram durante o curso.

A todos os outros que não mencionei por todo o apoio que me deram.

DECLARAÇÃO DE HONRA

O presente trabalho de licenciatura foi elaborado por mim, com base na bibliografia a que se faz referência ao longo do relatório.

Maputo, Julho de 2011

A autora

(Fátima Momade Boana)

RESUMO

Neste trabalho fez-se a determinação da qualidade de água para fins de consumo doméstico e de irrigação. Os parâmetros estudados na determinação da qualidade da água foram os seguintes: pH, TDS, CE, turvação, NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ (medidos no local da amostragem); CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- e DQO (determinados por volumetria); SO_4^{2-} (por gravimetria); Na e K por fotometria de chama (FC); Ca, Mg, Cu, Fe e Zn por espectrofotometria de absorção atômica com atomização por chama (FAAS).

As amostras foram colhidas em três pontos dos rios Umbelúzi (no distrito de Boane), e Incomáti (dois pontos no distrito de Manhiça e um ponto no distrito de Marracuene).

O controlo da exactidão para a determinação de metais pelos métodos de FC e FAAS foi efectuado usando o material de referência LGC6019 do rio Tamisa (Inglaterra), tendo-se calculado o erro relativo (Er) e a percentagem de recuperação (%R). No método de FC a exactidão na determinação de Na e K foi muito boa tendo como Er 2.47% e 2.51% e %R 97.6% e 97.5% respectivamente. Em relação ao método de FAAS a exactidão na determinação de Ca, Cu, Fe e Zn variou de muito boa a boa tendo como Er 0.28%, 2.59%, 6.27% e 2.85% e %R de 100%, 97.4%, 93.7% e 97.2% respectivamente, com excepção de Mg com Er de 11.9% e %R de 88.1%. Fez-se a comparação do valor experimental com o valor conhecido e só se verificou uma diferença significativa para o Fe.

Para a interpretação dos resultados sobre a qualidade de água para fins de consumo doméstico e irrigação usaram-se como referência os limites de concentração estabelecidos pelas normas NM e FAO; comparou-se também com os limites das normas NAS, NP, NE, OMS e CONAMA. De acordo com estas normas, pode-se dizer que, as amostras da água dos rios analisados são de boa qualidade para fins de consumo doméstico embora com valores de Fe e de turvação da água do rio Incomáti acima dos limites de concentração estabelecidos pelas normas acima referidas.

A água dos rios Umbelúzi e Incomáti também é de boa qualidade para a irrigação em contra partida segundo os teores de CO_3^{2-} e K não se considera a água de boa qualidade para a irrigação.

Para os parâmetros turvação, DQO e NO_2^- não se fez a interpretação da qualidade da água para fins de irrigação pois não foram encontrados dados disponíveis nas normas consultadas.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos.....	3
1.2. Metodologia	3
2. LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	5
2.1. Características da bacia do Umbelúzi	5
2.1.1. <i>Clima e Hidrografia</i>	5
2.1.2. <i>Geologia</i>	5
2.1.3. <i>Agricultura</i>	6
2.2. Características da bacia do Incomáti.....	8
2.2.1. <i>Clima e Hidrografia</i>	8
2.2.2. <i>Geologia</i>	8
2.2.3. <i>Agricultura</i>	8
3. QUALIDADE DE ÁGUA- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1. Variáveis de qualidade da água.....	12
3.1.1. <i>pH</i>	12
3.1.2. <i>Condutividade eléctrica (CE)</i>	13
3.1.3. <i>Turvação</i>	14
3.1.4. <i>Sólidos totais dissolvidos (TDS)</i>	14
3.1.5. <i>Demanda química de oxigénio (DQO)</i>	15
3.1.6. <i>Carbonatos e bicarbonatos</i>	15
3.1.7. <i>Nitrogénio</i>	16
3.1.8. <i>Cálcio e magnésio</i>	17
3.1.9. <i>Cloretos</i>	18
3.1.10. <i>Sulfatos</i>	19
3.1.11. <i>Potássio</i>	19
3.1.12. <i>Sódio</i>	20
3.1.13. <i>Ferro</i>	20
3.1.14. <i>Zinco</i>	21
3.1.15. <i>Cobre</i>	22

3.2. O solo como reservatório de água.....	23
3.2.1. Salinidade	23
3.2.2. Infiltração	24
3.3. Valores recomendáveis de parâmetros referentes à qualidade de água para fins de consumo doméstico e fins de irrigação.....	25
4. MÉTODOS DE ANÁLISE DE ÁGUA	29
4.1. Análise gravimétrica	29
4.2. Análise volumétrica	29
4.3. Espectrofotometria de absorção atômica com atomização por chama	29
4.3.1. Interferências	30
4.4. Fotometria de chama.....	31
4.4.1. Interferências	31
4.5. Outras técnicas de análise de água.....	32
5. PARTE EXPERIMENTAL	33
5.1. Materiais, equipamentos e reagentes	33
5.2. Modo de lavagem do material.....	34
5.3. Amostragem.....	34
5.4. Determinação de parâmetros na análise da qualidade da água	35
5.4.1. Parâmetros medidos “in-situ”	35
5.4.2. Determinação de carbonatos e bicarbonatos	37
5.4.3. Determinação da demanda química de oxigênio (DQO)	38
5.4.4. Determinação de cloretos	40
5.4.5. Determinação de sulfatos	40
5.4.6. Determinação de Ca, Mg, Fe, Na, K, Zn, e Cu.....	41
5.4.7. Condições instrumentais de determinação de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K	42
6. APRESENTAÇÃO E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS.....	43
6.1. Discussão e interpretação dos resultados.....	47
6.1.1. pH, CE, TDS, Turvação, NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+	48
6.1.2. Carbonatos e bicarbonatos.....	53
6.1.3. Cloretos.....	53
6.1.4. DQO.....	55

6.1.5. Sulfatos.....	55
6.1.6. Cálcio.....	57
6.1.7. Magnésio.....	58
6.1.8. Ferro.....	59
6.1.9. Sódio.....	60
6.1.10. Potássio.....	61
6.1.11. Cobre.....	63
6.1.12. Zinco.....	64
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	68

Índice de Tabelas

Tabela 1: Valores limites e recomendáveis de parâmetros físico-químicos e microbiológicos referentes à qualidade da água para o consumo doméstico.....	25
Tabela 2: Valores máximos recomendáveis (VMR) e admissíveis (VMA) ao consumo doméstico e à irrigação de acordo com as normas portuguesas.....	26
Tabela 3: Limites máximos permitidos de MP em águas para o consumo doméstico segundo normas de alguns países.....	27
Tabela 4: Grau de restrição e valores recomendáveis da qualidade da água para irrigação.....	28
Tabela 5: Parâmetros instrumentais para a determinação de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K.....	42
Tabela 6: Teores, erros relativos, intervalos de confiança e valores de t-student ($\alpha = 0.05$) de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K no material de referência.....	45
Tabela 7: Resultados de t^a , pH, TDS, condutividade, turvação, NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ das amostras dos rios Umbelúzi e Incomáti.....	46
Tabela 8: Resultados de parâmetros de qualidade da água de amostras dos rios Umbelúzi e Incomáti.....	46
Tabela 9: Resultados de análises de CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca, Mg e Na das amostras dos rios Umbelúzi e Incomáti em meq/L.....	47
Tabela 10: Limites de detecção e de quantificação dos elementos em análise pelos métodos de FAAS e FC.....	47

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de localização dos pontos de amostragem do rio Umbelúzi em Boane	7
Figura 2: Mapa de localização dos pontos de amostragem do rio Incomáti em Manhiça	49
Figura 3: Mapa de localização dos pontos de amostragem do rio Incomáti em Marracuene	49
Figura 4: Diagrama de conc. da turvação em diferentes pontos de amostragem.....	49
Figura 5: Diagrama de conc. de NO_3^- em diferentes pontos de amostragem	50
Figura 6: Diagrama de conc. de NO_2^- em diferentes pontos de amostragem	51
Figura 7: Diagrama de conc. de NH_4^+ em diferentes pontos de amostragem.....	51
Figura 8a: Diagrama de conc. de CO_3^{2-} em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para o consumo doméstico	52
Figura 8b: Diagrama de conc. de CO_3^{2-} em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para a irrigação	52
Figura 9a: Diagrama de conc. de HCO_3^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para o consumo doméstico	53
Figura 9b: Diagrama de conc. de HCO_3^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para a irrigação	53
Figura 10a: Diagrama de conc. em mg/L de Cl^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para consumo doméstico e irrigação.....	54
Figura 10b: Diagrama de conc. em meq/L de Cl^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para irrigação	54
Figura 11: Diagrama de conc. de DQO em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.....	55
Figura 12a: Diagrama de conc. em meq/L de SO_4^{2-} em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para consumo doméstico e irrigação	56
Figura 12b: Diagrama de conc. em meq/L de SO_4^{2-} em diferentes pontos de amostragem e o limite da norma para a irrigação	56
Figura 13a: Diagrama de conc. em mg/L de Ca em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para o consumo doméstico.....	57
Figura 13b: Diagrama de conc. em meq/L de Ca em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para a irrigação.....	57

Figura 14a: Diagrama de conc. em mg/L de Mg em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para o consumo doméstico.....	58
Figura 14b: Diagrama de conc. em meq/L de Mg em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para a irrigação.....	58
Figura 15: Diagrama de conc. de Fe em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.....	60
Figura 16a: Diagrama de conc. de Na em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas para o consumo doméstico.....	61
Figura 16b: Diagrama de conc. de Na em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas para a irrigação.....	61
Figura 17: Diagrama de conc. de K em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas.....	62
Figura 18: Diagrama de conc. de Cu em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas.....	64
Figura 19: Diagrama de conc. de Zn em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas.....	64

Índice de Anexos

Anexo 1: Preparação de soluções operacionais.....	A-1
Anexo 2: Resultados de análises de CO_3^{2-} , HCO_3^- , COD, Cl^- e SO_4^{2-}	A-4
Anexo 3: Preparação de soluções padrão de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Na e K.....	A-7
Anexo 5: Resultados de leituras dos elementos em questão no material de referência.....	A-9
Anexo 6: Curvas de calibração de Ca e resultados de leituras de padrões e amostras.....	A-10
Anexo 7: Curvas de calibração de Mg e resultados de leituras de padrões e amostras.....	A-11
Anexo 8: Curvas de calibração de Fe e resultados de leituras de padrões e amostras.....	A-12
Anexo 9: Curvas de calibração de Zn e resultados de leituras de padrões e amostras.....	A-13
Anexo 10: Curvas de calibração de Cu e resultados de leituras de padrões e amostras.....	A-14
Anexo 11: Curvas de calibração de Na e resultados de leituras de padrões e amostras.....	A-15
Anexo 12: Curvas de calibração de K e resultados de leituras de padrões e amostras.....	A-16

Lista de abreviaturas

CE- Condutividade eléctrica

CENACARTA- Centro Nacional de Cartografia e Teledatação

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

DQO- Demanda química de oxigénio

EAM- Espectrofotometria de absorção molecular

EDM- Electricidade de Moçambique

Er- Erro relativo

FAAS- Espectrofotometria de absorção atómica com atomização por chama

FAO- Food and Agriculture Organization

FC- Fotometria de chama

GFAAS- Espectrofotometria de absorção atómica com forno de grafite

IA - Irrigação por aspersão

ICP-AES- Espectroscopia de emissão atómica com plasma indutivamente acoplado

I_n – Amostras de água do rio Incomati, n- indica o ponto da amostragem

IS - Irrigação por superfície

LD- Limite de detecção

LEM- Laboratório de Engenharia de Moçambique

LQ- Limite de quantificação

LRI- Limite de risco insignificante

μ – Teor médio certificado no material de referência

MAE – Ministério da Administração Estatal

MP- Metais pesados

MR- Material de referência

NAS – Normas da África do Sul (consumo doméstico)

NE- Normas europeias (consumo doméstico)

NM – Normas moçambicanas (consumo doméstico)

NP- Normas portuguesas (consumo doméstico e irrigação)

NTU-Nephelometric turbidity units

OMS- Organização Mundial da Saúde

RAS- Razão de adsorção de sódio

RHM- Recursos Hídricos de Moçambique

%R- Percentagem de recuperação

%RSD- Percentagem do desvio padrão relativo

s – Desvio padrão

$s_{y/x}$ – Desvio padrão dos resíduos

TCU- True color units

TDS- Sólidos totais dissolvidos

UEM- Universidade Eduardo Mondlane

U_n – Amostras de água do rio Umbelúzi, n- indica o ponto da amostragem

VD- valor desejável

VMA- Valor máximo admissível

VMR- Valor máximo recomendado

\bar{X} - Média dos teores experimentais de uma amostra

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável ao desenvolvimento dos seres vivos na terra, isto é, a qualidade de vida dos seres vivos depende da água bem como da sua qualidade.

Conceitualmente, a qualidade da água refere-se às características de uma fonte de água que influencia em adequadas condições para um uso específico, ou seja, a boa qualidade depende das necessidades do utente. A qualidade da água é definida por certas características físicas, químicas e biológicas (AYERS e WESTCOT 1985).

Em geral, as características físicas são avaliadas por meio da presença de sólidos (suspensos, coloidais e dissolvidos na água); as químicas, por meio de aspectos (orgânicos e inorgânicos) e as biológicas, mediante análise microbiológica e clorofila-a (DAMASCENO et al, 2008).

A aparência da água oferece uma informação sobre a presença de alguns contaminantes, mas as análises químicas são importantes para a detecção de mais contaminantes (SELF, 2010).

A qualidade da água dos rios é afectada pela poluição cujas fontes mais importantes são os resíduos domésticos, efluentes industriais e resíduos agrícolas. Outras fontes incluem derrames de petróleo, deposição atmosférica, o descarte de lixo, aquecimento global e a eutrofização.

A avaliação da qualidade da água para fins de consumo doméstico tem por objectivo proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação da água, assegurando a sua salubridade e limpeza.

Na irrigação é importante destacar que o uso da água, de forma racional e qualitativa, promove o incremento da produtividade que é o ponto de partida essencial em direcção ao progresso.

Assim, o uso indevido e desqualificado da água pode acarretar muitos danos, que retornarão à fonte, podendo inclusive transmitir doenças ao agricultor que mantém contacto directo com a água, a própria cultura e o solo que se desenvolve e, conseqüentemente, aos utentes através dos produtos irrigados consumidos (VASCONCELOS et al, 2009).

Para evitar problemas consequentes, deve existir um plano efectivo que assegure o melhor uso possível das águas, de acordo com a sua qualidade. A água pode conter impurezas que a tornam impréstável para determinados fins, a não ser que seja submetida a um rigoroso tratamento, operação esta bastante despendiosa para ser usada normalmente no meio rural.

Portanto, o uso da água para qualquer fim depende tanto da quantidade como da qualidade da mesma (MORAIS et al, 1998).

Estudos anteriores sobre a qualidade da água realizados por NHAMUNDO, 2007 e SAVAIO, 2008 na barragem de Massingir mostram que a contaminação das águas destas barragens é possivelmente causada pelos processos de intemperismo e pela actividade industrial local. A contaminação da água da albufeira de Cahora Bassa segundo SILVA et al, 2003 citado por HALAFO, 2009 é devida a descargas directas de efluentes provenientes das áreas urbanas, industriais, mineiras e dos sistemas de tratamento das águas residuais, das actividades agrícolas e florestais nas proximidades da barragem.

A ARA SUL realiza estudos da qualidade da água dos rios Umbelúzi e Incomáti periodicamente tendo em conta alguns parâmetros nomeadamente pH, CE, turvação, dureza total, Cl^- , NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ ; a ARA SUL caracteriza a qualidade da água do rio Umbelúzi (período de Abril a Julho de 2008) como boa, exceptuando-se para valores de turvação e pH em alguns pontos de amostragem; para o rio Incomáti no mesmo período a qualidade da água é boa exceptuando-se para valores de Cl^- no ponto localizado em Marracuene Batelão devido à grande influência da intrusão salina.

O presente estudo além de determinar mais parâmetros que definem a qualidade da água nestes rios, é de grande importância, pois a população que vive nas proximidades dos rios Umbelúzi e Incomáti usa a água destes rios directamente para consumo doméstico bem como para irrigação das suas culturas garantindo assim o seu sustento; as actividades dessa população nos rios nomeadamente a agricultura nas proximidades dos rios, lavagem de roupa, banho, transporte (rio Incomáti), podem contribuir para a má qualidade da água sendo assim um risco para a saúde da população residente nesses distritos.

Sendo assim, levando em conta a importância destes aspectos, este trabalho enquadra-se num projecto do LEM realizado com o objectivo de analisar a qualidade da água dos rios Umbelúzi no distrito de Boane, e Incomáti nos distritos de Manhiça e Marracuene, para fins de consumo doméstico e de irrigação segundo os parâmetros pH, TDS, DQO, CE, turvação, CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Cl^- , Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn, bem como conhecer as suas condições actuais e principais fontes de contaminação dos rios, visando dispôr de dados aos órgãos competentes, para conservação e uso racional deste recurso.

1.1. Objectivos

Geral

- Ø Estudo da qualidade da água dos rios Umbelúzi no distrito de Boane e Incomáti nos distritos de Manhiça e Marracuene para fins de consumo doméstico e para fins de irrigação com base em análises físico-químicas.

Específicos

- Ø Determinação de parâmetros físico-químicos
- Ø Controlo dos resultados obtidos pelos métodos FAAS e FC através do MR LGC6019
- Ø Comparação dos resultados obtidos com normas moçambicanas, portuguesas, europeias, da OMS, da África do Sul, da FAO e da CONAMA da qualidade de água para fins de consumo doméstico e de irrigação

1.2. Metodologia

Ø **Pesquisa bibliográfica**

A pesquisa bibliográfica consistiu basicamente na recolha de informações sobre a qualidade da água dos rios destinada ao consumo doméstico e à irrigação, os parâmetros que definem a qualidade da água, as normas de qualidade da água destinada ao consumo doméstico, os graus de restrição do uso da água à irrigação bem como os efeitos do uso da água de má qualidade no consumo doméstico e irrigação. Estas informações foram adquiridas em artigos científicos, livros e publicações da internet.

Ø **Parte experimental**

Para a realização do trabalho laboratorial, foi adoptada a seguinte metodologia:

- Ø Preparação das condições laboratoriais e lavagem do material
- Ø Recolha e preservação das amostras
- Ø Preparação das soluções operacionais
- Ø Determinação dos teores dos parâmetros de interesse no material de referência e em amostras de água

Ø Interpretação e discussão dos resultados

Consistiu na interpretação e discussão dos resultados das amostras da água com base no tratamento estatístico feito e em algumas normas adquiridas na pesquisa bibliográfica.

Ø Elaboração do relatório final

O relatório final foi elaborado considerando todos os passos acima traçados e terminando com uma conclusão acerca do assunto abordado seguindo o regulamento em vigor na UEM.

2. LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

2.1. Características da bacia do Umbelúzi

A bacia do rio Umbelúzi situa-se no sul da Província de Maputo e é delimitada pelos paralelos 25° 40' 22" e 26° 16' 47" de latitude sul e pelos meridianos 31° 55' 43" e 32° 29' 01" de longitude este.

O rio Umbelúzi tem origem na Swazilândia junto da sua fronteira oeste com a África do Sul. O rio principal corre especialmente numa direcção para Leste, indo desembocar no estuário Espírito Santo, a sul da cidade de Maputo (ARA SUL, 2008, MAE, 2005 e DNA, 1999).

O rio Umbelúzi é uma fonte de água potável das cidades de Maputo e Matola. Com o crescente aumento da população, a quantidade de água tornou-se cada vez mais escassa pelo que foi necessária a construção da barragem de Pequenos Libombos (MAE, 2005).

Esta bacia tem uma grande acção agrícola a montante da barragem de Pequenos Libombos. A jusante da barragem localiza-se a estação de captação da água para abastecimento às cidades de Maputo e Matola, depois existe um local onde são despejados os efluentes de tratamento de água, e na foz há grande influência da intrusão salina (ARA SUL, 2008)

2.1.1. Clima e Hidrografia

Na zona sul da bacia, predomina o tipo climático seco de estepe com excepção da zona de Goba que é tropical chuvoso de savana, na zona norte o tipo seco de estepe com estação seca no Inverno e na zona ocidental numa pequena mancha o tipo temperado húmido sem estação seca. A temperatura média anual varia entre 20°C e 25°C.

O rio Umbelúzi tem como principais afluentes, os rios Black M'buluzi e White M'buluzi, que confluem com o rio principal aproximadamente a 22 Km² da fronteira da localidade de Goba no posto administrativo de Changanane, distrito de Namaacha por onde o rio entra em Moçambique (MAE, 2005).

2.1.2. Geologia

As formações geológicas distribuem-se, da foz para as nascentes: aluvionares, grés, basaltos, riolitos, novamente basaltos, calcários, xistos, rochas básicas e granitos (MAE, 2005).

Na bacia do Umbelúzi predominam os seguintes tipos de solos:

- Ø solos arenosos permeáveis – junto à costa
- Ø solos barrentos negros e vermelhos pouco permeáveis – na zona central
- Ø solos vermelhos permeáveis e litosolos impermeáveis – ao longo da fronteira (MAE, 2005).

2.1.3. Agricultura

O vale do Umbelúzi possui solos com bom potencial agrícola e pecuário, que são explorados por vasto tecido de agricultura privada e familiar.

A principal actividade do distrito de Boane é a agricultura concentrada no sector familiar que tem como principal produto o milho.

O distrito de Boane possui uma área total de 43200ha de solos através dos quais 33700ha são de sequeiro e 9500ha de irrigação. Da área de sequeiro estão em uso actualmente 18620ha e da área de irrigação estão em uso 1300ha (MAE, 2005)

As áreas de irrigação estão localizadas nos postos administrativos de Massaca, Manguiza, 25 de Setembro, Mahanhane, Mualate, Rádio Marconi, Alto Umbelúzi e Baixo Umbelúzi. Alguns destes regadios não possuem infra-estruturas de irrigação e a rega é feita por aspersão (ARA SUL, 2008 e MAE, 2005).

Existem em todo o distrito 13334 famílias camponesas e ocupam uma área de 7500ha. A área média de machamba é de 1.48ha por família. Os camponeses do sector familiar em regime de sequeiro produzem o milho, a mandioca, a batata-doce, o amendoim e o feijão nhemba (ARA SUL, 2008 e MAE, 2005).

No sector privado há 150 agricultores dos quais 68 trabalham efectivamente e ocupam uma área de 700ha, onde produzem citrinos, bananas e hortícolas. Estes agricultores exercem a sua actividade na Massaca, Mahanhane, Mualate, Rádio Marconi, Manguiza e no Baixo Umbelúzi. Existem em todo o distrito 21 associações de camponeses que produzem banana, milho e hortícolas (ARA SUL, 2008 e MAE, 2005).

2.2. Características da bacia do Incomáti

O rio Incomáti nasce na República da África do Sul, seguindo uma orientação para leste, atravessa a Suazilândia encontrando pouco depois a cordilheira dos Libombos que o obriga a orientar-se no sentido norte até encontrar finalmente a garganta (Koomatiport) por onde entra em Moçambique (ARA SUL, 2008).

Os principais utilizadores desta bacia são as açucareiras de Maragra e de Xinavane e um número reduzido de agricultores. Um outro utilizador é a EDM que usa electricidade da central hidroeléctrica de Corumana para suprir os défices durante os períodos de consumo de pico (ARA SUL, 2008).

2.2.1. Clima e Hidrografia

No distrito de Manhiça o clima predominante é tropical húmido no litoral e tropical seco à medida que se entra para o interior do distrito. A precipitação é de 807mm, concentrada nos meses de Dezembro a Fevereiro. A temperatura média anual é de 23 °C.

O distrito de Marracuene tem o clima tropical chuvoso pela proximidade do mar. Caracteriza-se por temperaturas quentes com um valor médio anual superior a 20°C. A precipitação é moderada, a estação chuvosa vai de Outubro a Abril (MAE, 2005).

2.2.2. Geologia

O distrito de Manhiça possui solos de fertilidade média, com uma zona alta, de sedimentos arenosos eólicos e uma zona de dunas costeiras e planície aluvionar ao longo do rio Incomáti com solos argilosos de textura estratificada (MAE, 2005).

A zona alta do distrito de Marracuene é constituída principalmente por sedimentos arenosos eólicos (a ocidente e ao longo da costa) com ocorrência de areias siliciosas (MAE, 2005).

2.2.3. Agricultura

A agricultura no distrito de Manhiça é praticada em explorações familiares que se dedicam principalmente ao cultivo de milho, batata-doce, amendoim, feijão, banana, mandioca e arroz. A exploração privada do distrito é dominada pelas açucareiras da Maragra e de Xinavane, que ocupam uma área de 20mil hectares de cana-de-açúcar (MAE, 2005).

No distrito de Marracuene a agricultura é a base da economia distrital, tendo como principais culturas, hortícolas, arroz, milho, batata-doce e banana (MAE, 2005).

A figura 3 mostra o mapa de localização do ponto de amostragem do rio Incomáti em Marracuene.

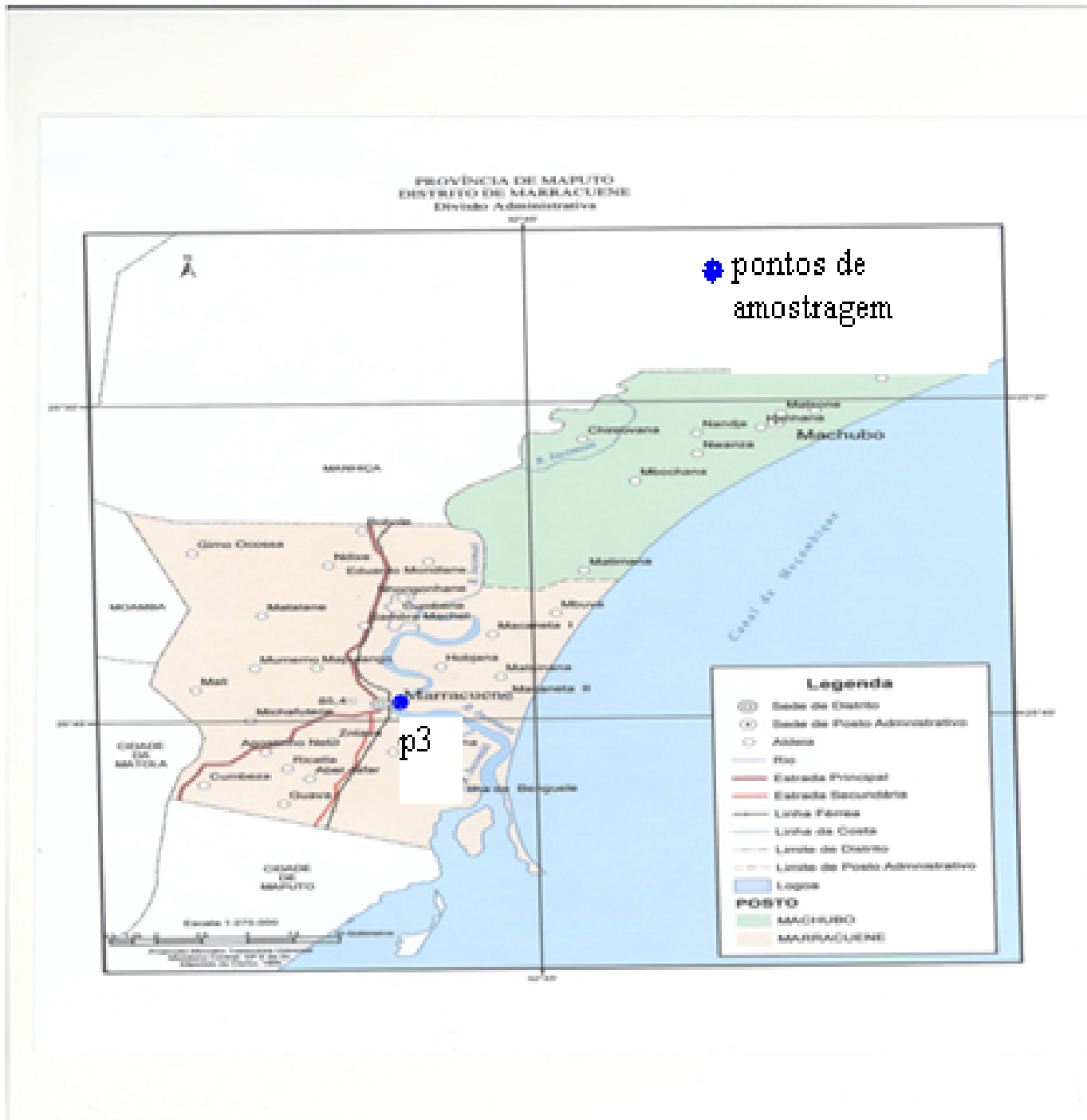


Figura 3: Mapa de localização do ponto de amostragem do rio Incomáti em Marracuene (fonte: CENACARTA, 2007)

3. QUALIDADE DE ÁGUA- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água que chega aos nossos rios é produto do ciclo hidrológico. A energia solar aquece a água, faz com que esta evapore, seja transportada pelo vento, condensada e precipitada. No solo, a acção da gravidade leva esta água para os pontos mais baixos do terreno, até chegar aos rios e oceanos, sendo que parte dessa água atinge os lençóis subterrâneos por infiltração. Durante este processo a água pode acumular uma série de contaminantes que também afectam a sua qualidade (NIEWEGLOWSKI, 2006).

No ciclo hidrológico, o processo de evaporação e precipitação age como um gigantesco destilador. A partir da condensação inicia-se o processo de contaminação com a dissolução de gases nas gotas da chuva, e no solo a água dissolve uma série de substâncias presentes.

As zonas ripárias (mata ciliar) e em áreas de recargas hídricas são de importância particular na manutenção da qualidade e quantidade de água. As áreas de recarga hídrica são responsáveis pela acomodação da água que precipita e penetra no solo, para depois a mesma água ser descarregada nos rios. Nestas áreas, geralmente os solos são profundos, permeáveis e o relevo é suave. São áreas muito sensíveis a acções antropogénicas e com uso restrito, pois as modificações afectam a quantidade e qualidade da água que chega ao solo e ao lençol freático.

Nas zonas ripárias, as matas ciliares têm o papel de barreira física entre ambiente terrestre e aquático, possuindo a função de filtro da água de escoamento das adjacências onde ficam retidos sedimentos, produtos tóxicos, nutrientes eutrofizantes. As matas ciliares permitem a estabilidade das margens, pois a água superficial fica retida na serapilheira, que age como uma esponja permitindo a lenta infiltração da água (NIEWEGLOWSKI, 2006).

A água da chuva quando atinge o solo faz o arraste de produtos diversos até aos rios e oceanos. Estes produtos podem ser compostos de iões diversos como cálcio, magnésio, potássio, bicarbonatos, nitratos, entre outros, compostos orgânicos resultantes da decomposição da matéria orgânica vegetal e animal, e também despejos de resíduos de áreas urbanas e agrícolas que podem incluir compostos orgânicos sintéticos como detergentes, agrotóxicos e solventes. Os seres vivos podem alterar a composição da água através da produção e consumo de CO₂ e O₂ pelas algas, regulando o pH, concentrações de carbonato e bicarbonato de cálcio (NIEWEGLOWSKI, 2006 e LEAL et al, 2009).

A determinação da qualidade da água para as suas diversas finalidades envolve certo grau de complexidade. Para um monitoramento satisfatório, é necessário considerar factores naturais como a litologia da região, o clima, a vegetação circundante, o tipo de solo e o ecossistema aquático e outros factores como a interferência da acção do homem sobre o sistema de fluxo, através da introdução de novas substâncias os quais promovem a alteração da qualidade dos recursos hídricos (LEAL et al, 2009 e NIEWEGLOWSKI, 2006). Para a irrigação o tipo de solo, tolerância da cultura, infiltração no solo e o método empregado, também influenciam na qualidade da água (PAULINO, 2008).

Alguns autores enfatizam que a temperatura e os ventos que influenciam no processo da decomposição das rochas e na erosão do solo determinam parte dos elementos que compõe a água (LEAL et al, 2009 e NIEWEGLOWSKI, 2006).

Em águas de irrigação é importante falar do solo pois os problemas de infiltração surgem dependendo da composição do solo que suporta a planta.

3.1. Variáveis de qualidade da água

Nos sub-itens seguintes estão descritas algumas características de parâmetros analisados nas águas dos rios Umbelúzi e Incomáti, os factores que determinam a sua presença no corpo hídrico, bem como as implicações no consumo doméstico e irrigação.

3.1.1. pH

O pH é a medida de intensidade do ácido ou base contido na água ou a medida da concentração de iões de hidrogénio na solução. Os valores de pH são indicativos do poder solvente da água.

Os processos biológicos (fotossíntese e respiração), a turbulência e a aeração influenciam o pH pela variação de dióxido de carbono. A descarga de efluentes nos corpos de água também contribui para a modificação do pH. O valor de pH afecta a biodisponibilidade das substâncias (principalmente metais). Níveis de pH mais ácidos (<6,0) causam problemas de corrosão e interferem aumentando as concentrações de dióxido de carbono e ácido carbónico; pH básico indica a presença significativa de bicarbonatos (NIEWEGLOWSKI, 2006 e SELF, 2010).

Efeito no consumo doméstico

Valores de pH fora dos intervalos recomendados para o consumo conferem sabor, corrosão, irritação da pele.

Efeito na irrigação

As águas de baixa salinidade podem apresentar valores de pH fora do normal, podendo essa acidez provocar desequilíbrios nutricionais para as culturas (conter iões tóxicos) e corrosão de equipamentos de irrigação (LEAL et al 2009 e MORAIS et al, 1998).

As mudanças provocadas por pH anormal da água de irrigação no solo são lentas, e quando isso ocorre, ao invés de se corrigir o pH da água, por não ser prático, faz-se a correcção do solo (MORAIS et al, 1998).

3.1.2. Condutividade eléctrica (CE)

A condutividade eléctrica é a expressão numérica da capacidade da água conduzir a corrente eléctrica e é geralmente expressa à temperatura padrão de 25°C; ela depende das concentrações iónicas e da temperatura. Indica a quantidade de sais dissolvidos na forma de iões existentes na coluna da água mas não fornece nenhuma indicação das quantidades individuais dos vários componentes (COSTA,1987 e OPOKU-DUAH et al, 1997).

Estes iões podem ter origem antropogénica (descargas industriais, consumo de sais em residência e comércio) ou geogénica (decomposição de rochas). A carga de sais na água é composta por catiões (sódio, cálcio, magnésio, potássio) e aniões (cloretos, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos e nitratos). Altas cargas de sais na água têm efeitos negativos principalmente em períodos de níveis baixos da água do rio. Podem afectar as comunidades ecológicas, pela composição de organismos fisiologicamente diferentes e a sua regulação pode ser dependente do teor desses sais (FATMA, 1998, citado por NIEWEGLOWSK, 2006).

Efeitos no consumo doméstico

A condutividade eléctrica fornece uma boa indicação das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. Valores excessivos podem indicar características corrosivas da água (HOWARD e BARTRAM, 2003).

Efeito na irrigação

A condutividade depende da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de irrigação e da textura do solo (Decreto-Lei n.º 236/98,1998). A irrigação por aspersão

com valor de CE acima do recomendado, pode provocar leves queimaduras das folhas em culturas mais sensíveis aos sais, principalmente a altas temperaturas durante o dia (DELVIO et al, 2006).

3.1.3. Turvação

A turvação da água representa o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, etc (COSTA,1987).

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turvação das águas. Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turvação das águas.

A alta turvação reduz a fotossíntese, a vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir o desenvolvimento dos peixes. (CETESB, 2005; CANADA, 1994 e BRITISH COLUMBIA, 1998 citados por NIEWEGLOWSKI, 2006).

Efeitos no consumo doméstico

A turvação dá uma má aparência à água. A turvação pode afectar a penetração da luz no meio aquático, prejudicando a fotossíntese e conseqüentemente pode provocar problemas de saúde devido à associação de microrganismos.

Efeito na irrigação

A turvação da água prejudica o desenvolvimento e a população de plantas.

3.1.4. Sólidos totais dissolvidos (TDS)

Sólidos totais dissolvidos avaliam a quantidade da matéria dissolvida que se encontra na coluna da água (COSTA,1987 e NIEWEGLOWSKI, 2006). Altas concentrações de sólidos dissolvidos na água limitam a sua adequação ao tratamento como água potável e como fonte para irrigação. As principais fontes de contaminação da água com sólidos dissolvidos são: agricultura, estações de tratamento de esgotos, esgotos não tratados, efluentes industriais tratados ou não e mineração (NIEWEGLOWSKI, 2006).

Efeitos no consumo doméstico

A água com um nível excessivo de TDS têm gosto desagradável e pode provocar irritações gastrointestinais, geralmente a água potável não deve exceder 500mg/L de TDS (COSTA,1987).

Efeito na irrigação

A influência de TDS na irrigação depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de irrigação e da textura do solo (Decreto-Lei n.o 236/98,1998).

3.1.5. Demanda química de oxigénio (DQO)

A demanda química de oxigénio é a quantidade de oxigénio necessária para a oxidação da matéria orgânica, e pode ser medida através de um agente químico, normalmente o dicromato de potássio (COSTA, 1987 e NIEWEGLOWSKI, 2006).

A determinação da DQO na água é particularmente importante por estimar o potencial poluidor de efluentes domésticos e industriais, (ZUCCARI et al, 2005).

Efeitos no consumo doméstico

Valores elevados de DQO provocam défice de oxigénio para os organismos aquáticos, consequentemente aumento da contaminação microbiológica, odor desagradável e afecta a estética da água (NIEWEGLOWSKI, 2006).

Efeito na irrigação

O valor de DQO muito alto pode restringir o crescimento das plantas em irrigação, principalmente em solos mal drenados (NIEWEGLOWSKI, 2006).

3.1.6. Carbonatos e bicarbonatos

São os maiores contribuintes da alcalinidade total (SELF, 2010). O carbonato e bicarbonato são os principais responsáveis pelo equilíbrio que governa o pH da água.

Os carbonatos e bicarbonatos controlam reacções ácido-base, capacidade de neutralização da água, equilíbrio ácido-base, complexação de metais, formação de precipitados e metabolismo biológico.

Efeitos no consumo doméstico

Os CO_3^{2-} e HCO_3^- influenciam no tratamento da água para consumo doméstico, índice da presença de metais alcalinos e alcalinos-terrosos que torna a água dura (COSTA, 1987)

Efeito na irrigação

Apesar da não toxicidade do HCO_3^- , este anião em excesso pode formar depósitos brancos nas folhas e frutos, reduzindo o valor comercial dos produtos (LEAL et al 2009).

A presença demasiada dos iões HCO_3^- e CO_3^{2-} pode provocar a precipitação do cálcio nas tubulações, diminuindo a eficiência de aplicação da água e elevando o risco de maior quantidade de sódio (LEAL et al 2009, MORAIS et al, 2001 e OLIVEIRA e MAIA,1998).

3.1.7. Nitrogénio

As fontes de nitrogénio nas águas naturais são diversas: amónia, nitrato, nitrito e nitrogénio orgânico.

O nitrogénio amoniacal é um nutriente presente na água na forma de amónio (NH_4^+). O amónio é libertado continuamente na água através da composição das substâncias nitrogenadas (proteínas, aminoácidos e ureia). Em ambiente anaeróbio o amónio pode surgir pela redução do nitrato (NO_3^-) (amonificação do nitrato). O nitrogénio amoniacal nas águas é oxidado por microrganismos nitrificantes para nitrato, o que pode significar uma carga grande para o equilíbrio do oxigénio no corpo hídrico.

O nitrogénio amoniacal favorece a eutrofização através da sua transformação em nitrato. Factores como pH e temperatura, presença de outros poluentes, concentração de oxigénio dissolvido, cálcio e alcalinidade influenciam na toxicidade da amónia. A acção da mistura de amónia com outros tóxicos é geralmente sinérgica.

O nitrito (NO_2^-) é o anião derivado do ácido nitroso muito solúvel em água. O nitrito aparece em uma fase intermediária natural do ciclo do nitrogénio; na oxidação microbiana do nitrito, este é imediatamente oxidado para a forma de nitrato (nitrificação) ou reduzido para a forma de gás nitrogénio (desnitrificação). Em casos de aumentos drásticos de NH_4^+ , e valores elevados de pH e temperatura, a nitrificação pode ocorrer mais rapidamente. A toxicidade do nitrito diminui com o aumento do pH.

Os nitratos são muito solúveis em água, sendo a forma mais oxidada e estável do nitrogénio na água. Nos corpos de água está geralmente presente em concentrações moderadas como metabolito natural do processo de nitrificação (conversão da amónia ou nitrito para nitrato). As principais fontes de poluição são os adubos de solo, esgotos sanitários humanos e animais, e ainda a deposição atmosférica (NIEWEGLOWSKI, 2006).

Efeitos no consumo doméstico

O consumo de água com concentrações elevadas de nitrato pode causar meta-hemoglobinemia (NIEWEGLOWSKI, 2006).

Efeito na irrigação

O nitrogénio facilmente assimilável pelas plantas está na forma de nitrato e amónio que, em concentrações altas, podem ser benéficos durante as primeiras fases causando crescimento vegetativo rápido e é prejudicial durante a floração e frutificação das culturas, causando diminuição nos rendimentos e maturação tardia de frutose (AYERS e WESTCOT, 1985; DELVIO et al, 2006 e PAULINO, 2008).

3.1.8. Cálcio e magnésio

O cálcio e o magnésio são os elementos mais abundantes na água, podendo as suas concentrações variar entre zero a centenas de mg/L dependendo da fonte, tipo de água e das características geológicas. As suas principais fontes são a existência de rochas nas margens ou no fundo do rio e a libertação através de processos de intemperismo (COSTA, 1987 e FUKUZAWA, 2008).

Efeito no consumo doméstico

O cálcio e o magnésio contribuem significativamente para a dureza das águas precipitando-se a elevadas temperaturas sendo o cálcio o principal elemento responsável pela dureza. Concentrações excessivas de magnésio dão à água um sabor amargo característico (COSTA, 1987 e FUKUZAWA, 2008).

Efeito na irrigação

O cálcio e magnésio em concentrações excessivas no caso da fertirrigação podem provocar a precipitação de fertilizantes fosfatados e obstruir tubulações e orifícios de passagem da água. O cálcio têm influência positiva sobre a estabilidade dos agregados e a estrutura do solo (AYERS e WESTCOT, 1985 e MOURA et al, 2011).

3.1.9. Cloretos

O cloreto é um dos aniões presentes em grande quantidade na água, e pode dar uma ideia do seu grau de salinidade. A sua presença na água é devida à contaminação por águas de esgotos, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6g de cloreto por dia (SELF, 2010).

Efeito no uso doméstico

O cloreto provoca sabor salgado na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade (COSTA, 1987).

Efeito na irrigação

A toxicidade com os iões cloreto pode-se manifestar mesmo quando esses iões se encontram em quantidades relativamente baixas. Os iões cloreto presentes na água de irrigação provocam com maior frequência toxicidade nas culturas; esses iões não são adsorvidos pelas partículas do solo, porém, por serem muito móveis, são facilmente absorvidos pelas raízes das plantas e movem-se até às folhas, onde se acumulam devido à transpiração, sendo este problema mais intenso nas regiões de climas mais quentes, onde as condições ambientais favorecem uma alta transpiração.

O tipo de irrigação a ser utilizada também apresenta maior ou menor intensidade de absorção do cloreto, ou seja, quando a irrigação é por aspersão a toxicidade é mais rápida, pois a absorção é realizada directamente pelas folhas. Essa absorção pode ser afectada pela qualidade da água que está sendo usada na irrigação e também pela capacidade da planta em excluir o seu conteúdo no solo, o qual se controla com a lixiviação (AYERS e WESTCOT 1985 e MORAIS et al, 1998).

O ião cloreto pode-se tornar tóxico às plantas se encontrado em concentrações elevadas, no entanto a magnitude de tais efeitos depende das condições climáticas e sensibilidade das culturas,

podendo a irrigação por aspersão ocasionar problemas de queimaduras das folhas e consequentes perdas na produtividade (AYERS e WESTCOT, 1985).

3.1.10. Sulfatos

O sulfato é um dos iões mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto.

As principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais são as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Nas águas tratadas é proveniente do uso de coagulantes (SELF, 2010)

Efeito no consumo doméstico

É importante o controlo do sulfato na água tratada pois a sua ingestão provoca efeito laxativo. Já no abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e permutadores de calor (SELF, 2010).

O sulfato pode sofrer uma redução e formar o sulfureto de hidrogénio que é tóxico para os seres vivos (NIEWEGLOWSKI, 2006).

Efeito na irrigação

Pode precipitar alguns metais essenciais e nutritivos, não estando disponíveis para as plantas.

3.1.11. Potássio

Potássio é encontrado em concentrações baixas nas águas naturais já que rochas que contêm potássio são relativamente resistentes a acções do tempo. Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura e entram nas águas doces através das descargas industriais e lixiviação das terras agrícolas (FUKUZAWA, 2008 e SELF, 2010).

Efeito no consumo doméstico

É um elemento nutricional essencial (SELF, 2010).

Efeito na irrigação

O potássio é um dos elementos muito exigido nas culturas, o potássio adicionado ao solo pode não estar completamente disponível para as plantas, uma vez que, no solo, pode tomar diferentes formas (fixado, trocável ou constituinte da matéria orgânica) (DELVIO et al, 2006).

O potássio está envolvido no crescimento meristemático. O potássio também é importante para a manutenção da quantidade de água nas plantas.

3.1.12. Sódio

Todas as águas naturais contêm algum sódio já que os seus sais são altamente solúveis em água, podendo ser considerado um dos elementos mais abundantes na terra.

O aumento dos níveis na superfície da água pode provir de esgotos e efluentes industriais (SELF, 2010).

Efeito no consumo doméstico

A água com teor de sódio acima de 200 mg/L pode dar à água sabor desagradável (COSTA, 1987).

Efeito na irrigação

A água contendo níveis elevados de íons de sódio (Na^+) pode promover a dissolução das partículas de argila, diminuindo a permeabilidade do solo, causando redução da aeração do solo e inibição do desenvolvimento do sistema radicular das plantas e consequente perda de produção. Elevados teores de Na^+ podem ser tóxicos para diversas culturas, podendo a irrigação por aspersão ocasionar problemas de queimaduras das folhas e consequentes perdas na produtividade (DELVIO et al, 2006).

3.1.13. Ferro

Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao arrastamento de substâncias no solo e a ocorrência de processos de erosão das margens. A presença de ferro pode ser também devido a acções climáticas na região que favorecem um intemperismo mais forte e rápido dos minerais de ferro. Também poderá ser importante a contribuição devida a efluentes industriais, pois muitas indústrias metalúrgicas desenvolvem actividades de remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes do seu uso.

Nas águas tratadas para abastecimento público, o emprego de coagulantes à base de ferro provoca elevação no seu teor (HOWARD e BARTRAM, 2003).

Efeito no uso doméstico

O ferro é um elemento essencial e, apesar de não ser um elemento tóxico, em teores elevados traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Além de poder causar câncer, também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. (HOWARD e BARTRAM, 2003 e FUKUZAWA, 2008).

Efeito na irrigação

O monitoramento do ião ferro na água utilizada para a irrigação é muito importante, pois o mesmo apresenta-se em duas formas: Fe^{2+} (solúvel) e em Fe^{3+} (insolúvel). A forma solúvel não apresenta problemas, mas quando entra em contacto com o oxigénio sofre reacção de oxidação, tornando-se, assim, no ferro na forma insolúvel e, conseqüentemente, será depositado nas paredes da tubulação, obstruindo a passagem da água (DAMASCENO et al, 2008 e MOURA et al, 2011).

O ferro, quando solúvel, pode formar uma barreira física nas raízes das plantas cultivadas, impedindo que absorva outros nutrientes. A sua toxicidade pode causar também bronzeamento das folhas, reduzindo a superfície fotossintética, a exemplo da clorose causada pelo sódio (PAULINO, 2008).

Valores baixos de ferro total devem ser utilizados em culturas que são consumidas cruas (DELVIO et al, 2006).

3.1.14. Zinco

O zinco é largamente utilizado na indústria e pode entrar no meio ambiente através de processos naturais e antropogénicos, entre os quais se destaca a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, descarga de efluentes domésticos (SELF, 2010).

Efeito no uso doméstico

O zinco é um elemento essencial ao corpo humano em pequenas quantidades. A actividade da insulina e diversos compostos enzimáticos dependem da sua presença. A deficiência em zinco pode conduzir ao atraso no crescimento, diarreia, nanismo e imaturidade sexual. A água com elevada concentração de zinco tem aparência leitosa e produz um sabor metálico ou adstringente quando aquecida e em doses excessivas cria problemas de crescimento e inanição (FUKUZAWA, 2008).

Efeito na irrigação

O zinco é um micronutriente que, quando em altas concentrações no solo, provoca sintomas de toxidez em algumas culturas, sendo esses efeitos reduzidos em solos com pH acima de 6 e em solos com textura arenosa e elevado teor de matéria orgânica (Decreto-Lei n.º 236/98,1998 e DELVIO et al, 2006). É encontrado, geralmente no solo, em quantidade suficiente para atender à demanda das plantas (DELVIO et al, 2006).

3.1.15. Cobre

O cobre ocorre geralmente nas águas, naturalmente, em concentrações baixas. Quando em concentrações elevadas, é prejudicial à saúde e confere sabor às águas (SELF, 2010).

A sua contaminação é devida ao escoamento superficial, a partir de usos agrícolas de cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes (FUKUZAWA, 2008).

Efeito no consumo doméstico

O cobre, em pequenas quantidades é até benéfico ao organismo humano, catalizando a assimilação do ferro e o seu aproveitamento na síntese da hemoglobina do sangue humano, facilitando a cura de anemias. O cobre quando em concentrações elevadas, é prejudicial à saúde e toxidez em algumas culturas (SELF, 2010).

Efeito na irrigação

O cobre é tóxico para algumas plantas sensíveis (AYERS e WESTCOT, 1985).

A sua deficiência inibe a reprodução das plantas. A resistência das plantas à doença fúngicas está relacionado com o suprimento adequado de cobre (AYERS e WESTCOT, 1985).

3.2. O solo como reservatório de água

O solo é um sistema complexo, constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos. As partículas sólidas formam um arranjo poroso tal que os espaços vazios, denominados poros, têm a capacidade de armazenar líquidos e gases. A parte líquida do solo, chamado de extracto aquoso, constitui-se essencialmente de água, contendo minerais dissolvidos e materiais orgânicos solúveis (PAULINO, 2008).

Esta parte líquida é absorvida pelas raízes das plantas ou é drenada para camadas de solo mais profundas e, por isso, precisa de ser periodicamente reposta pela chuva ou pela irrigação, para garantir uma produção vegetal adequada. O solo desempenha o papel de um reservatório de água para as plantas (PAULINO, 2008).

3.2.1. Salinidade

Sais no solo ou na água reduzem a disponibilidade da água para a cultura de tal forma que o seu rendimento é afectado (AYERS e WESTCOT, 1985)

Os sais acumulados no solo, fornecidos pela água de irrigação ou pela própria origem do solo, afectam a germinação e a densidade das culturas, bem como o seu desenvolvimento vegetativo, reduzindo a sua produtividade e, nos casos mais sérios, levando à morte generalizada das plantas. O teor de sais na solução do solo pode ser tal que não permite que as culturas retirem água suficiente da zona radicular provocando, assim, escassez de água nas plantas, por tempo significativo (PAULINO, 2008, MORAIS et al, 1998 e OLIVEIRA e MAIA, 1998).

As águas que apresentam restrições moderadas e severas levam para o solo grande quantidade de sais via irrigação; conseqüentemente esses sais acumulam-se na zona radicular das plantas, e os seus teores aumentam a cada irrigação; após uma irrigação o teor de sais existente na superfície do solo é aproximadamente igual ao da água de irrigação e vai aumentando com a profundidade, pois os sais que ali se concentram são levados para camadas mais profundas com as irrigações seguintes e posteriormente lixiviados a maiores profundidades. É por isso que existe a necessidade de se aplicar uma quantidade de água maior que a consumida pelas plantas, principalmente no período vegetativo, para que esse excesso de água possa carregar os sais a profundidades fora do alcance do sistema radicular, não afectando assim as culturas.

Para que sejam evitadas essas perdas de rendimento é necessário que os sais sejam mantidos numa concentração inferior àquelas que não afectariam o rendimento das plantas, pelo que, um manejo adequado dessas águas é fundamental. (DAMASCENO et al, 2008 e MORAIS et al, 1998)

Por outro lado a necessidade de se aplicar maior quantidade de água para lixiviar os sais acumulados aumenta, conseqüentemente, o risco de nível freático alto, tornando praticamente impossível manter-se, por longo prazo, a agricultura irrigada, sem que haja um sistema adequado de drenagem. Se a drenagem for suficiente, o controlo da salinidade exigirá apenas bom manejo para assegurar a água necessária às culturas e à lixiviação dos sais dentro dos limites de tolerância das plantas (PAULINO, 2008).

3.2.2. Infiltração

Um problema de infiltração relacionado com a qualidade da água para irrigação ocorre quando a taxa de infiltração da água irrigada é sensivelmente reduzida isto é, a água permanece na superfície do solo por muito tempo ou se infiltra lentamente demais para suprir a cultura com água suficiente para manter rendimentos aceitáveis. Embora a taxa de infiltração da água no solo varie muito e possa ser fortemente influenciada pela qualidade da água de irrigação, factores do solo, como estrutura, grau de compactação, teor de matéria orgânica e composição química também podem influenciar fortemente a taxa de ingestão.

Os dois factores mais comuns de qualidade da água que influenciam a taxa de infiltração normal são a salinidade da água (quantidade total de sais na água) e o teor de sódio em relação ao teor de cálcio e magnésio (RAS). A alta salinidade da água vai aumentar a infiltração. A água de baixa salinidade ou água com alto teor de sódio em relação ao cálcio vai diminuir a infiltração. Ambos os factores podem operar ao mesmo tempo e problemas secundários podem também desenvolver-se; a irrigação deve ser prolongada por um período longo de tempo para alcançar a infiltração adequada. Os problemas secundários incluem ainda a formação de crostas em canteiros, plantas daninhas excessivas, distúrbios nutricionais e de afogamento da cultura, apodrecimento das sementes (AYERS e WESTCOT,1985).

3.3. Valores recomendáveis de parâmetros referentes à qualidade de água para fins de consumo doméstico e fins de irrigação

A tabela 1 mostra algumas normas de qualidade da água recomendáveis ao consumo doméstico.

Tabela 1: Valores limites e recomendáveis de parâmetros físico-químicos e microbiológicos referentes à qualidade da água para o consumo doméstico

Parâmetros da qualidade da água	África do Sul ¹			Normas nacionais ²	Normas europeias ³	OMS ¹		CONAMA ⁴
	Limite sem risco	Limite do risco insignificante	Limite máximo não aceitável	Limite máximo admissível	Valor paramétrico	Valor desejável	Valor prejudicial	Limite máximo admissível
Parâmetros físicos								
Cor (TCU)	20	---	----	15		5	50	
CE (µS/cm)	70	300	400	50-2000	2500	750	2250	
TDS (mg/L)				1000		500	1500	500
DQO (mg/L)	5	10	20	---	5	---	---	
Oxigênio dissolvido (% saturação)	70	30	10*	---		---	---	
pH	6.0-9.0	5.5-9.5	4-11	6.6-8.5	6.5-9.5	7.0-8.5	6.5 - 9.2	6.0-9.0
Temperatura (°C)	25	30	40	---		---	---	
Turvação (NTU)	1	5	10	5		---	---	---
Parâmetros microbiológicos								
Microorganismos	100	1000	10000	---		---	---	
Coliformes totais	0	5	100	0		---	---	
Coliformes fecais	0	1	10	0		---	---	
Colifages	0	10	100	---		---	---	
Parâmetros químicos								
Al (mg/L)	0.15	0.5	1	0.2	0.2	---	0.2	0.1
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1	2	4	1.5	0.5	0.05	---	
Ba (mg/L)	0.5	1	2	0.7		---	1	
B (mg/L)	0.5	2	4	0.3	1.0	---	---	
Br ⁻ (mg/L)	1	3	6	---		---	---	
Ca (mg/L)	150	200	400	50		75	200	
Cd (µg/L)	---	---	---	3	5	---	0.01	1
Ce (mg/L)	1	2	4	---		---	---	
Cl ⁻ (mg/L)	250	600	1200	250	250	200	600	250
CN ⁻ (mg/L)	---	---	---	0.07	0.05	---	0.05	0.01
Cr (mg/L)	---	---	---	---	0.05	---	0.05	
Cu (mg/L)	0.5	1	2	1.0	2	1	---	0.02
Pb (mg/L)	---	---	---	0.01	0.01	---	0.1	0.03
F ⁻ (mg/L)	1	1.5	3	1.5	1.5	---	1.7	1.4
Dureza (mg/L)	20 – 300	650	1300	500		100	500	---
I (mg/L)	0.5	1	2	---		---	---	---

Fe (mg/L)	0.1	1	2	0.3	0.2	0.1	1	0.3
Li (mg/L)	2.5	5	10	---	---	---	---	---
Mg (mg/L)	70	100	200	50	---	30	150	---
Mn (mg/L)	0.05	1	2	0.1	0.05	0.05	0.5	0.1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	6	10	20	50	50	50	100	10
NO ₂ ⁻ (mg/L)	---	---	---	3.0	0.50	---	---	1
K (mg/L)	200	400	800	---	---	---	---	---
Na (mg/L)	100	400	800	200	200	---	---	---
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	200	600	1200	250	250	200	400	250
Zn (mg/L)	1	5	10	3	---	>5	15	0.18

*- valores menores de oxigénio dissolvido indicam maior nível de contaminação; --- não disponível; extraído de 1- ARA SUL, 2008 2- MISAU, 2004; 3- Directiva 98/83/CE do Conselho, 1998; 4- CONAMA, 1986;

Nota

Limite sem risco- representa concentrações da qualidade da água variável, pelo qual seria ideal, não excedendo durante a operação normal do tratamento da água.

Limite do risco insignificante- representa a concentração máxima admissível ou permitida em valores normais.

Limite máximo não aceitável- este limite está destinado a providenciar valores baixos usando a qualidade indesejável de água precavendo altos riscos para saúde.

A tabela 2 mostra os valores máximos recomendáveis (VMR) e admissíveis (VMA) ao consumo doméstico e à irrigação de acordo com as normas portuguesas.

Tabela 2: Valores máximos recomendáveis (VMR) e admissíveis (VMA) ao consumo doméstico e à irrigação de acordo com as normas portuguesas

Parâmetros	Consumo		Irrigação	
	VMR	VMA	VMR	VMA
pH	6.4-8.5	---	6.4-8.4	4.5-9.0
TDS (mg/L)	---	---	640	---
Temperatura (°C)	22	25	---	---
CE (µS/cm)	1000	---	1000	---
NO ₃ ⁻ (mg/L)	25	50	50	---
F ⁻ (mg/L)	1.0	1.5	1.0	15
Fe (mg/L)	0.1	0.3	5.0	---
Al (mg/L)	---	---	5	20
Mn (mg/L)	0.05	---	0.20	10
Cu (mg/L)	0.02	0.05	0.20	5.0
Zn (mg/L)	0.5	3.0	2.0	10
B (mg/L)	1.0	---	0.3	3.75
Cd (mg/L)	0.001	0.005	0.01	0.05
Co (mg/L)	---	---	0.05	10
Cr (mg/L)	---	0.05	0.10	20

Pb (mg/L)	---	0.05	5.0	20
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	150	250	575	---
Cl ⁻ (mg/L)	200	---	70	---
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0.05	---	---	---

--- não disponível; extraído do Decreto-Lei n.o 236/98, 1998

A tabela 3 mostra os valores máximos permitidos de MP pelas normas da Turquia, Estados Unidos da América, Austrália, Canadá, Holanda e Reino Unido referentes à qualidade da água para o consumo doméstico.

Tabela 3: Limites máximos permitidos de MP em águas para o consumo doméstico segundo normas de alguns países

Norma	Elementos (µg/L)				
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
Turquia ¹					
I Classe	3	20	20	10	---
II Classe	5	50	50	20	---
III Classe	10	200	200	50	---
IV Classe	>10	>200	>200	>50	---
US EPA ¹					
CMC	4.3	16	13	65	120
CCC	2.2	11	9	2.5	120
Austrália ²	---	---	10	---	2
Canadá ²	---	---	4	---	100
Holanda ²	---	---	3	---	4.9
Reino Unido ²	---	---	1-28	---	8-125

UESPA- Agência dos Estados Unidos da América para a Proteção do Meio Ambiente; CMC- Critério de máxima concentração; CCC- Critério de contínua concentração; --- não disponível; I Classe- água limpa para uso doméstico após desinfecção simples, recreação ou irrigação; II Classe- água moderada para o uso doméstico após o tratamento, recreação, pesca, agricultura/pecuária; III Classe- água poluída apenas para o uso industrial após o tratamento; IV Classe- água muito poluída que não pode ser absolutamente usada; extraído de 1- DEMIRAK et al, 2005; 2- WEPENER et al citado por NHAMUNDO, 2007

A tabela 4 apresenta o grau de restrição e valores recomendáveis de parâmetros da qualidade da água para irrigação estabelecidos pela FAO.

Tabela 4: Grau de restrição e valores recomendáveis da qualidade da água para irrigação

Parâmetros de qualidade da água	Grau de restrição de uso		
	Nenhum	Moderada	Grave
CE(μ S/cm)	<700	700-3000	> 3000
TDS (mg / L)	<450	450 - 2000	> 2000
Na ⁺ (meq/L) IS	< 3	3 – 9	> 9
Na ⁺ (meq/L) IA	< 3	> 3	
Cl ⁻ (meq/L) IS	< 4	4 – 10	> 10
Cl ⁻ (meq/L) IA	< 3	> 3	---
B (mg/L)	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	< 5	5 – 30	> 30
HCO ₃ ⁻ (meq/L) IA	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH	Intervalo normal 6.5 – 8.4		
Valores recomendáveis para a qualidade da água para irrigação			
TDS (mg/L)	0-2000		
Ca (meq / L)	20	---	---
Mg (meq / L)	5	---	---
CO ₃ ²⁻ (meq / L)	0.1	---	---
HCO ₃ ⁻ (meq / L)	10	---	---
SO ₄ ²⁻ (meq / L)	20	---	---
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	5	---	---
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	2	---	---
K (mg/L)	2	---	---
Al (mg / L)	5.0	---	---
As (mg / L)	0.10	---	---
Be (mg / L)	0.10	---	---
Cd (mg / L)	0.01	---	---
Co (mg / L)	0.05	---	---
Cr (mg / L)	0.10	---	---
Cu (mg / L)	0.20	---	---
Fe (mg / L)	1.0	---	---
Li (mg / L)	2.5	---	---
Mn (mg / L)	0.20	---	---
Mo (mg / L)	0.01	---	---
Ni (mg / L)	0.20	---	---
Pb (mg / L)	5.0	---	---
Se (mg / L)	0.02	---	---
Zn (mg / L)	2.0	---	---

IA- irrigação por aspersão; IS- irrigação por superfície; --- não disponível; extraído de FAO, 1985 citado por AYERS e WESTCOT, 1985

4. MÉTODOS DE ANÁLISE DE ÁGUA

A análise da água foi feita usando métodos clássicos dentre os quais destacam-se a volumetria para a determinação de CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- e DQO e a gravimetria na determinação de SO_4^{2-} .

Além dos métodos clássicos usou-se os métodos instrumentais para a análise de Ca, Mg, Fe, Zn e Cu com a técnica de espectrofotometria de absorção atômica com atomização por chama (FAAS) e de Na e K com a técnica de fotometria de chama (FC).

4.1. Análise gravimétrica

A análise gravimétrica é determinada através da massa do precipitado do elemento ou ião depositado após a precipitação desse elemento. A precisão do resultado de análise neste método depende em grande parte da escolha conveniente do precipitante, da quantidade que se adiciona e das condições em que se efectua a precipitação (ALEXÉEV, 2000).

4.2. Análise volumétrica

Refere-se à análise química quantitativa efectuada pela determinação do volume de uma solução, cuja concentração é exactamente conhecida, que reage quantitativamente com um volume conhecido da solução que contém a substância a ser determinada.

4.3. Espectrofotometria de absorção atômica com atomização por chama

O princípio fundamental do método FAAS envolve a medida da absorção da intensidade da radiação electromagnética, proveniente de uma fonte de radiação primária, por átomos gasosos no estado fundamental. A absorção da radiação luminosa depende da população de átomos no estado fundamental a qual é proporcional à concentração da solução; esta proporcionalidade é descrita pela lei de Lambert-Beer, expressão 1 (SKOOG et al, 2001, e KRUG et al,2004):

$$A = a.b.C \quad (1)$$

onde: A- Absorvância

a- Absorptividade

b- Percurso óptico da radiação na chama

C- Concentração dos átomos na chama.

4.3.1. Interferências

As interferências em FAAS podem ser caracterizadas por:

Interferências espectrais provêm principalmente da sobreposição das frequências de um determinado raio de ressonância e a de outros elementos (KRUG et al, 2004 e GONÇALVES, 2001).

Interferências químicas caracterizam-se pela formação de compostos estáveis na chama que pode levar à dissociação incompleta da substância a ser analisada; estas interferências na chama são principalmente provocadas pela formação de óxidos e hidróxidos, ou ocasionalmente por carburetos e nitrilos, a partir de átomos livres que reagem com átomos ou radicais na chama. Estas interferências podem ser eliminadas pela mudança da chama para chamas com temperaturas mais elevadas (óxido nitroso-acetileno), pela adição de um agente de libertação, adição da espécie interferente aos padrões, formando ligação química entre o interferente e um outro catião adicionado em excesso à amostra. (GONÇALVES, 2001).

Interferências de ionização caracterizam-se pela ionização dos átomos no estado fundamental, em fase gasosa na chama, reduzindo a extensão de absorção. Esta interferência de ionização pode ser evitada baixando a temperatura da chama, pode-se também adicionar ao elemento em estudo uma substância mais facilmente ionizável, o que faz aumentar a pressão parcial dos electrões, deslocando o equilíbrio para a formação dos átomos neutros. (Gonçalves, 1996)

Interferências físicas que se caracterizam por qualquer diferença entre amostras e padrões de calibração que alterem o processo de nebulização (GONÇALVES, 2001).

Interferências de fundo caracterizam-se na dispersão da luz por partículas sólidas na chama e a absorção por moléculas ou radicais provenientes principalmente da matriz da amostra. Este tipo de interferência provoca um aumento da absorvância (KRUG et al, 2004 e GONÇALVES, 2001).

SAVAIO, 2008, determinou Fe e Zn em águas da barragem de Massingir na época seca pelo método de FAAS com boa exactidão, usando o material de referência LGC6019 do rio Tamisa. Segundo este autor as águas da barragem de Massingir tendo em conta os teores de Zn são aptas ao consumo doméstico, à criação de gado e indústria pois estão abaixo dos limites máximos

permitidos pelo Boletim da República (BR), OMS, Agência dos Estados Unidos da América para a Protecção do Meio Ambiente (“USEPA”) e pelo departamento de Águas e Recursos Florestais (“DWAF”) da África do Sul verificando-se o contrário em relação aos teores de ferro.

HALAFO, 2009, determinou Fe e Zn em águas da albufeira de Cabora Bassa pelo método de FAAS com bons níveis de exactidão e classificou as águas desta albufeira inadequadas para aquacultura e consumo doméstico e apropriadas para irrigação e criação de gado (segundo teores de Fe); apropriadas para o consumo doméstico, irrigação e criação de gado excepto para aquacultura (segundo teores de Zn).

4.4. Fotometria de chama

A fotometria de chama é uma técnica da espectroscopia de emissão em que a excitação dos átomos se faz por meio de uma chama, medindo-se a energia emitida.

A espectroscopia de emissão atômica baseia-se na emissão de radiação electromagnética das regiões visível e ultravioleta do espectro electromagnético por átomos neutros ou íões excitados; nesse processo, excita-se uma fracção dessas espécies a altos estados electrónicos. (GONÇALVES, 2001).

Cada elemento liberta a radiação em um comprimento de onda característico, pois a quantidade de energia necessária para excitar um electrão é única para cada elemento. A radiação libertada por alguns elementos possui comprimento de onda na faixa do espectro visível, ou seja, o olho humano é capaz de enxergá-la através de cores. Assim, é possível identificar a presença de certos elementos devido à cor característica que eles emitem quando aquecidos numa chama.

Este método é aplicado normalmente na determinação de metais alcalinos (sódio, potássio, lítio) para os quais tem maior sensibilidade podendo também ser usado para metais alcalino-terrosos (GONÇALVES, 2001).

4.4.1. Interferências

A principal interferência em FC é a ionização e pode ser eliminada adicionando às soluções-padrão e amostras uma espécie facilmente ionizável em elevadas concentrações (GONÇALVES, 2001).

4.5. Outras técnicas de análise de água

A análise da água é feita por várias outras técnicas como GFAAS usado por NHAMUNDO, 2007, na determinação de Cr, Cu, Pb e Mn em amostras de água da barragem de Massingir com boa exactidão e classificado segundo teores destes elementos a água apta para o consumo e irrigação tendo em conta os limites estabelecidos pelas normas da OMS para consumo doméstico e Sul Africanas, para fins de irrigação.

HALAFO, 2009, determinou Cd, Cr, Cu, Mn e Pb em águas da albufeira de Cabora Bassa pelo método de GFAAS com bons níveis de exactidão e classificou as águas desta albufeira inadequadas para ecossistemas aquáticos e apropriadas para irrigação, aquacultura, consumo doméstico e criação de gado (segundo teores de Cd); apropriadas para todos os fins atrás referidos (segundo teores de Cr); apropriadas para ecossistemas aquáticos e aquacultura e podem ser usadas para outros fins sem causar efeitos adversos (segundo teores de Pb); apropriadas para os fins atrás referidos excepto para ecossistemas aquático (segundo teores de Cu); e podem ser usadas para outros fins sem efeitos adversos (segundo teores de Mn).

CHIRONDA, 2007 determinou fluoretos por EAM em águas minerais consumidas na cidade de Maputo com erros relativos que variavam de 1-4%; este autor classificou a água boa para o consumo doméstico segundo os limites estabelecidos pelo MISAU e OMS.

DEMIRAK et al, 2006 fizeram a determinação de Cd, Cr, Cu, Pb e Zn em águas de riachos no sudoeste da Turquia com a técnica de ICP-AES tendo usado o material de referência SRM-143d com %R variando de 94-102%. FUKAZUWA, 2006 usou também a técnica de ICP-AES na determinação de elementos Ca, Mg, Fe, Cu, Na, K e Zn em águas do rio Piranga, Brasil e teve resultados de Cu e Zn abaixo dos limites de quantificação.

5. PARTE EXPERIMENTAL

5.1. Materiais, equipamentos e reagentes

Materiais

- Ø Erlenmeyers
- Ø Balões volumétricos de vidro e de polietileno
- Ø Pipetas volumétricas
- Ø Buretas
- Ø Copos de precipitação
- Ø Papel indicador
- Ø Cadinhos de platina

Equipamentos

- Ø Exsicador
- Ø Estufa
- Ø Mufla (Carbolite, AAF1100)
- Ø Balança analítica (ADAM, e = 0.0001g)
- Ø Placa de aquecimento
- Ø Banho de areia
- Ø Sistema de fotômetro portátil para análise de água, ELE International modelo 7100
- Ø Conductímetro, ELE International modelo 7100
- Ø pHmetro, ELE International modelo 7100
- Ø Espectrofotômetro de absorção atômica com atomização por chama SHIMADZU AA-6800
- Ø Fotômetro de Chama SHERWOOD, modelo 410

Reagentes

- Ø H₂SO₄ Conc. (98%), Rochelle chemicals
- Ø HCl Conc. (32%), Glassworld
- Ø HNO₃ Conc. (55%), Glassworld
- Ø Soluções-padrão de Ca, Mg, Fe, Na, K, Cu e Zn com 1000 mg/L de cada um destes elementos em 1N de HNO₃ da SMM Instruments (PTY) LTD
- Ø LaCl₃.7H₂O (99%), Glassworld

-
- | | |
|---|---|
| Ø KCl (99.8%), ANALAR BDH | Ø BaCl ₂ .2H ₂ O (99%), Fluka |
| Ø NaCl (99.5%), Glassworld | Ø Na ₂ CO ₃ (99%), UNILAB |
| Ø NaOH (97.5%), Promark chemicals | Ø Fenolftaleína |
| Ø KMnO ₄ (99%), Promark chemicals | Ø Verde de bromocresol |
| Ø Na ₂ C ₂ O ₄ (99.5), BDH | Ø Vermelho de metilo |
| Ø K ₂ CrO ₄ ANALAR | Ø Material de referência LGC6019 |
| Ø AgNO ₃ ANALAR | |

5.2. Modo de lavagem do material

A lavagem do material para esta análise obedeceu à seguinte ordem:

- Ø Lavou-se primeiramente todo o material utilizado com água da torneira e detergente
- Ø Lavou-se com água destilada
- Ø Mergulhou-se em HCl a 20%
- Ø Mergulhou-se em água destilada
- Ø Mergulhou-se em HNO₃ a 20%
- Ø Mergulhou-se em água destilada
- Ø Finalmente levou-se a estufa a uma temperatura de 50°C para secagem durante 30min.

5.3. Amostragem

A parte experimental iniciou-se com a recolha de amostras da água nos rios Umbelúzi e Incomáti nos pontos referenciados nas figuras 1, 2 e 3.

A amostragem foi feita na época chuvosa no verão.

A amostra foi colhida em três pontos de cada rio (uma amostra em cada ponto) por imersão directa do frasco a cerca de 30cm de profundidade; os frascos de recolha foram prèvia e cuidadosamente lavados e passados três vezes com a água a analisar no local, encheu-se até transbordar.

Os frascos de recolha da amostra para a análise da demanda química de oxigénio eram de vidro.

As amostras do rio Umbelúzi foram colhidas nas margens do rio enquanto que as amostras do rio Incomáti foram colhidas no meio do rio.

No local da amostragem realizam-se algumas actividades que são lavagem de roupa e banho. Verificou-se também que no rio Umbelúzi algumas pessoas bebem a água do rio.

O rio Incomáti serve de via de transporte de pessoas para a travessia do rio através de barcos.

A conservação das amostras foi feita no local após a recolha, dependendo do parâmetro de qualidade a analisar. Estas foram mantidas em refrigeração com gelo. A tabela 5 mostra a conservação das amostras de acordo com os parâmetros a analisar.

Tabela 5: Conservação de amostras da água com base nos seus parâmetros de qualidade

Parâmetros de análise da qualidade de água	Frasco adequado	Técnica de conservação	Prazo máximo de conservação
Cl ⁻	Polietileno	NaOH a 10% até pH 11; refrigeração	7 dias
SO ₄ ²⁻	Polietileno	Refrigeração	7 dias
CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻	Polietileno	Refrigeração	24h
DQO	Vidro	H ₂ SO ₄ conc. até pH 2, refrigeração	24h
Na, Ca, Mg, K	Polietileno	---	7 dias
Cu, Fe, Zn	Polietileno	Filtrar e logo a seguir adicionar 3 mL de HNO ₃	6 meses

5.4. Determinação de parâmetros na análise da qualidade da água

5.4.1. Parâmetros medidos “in-situ”

O pH foi medido pelo pHmetro portátil, a CE, turvação e TDS foram medidos pelo conductímetro. Os nitratos, nitritos e amónia foram medidos pelo sistema de fotómetro portátil.

Determinação de NO_3^- , NH_4^+ e NO_2^-

Princípio do método

O fotómetro de leitura directa é um instrumento para medir a intensidade da cor em que, a luz é transmitida através de um filtro colorido para um fotodetector. Os filtros foram escolhidos de modo a que a luz de comprimento de onda específico seja seleccionada. O fotómetro é usado para medir a cor que se produz quando reagentes químicos reagem com a amostra da água. Neste teste a intensidade da cor produzida é proporcional à concentração do parâmetro a determinar de acordo com a instrução do sistema de fotómetro portátil ELE international.

NO_3^-

O método de determinação de NO_3^- fornece um teste simples para a gama 0-1mg/L de nitrogénio. O nitrato é primeiramente reduzido a nitrito, o nitrito resultante é então determinado por uma reação de diazónio para formar um corante avermelhado. O estágio de redução é realizado usando pó de zinco comprimido que ajuda a flocculação rápida após o período de um minuto. O teste é realizado em um tubo de ensaio especial, recipiente com fundo afunilado para facilitar a decantação da amostra.

O nitrito resultante da fase de redução, é determinado pela reação com ácido sulfanílico na presença de n-(1-naftil) etilenodiamina para formar um corante avermelhado. Os reagentes são fornecidos em um único comprimido nitricol que é simplesmente adicionado à solução de teste. A intensidade da cor produzida no teste é proporcional para a concentração de nitratos.

NH_4^+

O ensaio de determinação do ião amónio é baseado no método de indofenol. O ião reage com um sal alcalino na presença de cloro para formar o complexo indofenol de cor verde azulada.

É incorporado um reagente em forma de comprimido para garantir um rápido e completo desenvolvimento de cor. A intensidade da cor produzida no ensaio é proporcional à concentração da amónia e é medida usando o sistema de fotómetro.

O método é aplicado para amostras com concentrações no intervalo de 0-1mg/L de nitrogénio.

NO_2^-

O nitrito em solução ácida reage com ácido sulfanílico resultando num azocomposto acoplado com N-(1-naftil)-etilenodiamina para formar uma cor avermelhada.

O método é caracterizado por um reagente em forma de comprimido contendo ambos os reagentes e em forma de ácidos. A intensidade da cor produzida no ensaio é proporcional à concentração do nitrito e é medida usando o sistema de fotômetro.

5.4.2. Determinação de carbonatos e bicarbonatos

Para a determinação destes parâmetros de qualidade de água usou-se o método volumétrico para determinação de alcalinidade. A determinação é feita titulando a amostra em análise com um ácido mineral forte (HCl ou H₂SO₄) até os dois pontos de viragem da fenolftaleína (pH=8; alcalinidade à fenolftaleína) e do indicador misto verde de bromocresol/vermelho de metilo (pH=5; alcalinidade ao indicador misto ou alcalinidade total).

Interferentes

O método não é aplicável a amostras muito coradas. O cloro residual livre interfere, podendo esta interferência ser eliminada adicionando pequenas porções da solução de tiosulfato de sódio.

Procedimento de análise

- v Pipetou-se 50mL da amostra, de seguida juntou-se 4 gotas do indicador fenolftaleína e titulou-se com a solução de ácido clorídrico a 0.02N até ao desaparecimento da cor.

Observação: Na adição do indicador fenolftaleína todas as amostras ganharam a coloração rosa. Anotou-se o volume gasto nessa titulação.

- v Na mesma solução adicionou-se 4 gotas do indicador misto, continuou-se a titular com o ácido clorídrico a 0.02N até viragem da cor verde-azul para azul-cinzento; agitou-se durante alguns segundos para a eliminação do CO₂. Continuou-se a titular até a solução adquirir a coloração vermelho-cinzenta.

Observação: Na adição do indicador misto todas as amostras ganharam a coloração verde-azulada, e assinalou-se o ponto de equivalência com o aparecimento da cor vermelho-cinzenta.

Para a determinação da alcalinidade à fenolftaleína usa-se a fórmula 2 (COSTA,1987)

$$C_{CaCO_3} = \frac{a}{V} \cdot \frac{1000}{N} \quad (P) \quad (2)$$

Para a determinação da alcalinidade total usa-se a fórmula 3 (COSTA,1987)

$$C_{CaCO_3} = \frac{b}{V} \cdot \frac{1000}{N} \quad (T) \quad (3)$$

onde: a- Volume do titulante gasto na titulação com fenolftaleína (mL)

b- Volume do titulante gasto na titulação total (mL)

N- Normalidade da solução titulante (N)

V- Volume da amostra em análise (mL)

P e T- letras arbitrárias para a designação das fórmulas 2 e 3

Para a determinação CO_3^{2-} e HCO_3^- usa-se a fórmula 3 (COSTA,1987)

$$C_{CO_3^{2-}} = 2P \quad (/) \quad (4)$$

$$C_{HCO_3^-} = 2() \quad (/) \quad (5)$$

5.4.3. Determinação da demanda química de oxigénio (DQO)

A determinação de DQO permite medir a quantidade total de oxigénio consumida na oxidação, em determinadas condições, da matéria orgânica e inorgânica oxidáveis existentes na água. É baseada no facto de todos os compostos orgânicos, com poucas excepções, poderem ser oxidados por acção de agentes oxidantes fortes sob condições ácidas, e neste caso o agente oxidante é o permanganato de potássio em meio de ácido sulfúrico.

Interferências

A turvação pode ou não interferir nos resultados segundo o objectivo do estudo. Se se tratar de água de um rio destinada ao abastecimento público a turvação interfere, e é necessário que a água seja filtrada. Se o estudo tiver a finalidade de a poluição a turvação não interfere.

Procedimento de análise

Pipetou-se 100mL de água destilada para o erlenmeyer; adicionou-se 10mL de H₂SO₄ (1:3) e agitou-se com a vareta. Juntou-se de seguida 5mL de KMnO₄ a 0.01N, agitou-se novamente.

Aqueceu-se a solução até à ebulição que se manteve durante 10min.

Durante este tempo molhou-se continuamente a sua superfície interna com a solução contida no erlenmeyer para a dissolução completa da matéria orgânica.

Depois dos 10min, retirou-se a solução da chama e adicionou-se, agitando, a solução de H₂C₂O₄ a 0.01N até ao desaparecimento da cor violeta. Juntou-se no fim algumas gotas de KMnO₄ a 0.01N até se obter novamente a cor.

NOTA: O erlenmeyer só foi esvaziado no momento da utilização.

Aferição do KMnO₄

Pipetou-se 10mL de H₂C₂O₄ a 0.01N e titulou-se com a solução de KMnO₄ a 0.01N. Anotou-se o volume gasto na titulação e determinou-se a concentração real do KMnO₄.

Para a análise de DQO pipetou-se 100mL da amostra para o erlenmeyer, adicionou-se 10mL de H₂SO₄ (1:3) e agitou-se com a vareta. Juntou-se de seguida o volume gasto de KMnO₄ na aferição, agitou-se novamente. Deixou-se a solução ferver durante 10min, em seguida adicionou-se a quente o volume de H₂C₂O₄ a 0.01N igual ao que se usou na aferição do KMnO₄ a 0.01N e por fim titulou-se a quente o excesso de H₂C₂O₄ com a solução de KMnO₄ (0.01N). Anotou-se o volume gasto na titulação.

NOTA: Durante a fervura se a cor do KMnO₄ desaparece rejeita-se o conteúdo e repete-se a pesquisa com um volume superior do KMnO₄.

Para a determinação de DQO usou-se a fórmula 6 (COSTA,1987).

$$C_{O_2} = \left(\frac{V_a - V_b}{V} \right) \times \frac{1000}{N_a} \quad (\text{mg/L}) \quad (6)$$

onde: N_a- normalidade da solução de permanganato (N)

N_b- normalidade da solução de ácido oxalico (N)

a- Volume total da solução de permanganate utilizados (mL)

b- Volume da solução de ácido oxalico (mL)

V- Volume da amostra em análise (mL)

5.4.4. Determinação de cloretos

Para a determinação de Cl^- usou-se o método de Mohr, titulação de precipitação. O íon cloreto é determinado através de uma solução de nitrato de prata utilizando o cromato de potássio como indicador; o cloreto precipita quantitativamente como cloreto de prata de cor branca, e depois a formação do cromato de prata cor de tijolo.

Procedimento de análise

Titularam-se 100mL da amostra, contendo o indicador K_2CrO_4 com a solução de AgNO_3 a 0,1N, até o aparecimento do precipitado da cor vermelho-tijolo.

O ensaio em branco foi feito com água destilada.

Para a determinação do Cl^- usou-se a fórmula 7 (COSTA,1987).

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{(\quad)}{\quad} \quad (\text{mg/L}) \quad (7)$$

onde: N- Normalidade da solução titulante

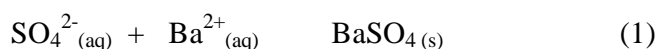
a- Volume do titulante gasto na titulação da amostra (mL)

b- Volume do titulante gasto na titulação do branco (mL)

V- Volume da amostra em análise (mL)

5.4.5. Determinação de sulfatos

Para esta determinação usou-se o método gravimétrico, em que o sulfato é precipitado com o cloreto de bário segundo a reação 1 (COSTA,1987).



A precipitação é feita próximo à temperatura de ebulição, e depois de um período de digestão o precipitado é filtrado, calcinado e finalmente pesado em forma de sulfato de bário.

Procedimento de análise

Pipetou-se 100mL da amostra para um copo, acrescentou-se água destilada até 250mL.

Ajustou-se o pH com HCl (1:1) a 4.5-5, e depois juntou-se 2mL de HCl (1:1).

Aqueceu-se a solução à ebulição, agitando suavemente, retirou-se o copo da chama e adicionou-se 10mL da solução de BaCl_2 a 10%.

Levou-se a solução para uma placa de aquecimento a 80-90°C, deixou-se de um dia para o outro. Filtrou-se o precipitado com papel de filtro nº 41.

Lavou-se o precipitado com água destilada quente até que o filtrado estivesse isento de cloretos. Isso detecta-se quando não se forma nenhuma opalescência sobre cerca de 2-3mL de filtrado tratados com algumas gotas da solução de AgNO₃.

Para a determinação do SO₄²⁻ usou-se a fórmula 8 (COSTA,1987).

$$C_{SO_4^{2-}} = \frac{(\quad)}{\quad} \cdot \quad \quad \quad (\text{mg/L}) \quad (8)$$

onde: M₁- Peso da cápsula vazia (g)

M₂- Peso da cápsula com resíduo (g)

V- Volume da amostra em análise (mL)

0.4115- constante Mr (SO₄²⁻) / Mr BaSO₄

5.4.6. Determinação de Ca, Mg, Fe, Na, K, Zn, e Cu

5.4.6.1. Preparação de soluções intermediárias para a determinação de metais

As soluções-padrão foram preparadas a partir das soluções-stock de 1000 µg/mL de Ca, Mg, Fe, Na, K, Zn e Cu.

Preparação da solução padrão de Ca, Mg, Fe e Cu a 50mg/L

Tomou-se 2.5mL da solução stock a 1000mg/L para um balão de 50mL e perpez-se o volume com água destilada.

Preparação da solução padrão de Na e K a 100mg/L

Tomou-se 10mL da solução-stock a 1000 mg/L para um balão de 100mL e perpez-se o volume com água destilada.

Preparação da solução padrão de Zn a 10ppm

Tomou-se 1mL da solução-stock de Zn a 1000 mg/L para um balão de 100mL e perpez-se o volume com água destilada.

5.4.6.2. Preparação de amostras de Ca e Mg

Pipetou-se 3mL da amostra para balões de 25mL e adicionou-se 1.25mL da solução de lantânio a 20000mg/L e 0.5mL de HCl. Perfez-se o volume com água destilada e fez-se as leituras de absorvância.

Para o material de referência fez-se o mesmo procedimento tomando 2mL da amostra de material de referência.

5.4.6.4. Preparação de amostras de Fe

Pipetou-se 10mL da amostra para balões de 50mL adicionou-se 0.5ml de HCl. Perfez-se o volume com a amostra e fez-se as leituras de absorvância.

5.4.7. Condições instrumentais de determinação de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K

A tabela 5 mostra os parâmetros instrumentais para determinação de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K

Tabela 5: Parâmetros instrumentais para a determinação de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K

Parâmetros	Curva de calibração normal						
	Ca ¹	Mg ¹	Fe ¹	Zn ¹	Cu ¹	Na	K
Comprimento de onda (nm)	422.7	285.2	248.3	213.9	324.8	589.6	766.5
Corrente da lâmpada (mA)	10	8	12	8	6	---	---
Largura da fenda (nm)	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5	---	---
Fluxo do acetileno (L/min)	2.0	1.8	2.2	2.0	1.8	---	---
Altura do queimador (mm)	7	7	7	7	7	---	---
Chama oxidante	Ar/acetileno	Ar/acetileno	Ar/acetileno	Ar/acetileno	Ar/acetileno	ar/C ₃ H ₈ - C ₄ H ₁₀	ar/C ₃ H ₈ - C ₄ H ₁₀
Zona de trabalho (mg/L)	0. 1-2.0	0.1-0.4	0.5-2.0	0.1-0.4	0.5-2.0	0.3-100	0.2-100

1- extraído Manual de instrumentação SHIMADZU

6. APRESENTAÇÃO E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS

Para a discussão dos resultados teve-se como base os parâmetros estatísticos seguintes:

Exactidão

A exactidão do método é determinada pela proximidade de valores experimentais com os valores certificados; a exactidão pode ser definido pelo erro relativo e % recuperação (KIN, 1996). A exactidão pode ser expressa pelas fórmulas 9 e 10:

$$Er = \frac{| \quad |}{\quad} \cdot 100\% \quad (9)$$

$$\%R = \frac{\quad}{\quad} \cdot 100\% \quad (10)$$

onde: Er – erro relativo

R- Recuperação

μ - valor certificado

- média experimental

Precisão

A precisão de um método é a concordância entre duas ou mais medições realizadas da mesma maneira. O parâmetro estatístico que quantifica a precisão é o desvio padrão ou percentagem do desvio e exprimem-se pelas fórmulas 11, 12, 13 e 14 (KIN, 1996).

$$s = \frac{\quad}{\quad} \quad (11) \quad \%RSD = \frac{\quad}{\quad} * 100 \quad (12)$$

$$= \quad \times \quad (13)$$

$$= \frac{\%}{\quad} + \frac{\%}{\quad} + \frac{\%}{\quad} \quad (14)$$

onde: s- desvio padrão

%RSD- desvio padrão relativo percentual

s_R – é o desvio padrão resultante de réplicas e é calculado a partir do somatório dos quadrados dos valores de %RSD das duas réplicas.

n - n° de réplicas

- média experimental

X_i - valor individual experimental

Sensibilidade

A sensibilidade do método é muito importante numa análise pois é definida pelos limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ). O LD é a menor concentração da espécie de interesse que pode ser detectada pela técnica instrumental, e o LQ é a mais baixa concentração que pode ser quantificada dentro dos limites de precisão e exactidão do método (MILLER e MILLER, 2006 e RIBEIRO et al, 2008). Os LD e LQ são expressos através das fórmulas 15 e 16.

$$= \text{---} \quad (15)$$

$$= \text{---} \quad (16)$$

onde:

$s_{y/x}$ – desvio padrão dos resíduos

m – declive da curva de calibração

Intervalo de Confiança

O termo confiança implica que se pode afirmar com um certo grau de certeza, que o intervalo de confiança inclui o valor verdadeiro; quanto maior for a certeza maior o intervalo requerido. O intervalo de confiança expressa-se pela fórmula 17 (MILLER e MILLER, 2006).

$$\pm \text{---} \quad (17)$$

*Teste-t de Comparação de uma média experimental com um valor conhecido*Hipóteses

H_0 : $= \mu$: não há diferença significativa entre o valor experimental e o valor certificado

H_A : $\neq \mu$: há diferença significativa entre o valor experimental e o valor certificado

O t_{crit} a uma determinada probabilidade é tabelado para um teste unilateral (1T) ou bilateral (2T) e tem em conta o número de medições (n) ou o número de graus de liberdade (v); pode-se dizer que:

Aceita-se a H_0 se $t_{crit} > t_{cal}$ e

Rejeita-se a H_0 se $t_{crit} < t_{cal}$

onde: t_{crit} - valor de t-student crítico

t_{cal} - valor de t-student calculado

H_0 - hipótese nula

H_A - hipótese alterntiva

- média experimental

μ - valor certificado

A tabela 6 apresenta os teores, erros relativos e intervalos de confiança ($\alpha = 0.05$) de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K no material de referência. Para a determinação de t_{crit} usou-se $P = 0.05$; $n = 2$; $v = 1$ e 2T.

Tabela 6: Teores, erros relativos, intervalos de confiança e valores de t-student ($\alpha = 0.05$) de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K no material de referência

Elemento	$\pm \frac{\bar{x}}{n}$ (mg/L)	μ (mg/L)	Er(%)	%R	s	%RSD	t_{crit} .	t_{cal} .
Ca	109±5	109 ± 3	0.28	100	0.52	6.03	12.71	0.81
Mg	4.07±1.62	4.62 ± 0.12	11.9	88.1	0.18	4.42	12.71	4.32
Na	24.1±12.5	24.7± 0.5	2.47	97.6	1.39	5.77	12.71	0.61
K	4.66±4.4 9	4.78±0.12	2.51	97.5	0.50	10.7	12.71	3.39
	$\pm \frac{\bar{x}}{n}$ (µg/L)	μ (µg/L)	Er(%)	%R	s	%RSD	t_{crit} .	t_{cal} .
Fe	269±4	287±7	6.27	93.7	0.40	0.14	12.71	63.6
Zn	58.0±8.3	59.7±2.5	2.85	97.2	0.92	1.59	12.71	2.61
Cu	15.0±5.1	15.4±1.5	2.59	97.4	0.57	3.80	12.71	0.99

- média de duas réplicas; μ - valor médio certificado; Er- erro relativo; %R- percentagem de recuperação

De acordo com os valores de t-student crítico e calculados apresentados na tabela 7 verifica-se que não há diferenças significativas entre os valores experimentais e os valores certificados para os elementos analisados com excepção do ferro.

A tabela 7 apresenta os resultados de análises “in situ” das amostras da água dos rios Umbelúzi e Incomáti

Tabela 7: Resultados de t^a , pH, TDS, condutividade, turvação, NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ das amostras dos rios Umbelúzi e Incomáti

Parâmetros	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
t^a (°C)	24.5	25.0	24.1	28.2	29.9	26.5
pH	8.2	7.9	7.9	7.7	8.8	8.0
TDS (mg/L)	7.3	7.5	7.3	5.4	5.4	9.4
CE (µS/cm)	12.2	12.6	12.1	9.2	9.0	15.6
Turvação (NTU)	2.1	1.9	2.2	17.9	15.5	45.5
NO_3^- (mg/L)	1.2	1.1	0.64	0.68	0.52	0.70
NO_2^- (mg/L)	0.02	0.01	0.00	0.08	0.08	0.06
NH_4^+ (mg/L)	0.00	0.65	0.00	0.14	0.00	0.16

U- Umbelúzi; I-Incomáti; 1, 2 e 3- pontos de amostragem

A tabela 8 apresenta os resultados de análises de parâmetros de qualidade da água em mg/L das amostras dos rios Umbelúzi e Incomáti

Tabela 8: Resultados de parâmetros de qualidade da água de amostras dos rios Umbelúzi e Incomáti

Parâmetro de qualidade	U ₁			U ₂			U ₃		
	(mg/L)	s	%RSD	(mg/L)	s	%RSD	(mg/L)	s	%RSD
CO_3^{2-}	19.6	0.12	0.61	10.7	0.20	1.87	13.1	0.23	1.76
HCO_3^-	137	0.58	0.42	175	1.2	0.69	167	1.7	1.02
DQO	3.57	0.15	4.20	3.47	0.12	3.46	2.46	0.12	4.88
Cl^-	74.7	2.31	3.09	92.5	0.00	0.00	75.5	1.85	2.45
SO_4^{2-}	11.8	0.46	3.90	16.1	0.17	1.06	10.4	0.15	1.44
Ca	34.9	0.34	0.96	32.2	0.30	0.93	26.9	0.19	0.72
Mg	24.9	0.08	0.31	18.4	0.60	3.25	18.6	0.10	0.54
Fe	0.25	0.03	12.4	0.27	0.03	12.5	0.18	0.02	9.99
Zn	0.02 ₈	0.00	8.48	0.02 ₉	0.00	12.5	0.02 ₉	0.00	6.51
Cu	0.02	0.00	11.3	0.05	0.01	11.2	0.07	0.01	10.7
Na	54.3	4.93	9.07	62.5	2.83	4.53	47.8	2.83	5.94
K	7.27	2.02	27.9	6.10	0.00	0.00	7.27	2.02	27.9
Parâmetro de qualidade	I ₁			I ₂			I ₃		
	x (mg/L)	s	%RSD	x (mg/L)	s	%RSD	x (mg/L)	s	%RSD
CO_3^{2-}	6.20	0.40	6.45	2.20	0.00	0.00	13.0	0.06	10.5
HCO_3^-	130	0.57	0.44	117	2.00	1.71	96.7	1.53	1.58
DQO	4.17	0.12	2.90	3.90	0.06	1.51	4.20	0.00	0.00
Cl^-	56.3	1.85	3.29	61.5	1.56	2.54	164	1.73	1.05
SO_4^{2-}	19.4	0.75	3.87	21.0	0.69	3.29	43.9	0.23	0.52
Ca	29.3	0.39	1.33	22.2	0.29	1.31	21.9	0.29	1.33
Mg	12.2	0.07	0.56	12.6	0.06	0.44	21.0	0.16	0.77

Fe	0.88	0.04	4.26	0.91	0.04	4.83	2.16	0.13	5.86
Zn	0.02 ₅	0.00	8.45	0.02 ₉	0.00	7.64	0.02 ₆	0.00	11.2
Cu	0.02	0.00	10.9	0.05	0.00	4.85	0.1	0.01	6.33
Na	46.1	2.83	6.15	37.9	2.84	7.49	42.9	2.83	6.62
K	2.52	0.00	0.00	2.52	0.00	0.00	2.52	0.00	0.00

- média de três réplicas; U- Umbelúzi; I-Incomáti; 1, 2 e 3- pontos de amostragem

A tabela 9 apresenta os resultados de análises de CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca, Mg e Na em meq/L nas amostras das águas dos rios Umbelúzi e Incomáti.

Tabela 9: Resultados de análises de CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca, Mg e Na das amostras dos rios Umbelúzi e Incomáti em meq/L

Parâmetros	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
CO_3^{2-} (meq/L)	0.65	0.33	0.44	0.21	0.07	0.43
HCO_3^- (meq/L)	2.25	2.87	2.74	2.13	1.92	1.59
Cl^- (meq/L)	2.10	2.61	2.13	1.59	1.73	4.62
SO_4^{2-} (meq/L)	0.25	0.34	0.22	0.40	0.44	0.91
Ca(meq/L)	1.75	1.61	1.35	1.47	1.11	1.09
Mg(meq/L)	2.08	1.53	1.55	1.02	1.05	1.75
Na(meq/L)	2.36	2.72	2.08	2.00	1.65	1.87

U- Umbelúzi; I-Incomáti; 1, 2 e 3- pontos de amostragem

A tabela 10 apresenta os limites de detecção e de quantificação dos elementos em análise determinados segundo as fórmulas 15 e 16.

Tabela 10: Limites de detecção e de quantificação dos elementos em análise pelos métodos de FAAS e FC

Elemento	$s_{v/x}$	LD (mg/L)	LQ (mg/L)
Ca	0.0042	0.26	0.87
Mg	0.0464	0.35	1.16
Fe	0.0014	0.11	0.36
Zn	0.0019	0.02	0.07
Cu	0.0011	0.08	0.26
Na	1.6359	4.83	16.1
K	2.2006	2.34	7.81

6.1. Discussão e interpretação dos resultados

Os parâmetros pH, CE, TDS, turvação, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- e DQO não foram controlados com o material de referência, portanto os resultados destes parâmetros podem servir de informação para os próximos trabalhos.

A determinação dos elementos Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Na e K foi controlada com o material de referência LGC6019. Aplicou-se o teste t-student para a comparação de uma média experimental com um valor conhecido a um nível de confiança de 95%, $t_{crit.} = 12.71$, $v = 1$, e verificou-se que não existia diferença significativa para estes elementos com exceção do Fe. Neste caso pode-se considerar os métodos FAAS e FC como válidos na determinação de Ca, Mg, Cu, Zn, Na e K.

A diferença significativa entre o valor certificado e o valor conhecido verificada na determinação de Fe pode-se explicar provavelmente pelo uso da chama ar-acetileno.

Para a interpretação dos resultados em relação ao uso da água dos rios analisados no consumo doméstico e irrigação tomou-se como normas de referência as NM para o consumo e as normas da FAO para a irrigação.

6.1.1. pH, CE, TDS, Turvação, NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+

Estes parâmetros foram medidos uma única vez no local da amostragem.

Os resultados de pH estão dentro do intervalo recomendado pelas NM excepto o ponto 2 do rio Incomáti que está ligeiramente acima das NM e NP. Em relação as normas da OMS, NAS, NE e da CONAMA os valores de pH encontram-se dentro do intervalo recomendado por estas normas.

Os valores de pH para o uso na irrigação estão dentro do intervalo recomendado pelas normas da FAO excepto o ponto 2 do rio Incomáti que está ligeiramente acima. Em relação a NP os valores de pH encontram-se dentro do intervalo recomendado.

Os valores de CE e TDS nas águas dos rios em estudo estão muito abaixo dos limites das NM e das normas da FAO, portanto a água dos rios analisados é apta para o consumo doméstico e irrigação segundo estes parâmetros. Comparando com as normas da OMS, NAS, NE e da CONAMA, constata-se que os valores de CE e TDS nas águas dos rios em estudo também se encontram abaixo destas normas.

Os resultados da turvação das amostras do rio Umbelúzi estão ligeiramente abaixo dos limites das NM para o consumo doméstico verificando-se o contrário nas amostras do rio Incomáti em que os resultados estão muito acima das normas atrás referidas. Os valores muito elevados de turvação podem ser devidos a erosão das margens dos rios em estações chuvosas, arrastando substâncias para os rios dando uma aparência não boa à água. Comparando com as NAS para o

consumo doméstico os valores da turvação não ultrapassam os limites estabelecidos por essas normas.

Em relação ao uso na irrigação não há dados referenciados nas normas utilizadas.

A figura 4 mostra o comportamento da turvação em diferentes pontos de amostragem.

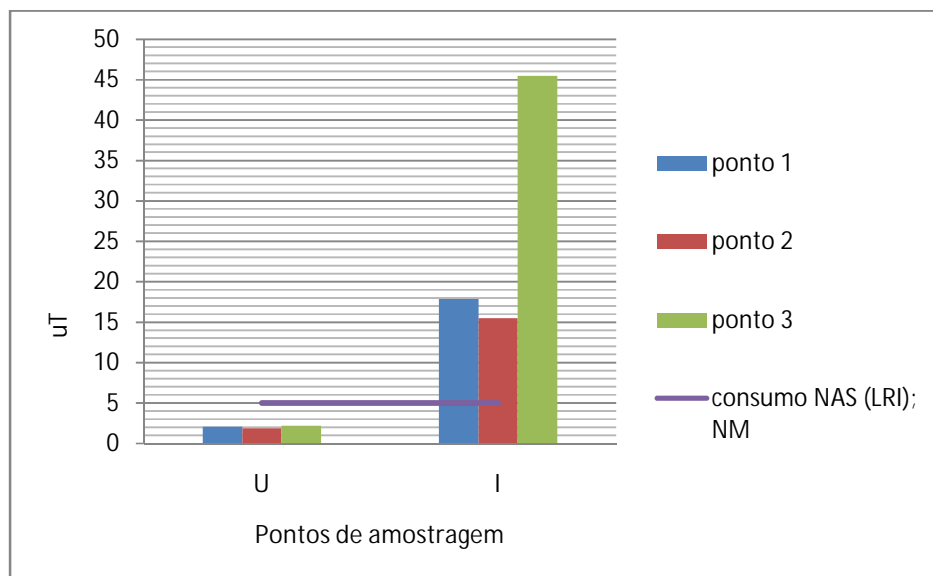


Figura 4: Diagrama de conc. da turvação em diferentes pontos de amostragem

A água dos rios analisados segundo o teor de nitratos é apta para o consumo doméstico e irrigação, pois os valores de nitratos se encontram abaixo dos limites da NM para o consumo doméstico e da norma da FAO para a irrigação. O mesmo se verifica para as normas da OMS, NAS, NE, MP e CONAMA.

Em relação aos nitritos os resultados estão abaixo das NM de qualidade da água para o consumo doméstico; tomando como referência esta norma pode-se considerar a água dos rios em estudo boa para o consumo doméstico segundo os valores de nitritos. Em relação as normas da OMS, NAS, NE, MP e CONAMA para o consumo doméstico os valores de nitritos encontram-se abaixo destas normas excepto o ponto 2 do rio Umbelúzi comparando com a NE; este valor não constitui problema pois o nitrito é rapidamente convertido em nitrato.

Em relação à irrigação nada se pode afirmar pois não foram encontradas normas para este parâmetro na bibliografia consultada.

Os resultados de NH_4^+ estão abaixo das NAS, NM para o consumo doméstico e FAO para a irrigação, observando-se o contrário em relação as NP e da OMS; considerando as normas de referência NM e FAO a água é apta para o consumo doméstico e irrigação.

Concentrações elevadas de nitrogénio em forma de iões NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ na água dos rios em estudo podem ser devidas à deposição atmosférica, dejectos humanos e de animais e ao arraste de adubos nitrogenados do solo.

As figuras 5, 6 e 7 mostram o comportamento dos iões NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ respectivamente em diferentes pontos de amostragem.

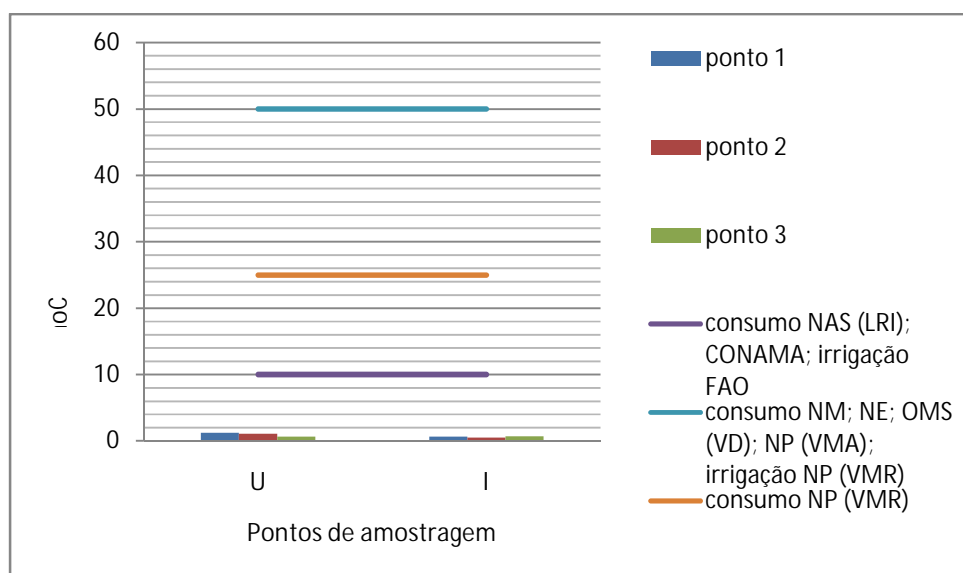


Figura 5: Diagrama de conc. de NO_3^- em diferentes pontos de amostragem

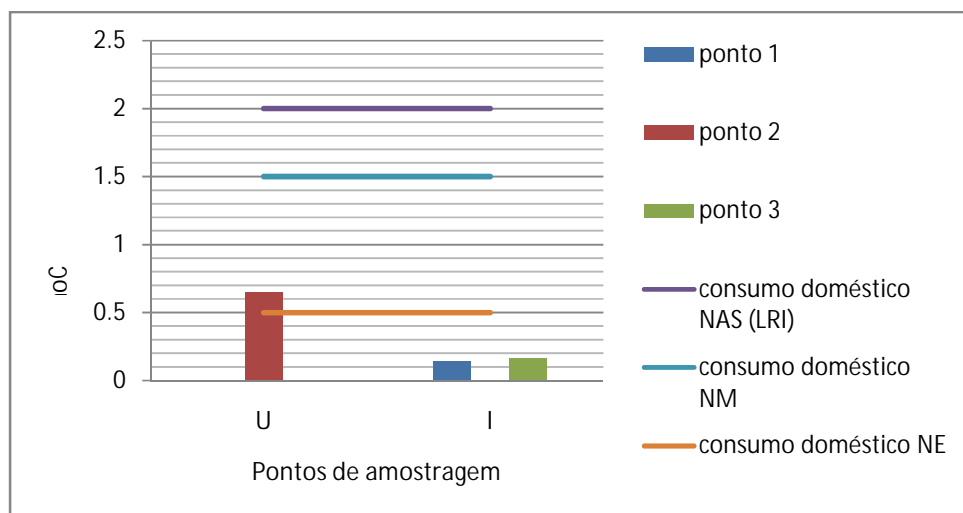


Figura 6: Diagrama de conc. de NO₂⁻ em diferentes pontos de amostragem

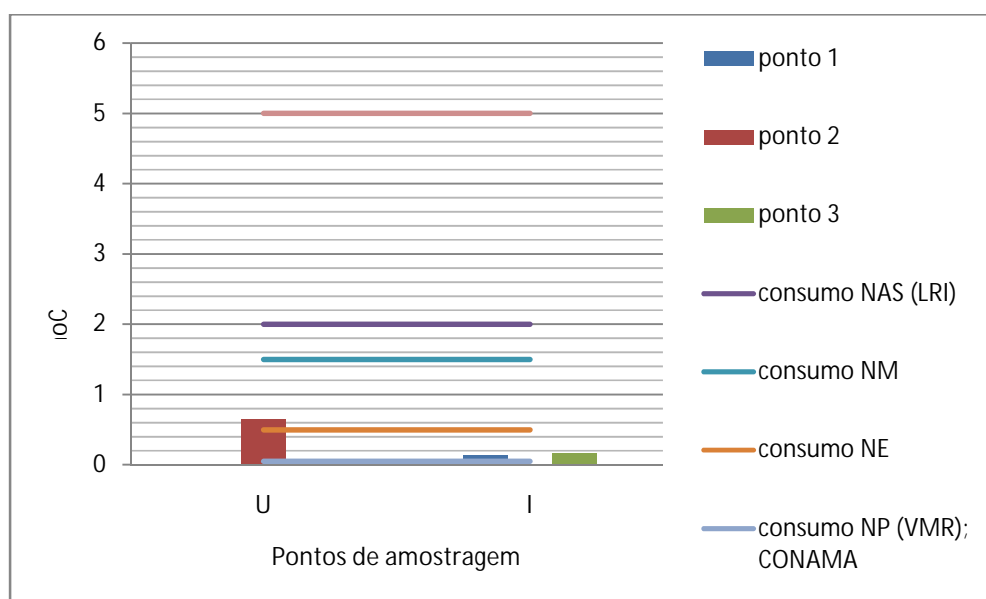


Figura 7: Diagrama de conc. de NH₄⁺ em diferentes pontos de amostragem

6.1.2. Carbonatos e bicarbonatos

O método de determinação de carbonatos e bicarbonatos foi a titulação ácido-base. Para os carbonatos a precisão do método foi boa com valores de %RSD variando de 0.61-1.87% para as amostras de água do rio Umbelúzi e não boa com valores de %RSD variando de 0.00-10.5% para o rio Incomáti.

Para os bicarbonatos a precisão do método também foi muito boa com valores de %RSD variando de 0.42-1.02% para amostras do rio Umbelúzi e 0.44-1.71% para o rio Incomáti.

A qualidade da água para o consumo doméstico dos rios analisados é boa segundo os teores de CO_3^{2-} pois os valores estão abaixo dos limites das NM, o mesmo acontece comparando os valores de CO_3^{2-} com as NAS, e da OMS; por outro lado, a qualidade de água de irrigação com base nos teores de CO_3^{2-} não é boa pois os resultados estão acima da escala normal da FAO referidos na tabela 4, excepto no ponto 2 das amostras do rio Incomáti em que o valor está dentro do intervalo recomendado o que pode provocar a precipitação do cálcio nas tubulações.

O comportamento dos resultados de CO_3^{2-} e os limites das normas estão descritos nas figuras 8a, 8b.

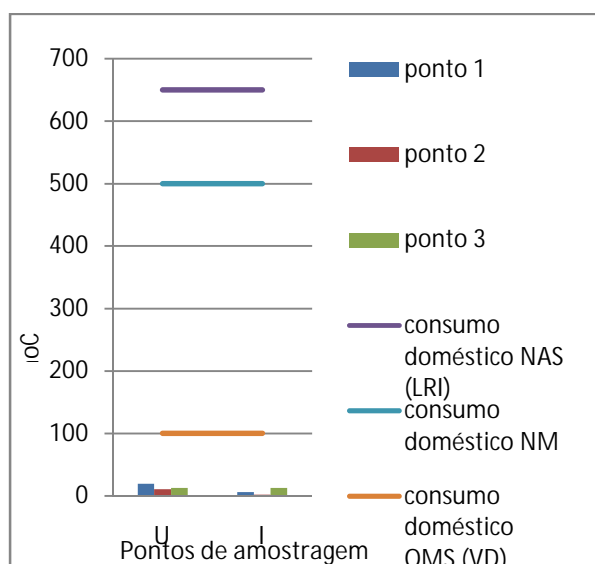


Figura 8a: Diagrama de conc. de CO_3^{2-} em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para o consumo doméstico

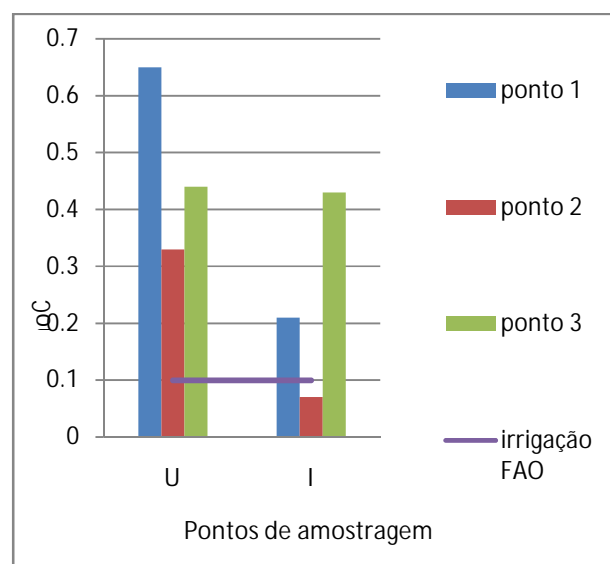


Figura 8b: Diagrama de conc. de CO_3^{2-} em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para a irrigação

Os teores de HCO_3^- estão abaixo dos limites das NM e NAS, verificando-se o contrário em relação às normas estabelecidas pela OMS; por outro lado, os teores de HCO_3^- estão dentro da escala normal da FAO referidos na tabela 4 portanto a água dos rios analisados é boa para o consumo doméstico e para a irrigação.

O comportamento dos resultados de HCO_3^- e os limites das normas estão descritos nas figuras 9a e 9b.

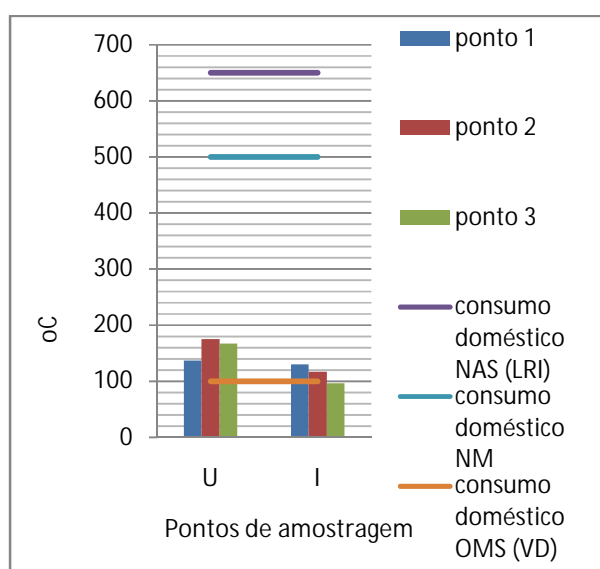


Figura 9a: Diagrama de conc. de HCO_3^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para o consumo doméstico

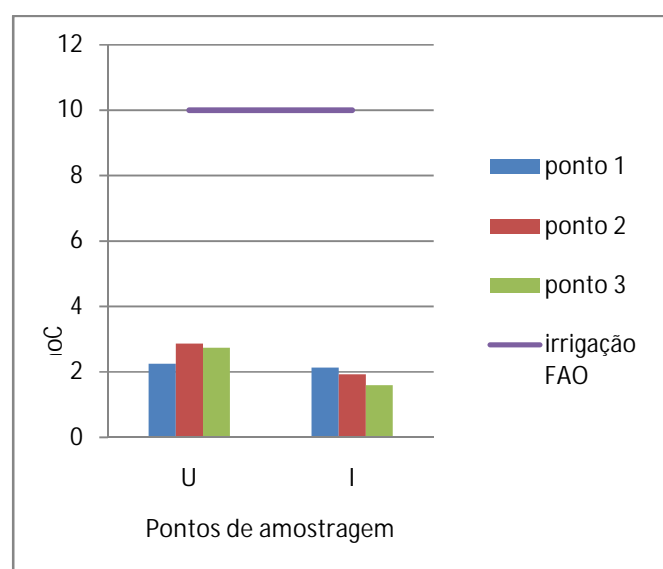


Figura 9b: Diagrama de conc. de HCO_3^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para a irrigação

6.1.3. Cloretos

Os cloretos foram determinados pelo método de volumetria de precipitação, pela técnica de Mohr. A precisão dos resultados das amostras dos dois rios é muito boa variando de 1.05-2.54% de %RSD para o rio Umbelúzi e 0.00-3.09% de %RSD para o rio Incomáti.

Com base nos teores de Cl^- as águas são aptas para o consumo doméstico porque estão abaixo dos limites das NM. Os teores de Cl^- estão também abaixo dos limites das NAS, NE, OMS e CONAMA.

Em relação à irrigação, segundo as normas portuguesas os teores de Cl^- nos pontos 2 do rio Umbelúzi e 3 do rio Incomáti estão acima dos limites e o resto dos pontos estão abaixo dos limites. Segundo a FAO os teores de Cl^- , levando em conta a irrigação por superfície, apresentam um grau de restrição moderado, e usando a irrigação por aspersão só o ponto 3 do rio Umbelúzi

situa-se acima dos limites; neste caso pode-se praticar a irrigação por aspersão. Os pontos com teores acima das normas podem ter sofrido contaminação por águas de esgotos, não podendo praticar-se a irrigação por aspersão porque pode ocasionar problemas de queimaduras das folhas e consequentes perdas na produtividade.

O comportamento dos resultados de Cl^- estão descritos nas figuras 10a e 10b.

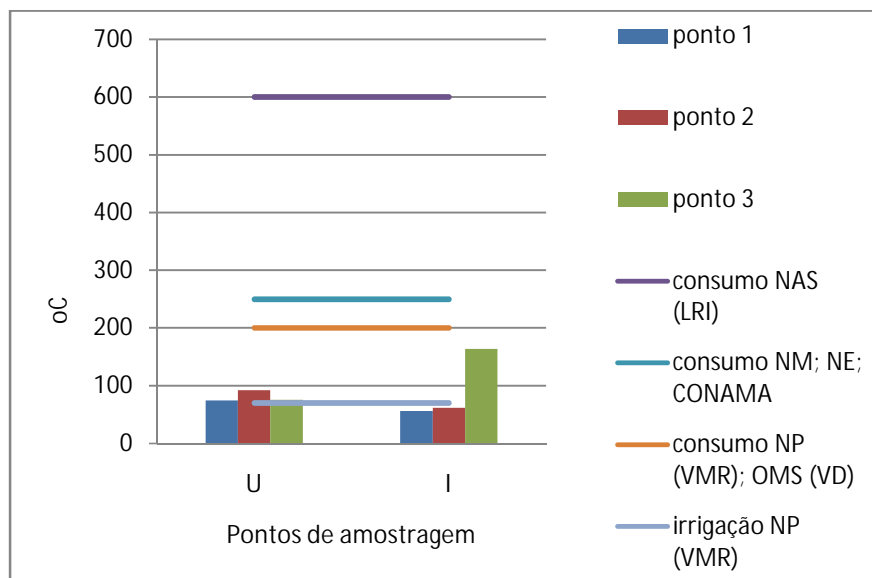


Figura 10a: Diagrama de conc. em mg/L de Cl^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para consumo doméstico e irrigação

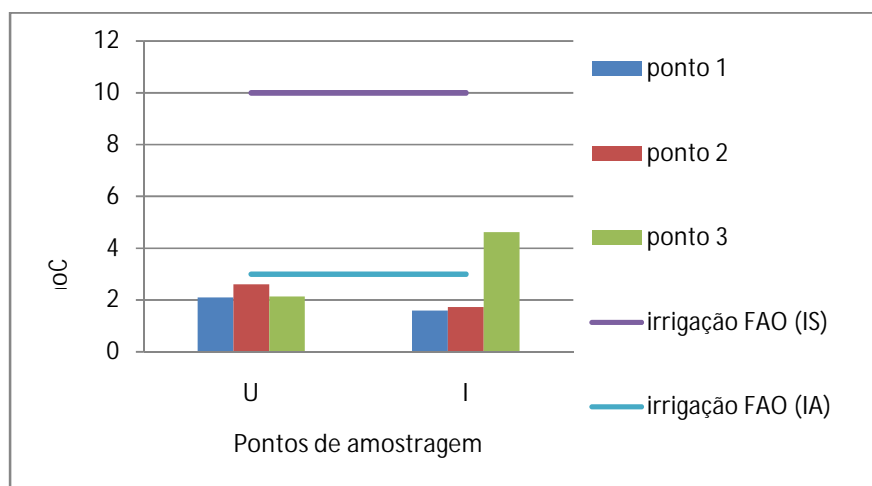


Figura 10b: Diagrama de conc. em meq/L de Cl^- em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para irrigação

6.1.4. DQO

A DQO é um parâmetro também determinado com o método clássico de titulação.

A precisão dos resultados de DQO nas amostras dos rios analisados é muito boa, tendo como %RSD para o rio Umbelúzi 3.46-4.88%, e para o rio Incomáti 0.00-2.90%.

Com base nos teores de DQO as águas são aptas para o consumo doméstico porque estão abaixo dos limites das NM bem como das normas referenciadas na tabela 1.

Em relação à qualidade da água para a irrigação não foram encontradas normas na bibliografia consultada; isto pode-se explicar segundo NIEWEGLOWSKI, 2006 por ser um parâmetro não importante na classificação das águas para irrigação.

A figura 11 mostra o comportamento dos resultados de DQO e os limites das normas.

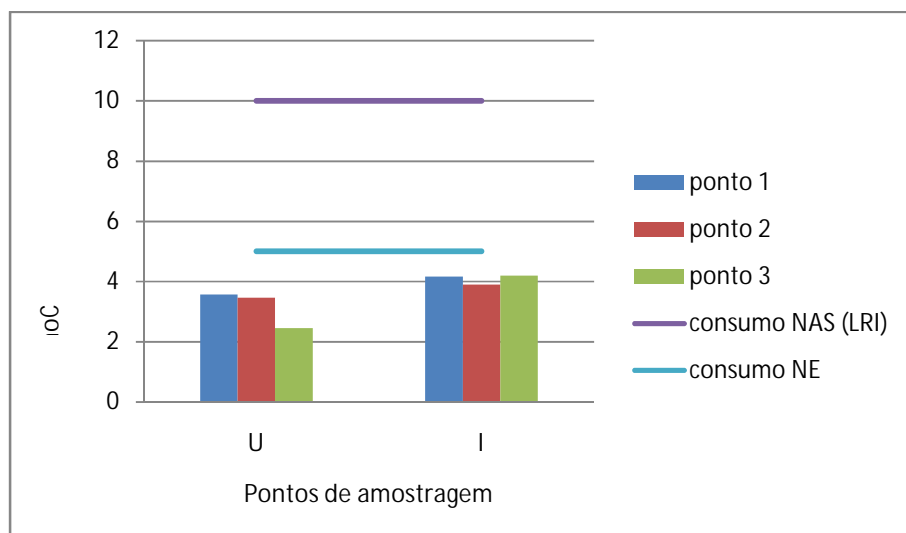


Figura 11: Diagrama de conc. de DQO em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas

6.1.5. Sulfatos

A determinação de SO_4^{2-} foi por gravimetria. A precisão dos resultados é boa tendo a %RSD variado de 1.06-3.90% para as amostras do rio Umbelúzi e 0.52-3.87% para as amostras do rio Incomáti.

Os teores de SO_4^{2-} estão muito abaixo dos valores limites e recomendados pelas NM e FAO bem como pelas normas referenciadas nas tabelas 1, 2 e 4 para o consumo doméstico e irrigação;

neste caso as águas dos rios analisados segundo o teor de SO_4^{2-} são aptas para o consumo doméstico e uso na irrigação.

As figuras 12a e 12b mostram o comportamento dos teores SO_4^{2-} em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

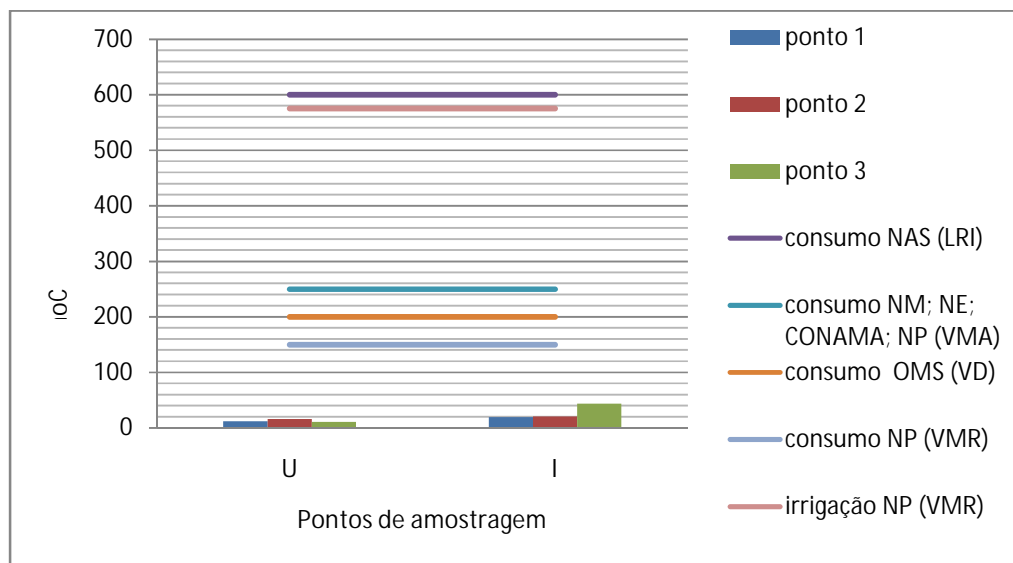


Figura 12a: Diagrama de conc. em mg/L de SO_4^{2-} em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para consumo doméstico e irrigação

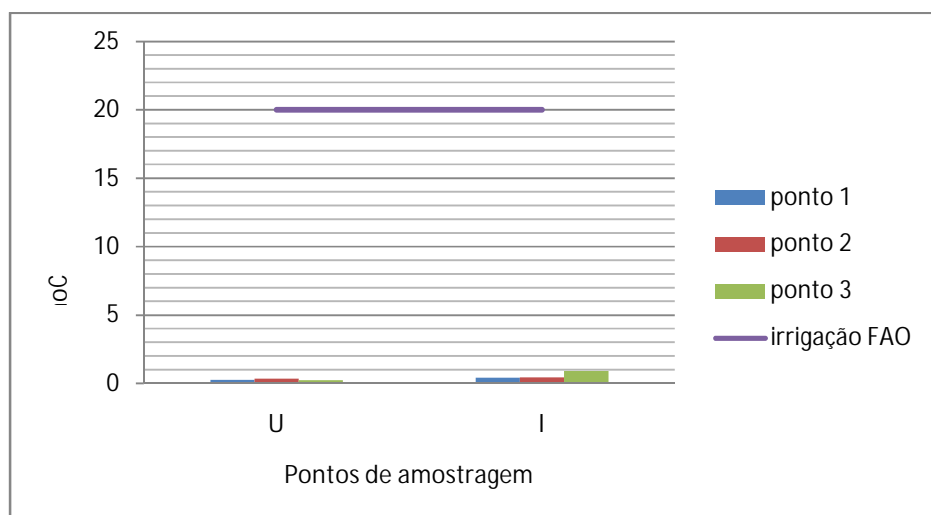


Figura 12b: Diagrama de conc. em meq/L de SO_4^{2-} em diferentes pontos de amostragem e o limite da norma para a irrigação

6.1.6. Cálcio

A exactidão do método FAAS na determinação de Ca é muito boa tendo apresentado o valor de erro relativo de 0.28% e 100% de % R.

A precisão do método foi muito boa com %RSD 6.03% no material de referência, 0.19-4.03% nos padrões, 0.72-0.93% nas amostras do rio Umbelúzi e 1.31-1.33% nas amostras do rio Incomáti.

Os teores de Ca estão muito abaixo dos valores limites e recomendados pelas normas referenciadas nas tabelas 1 e 4 para o consumo doméstico e irrigação; neste caso as águas dos rios analisados segundo o teor de Ca são aptas para esses fins.

Os teores altos de Ca nestes rios podem surgir possivelmente através das rochas existentes no fundo dos rios.

As figuras 13a e 13b mostram o comportamento dos teores Ca em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

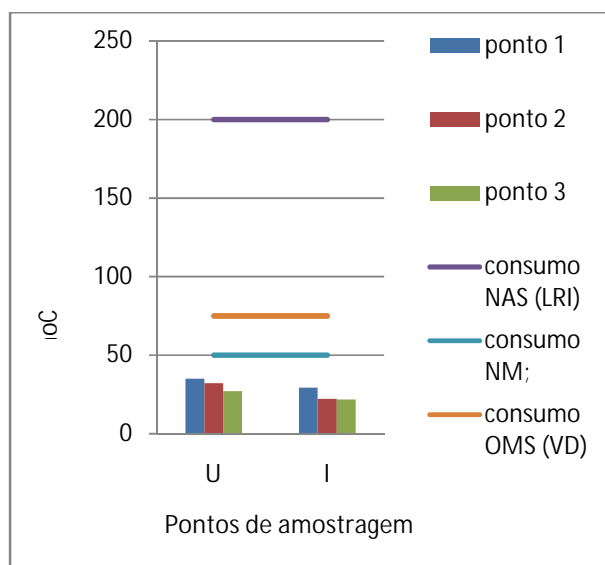


Figura 13a: Diagrama de conc. em mg/L de Ca em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas

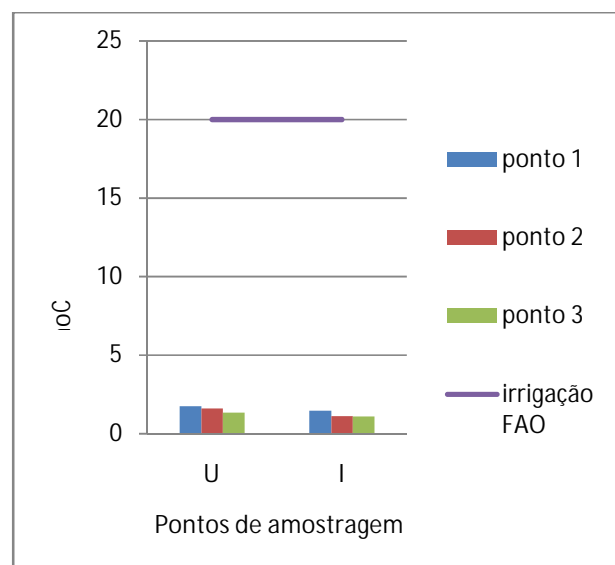


Figura 13b: Diagrama de conc. em meq/L de Ca em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas

6.1.7. Magnésio

A exactidão na determinação do magnésio por FAAS não foi muito boa com 11.9% de erro relativo e %R de 88.1%; a exactidão provavelmente poderia ser melhorada se no lugar da chama ar/acetileno fosse utilizada N_2O /acetileno e se tivesse observado rigorosamente o tempo de espera entre leituras consecutivas estabelecidas pelo espectrofotómetro.

A precisão do método foi muito boa com %RSD 4.42% no material de referência, 0.05-2.63% nos padrões, 0.31-3.25% nas amostras do rio Umbelúzi e 0.44-0.77% nas amostras do rio Incomáti.

A água dos rios analisados segundo o teor de Mg são aptas para o consumo doméstico e uso na irrigação pois os teores de Mg estão abaixo dos valores limites recomendados pelas normas referenciadas nas tabelas 1 e 4 para o consumo doméstico e irrigação.

Os teores altos de Mg nestes rios podem surgir possivelmente através das rochas existentes no fundo dos rios.

As figuras 14a e 14b mostram o comportamento dos teores Mg em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

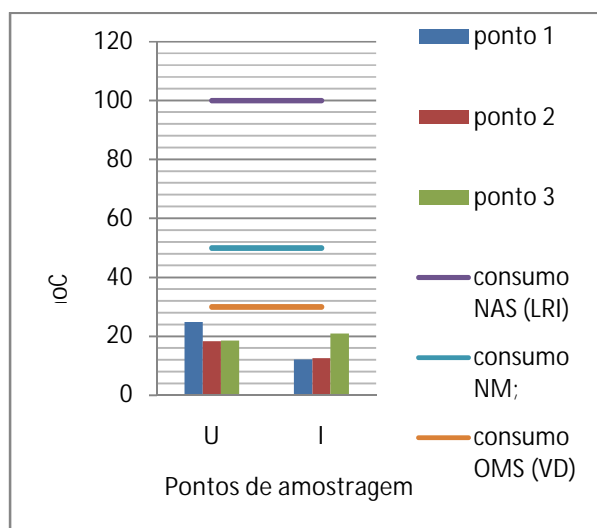


Figura 14a: Diagrama de conc. em mg/L de Mg em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para o consumo doméstico

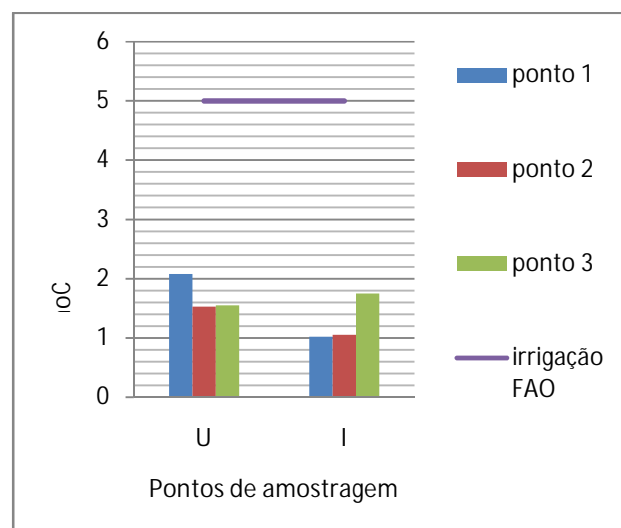


Figura 14b: Diagrama de conc. em meq/L de Mg em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas para a irrigação

6.1.8. Ferro

A exactidão do método FAAS na determinação de Fe foi boa com o erro relativo de 6.27% e 93.7 de %R.

A precisão do método variou de muito boa a boa com %RSD 2.21% no material de referência, 0.00-7.41% nos padrões e 4.23-5.86% nas amostras do rio Incomáti; nas amostras do rio Umbelúzi a precisão não foi tão boa variando de 9.99-12.5% de %RSD. Por outro lado há uma diferença significativa comparando o valor experimental e o valor conhecido; essa discordância do valor experimental e o conhecido provavelmente poderia ser alterada se tivesse usado a chama N₂O/acetilano em vez de ar/acetilano.

A água dos rios analisados não é boa para o consumo doméstico pois os teores de Fe encontrados estão acima das NM, o mesmo acontece comparativamente com as NP, NE e CONAMA. Verifica-se o contrário comparando com as NAS, embora o ponto 3 do rio Incomáti apresente valores acima dessa norma.

Os teores de ferro altos em alguns pontos de amostragem podem ser explicados devido ao arrastamento de substâncias nas épocas chuvosas e este elemento confere cor e sabor à água, o que é um risco pra a saúde pública podendo causar câncer.

Segundo as normas da FAO referenciada na tabela 4 a água dos rios, com base nos teores de Fe, é boa para a irrigação, pois os teores deste elemento estão abaixo do limite excepto no ponto 3 do rio Incomáti em que o teor está acima da norma da FAO. Comparativamente com as NP para a irrigação os teores de Fe estão abaixo do limite da norma.

A figura 15 mostra o comportamento dos teores Fe em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

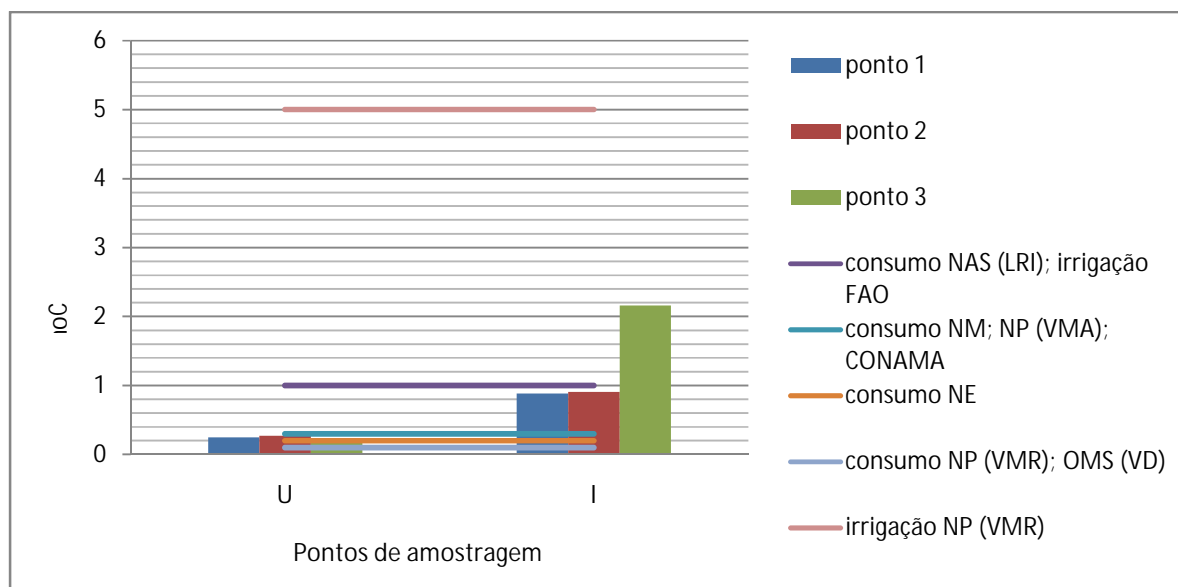


Figura 15: Diagrama de conc. de Fe em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas

6.1.9. Sódio

A exactidão do método FC na determinação de Na foi muito boa com o valor de 2.47% de erro relativo e 97.6 de %R.

A precisão do método foi boa com %RSD 5.77% no material de referência, 4.53-9.07% nas amostras do rio Umbelúzi e 6.15-7.49% nas amostras do rio Incomáti.

Os teores de Na estão abaixo dos valores limites e recomendados pelas NM normas da FAO para o consumo doméstico e irrigação respectivamente; portanto as águas dos rios analisados segundo o teor de Na são aptas para o consumo doméstico e uso na irrigação. Os teores de Na também encontram-se abaixo dos valores limites e recomendados pelas NAS, NE e normas da OMS.

Os teores elevados de Na podem provir de dejectos humanos.

As figuras 16a e 16b mostram o comportamento dos teores Na em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

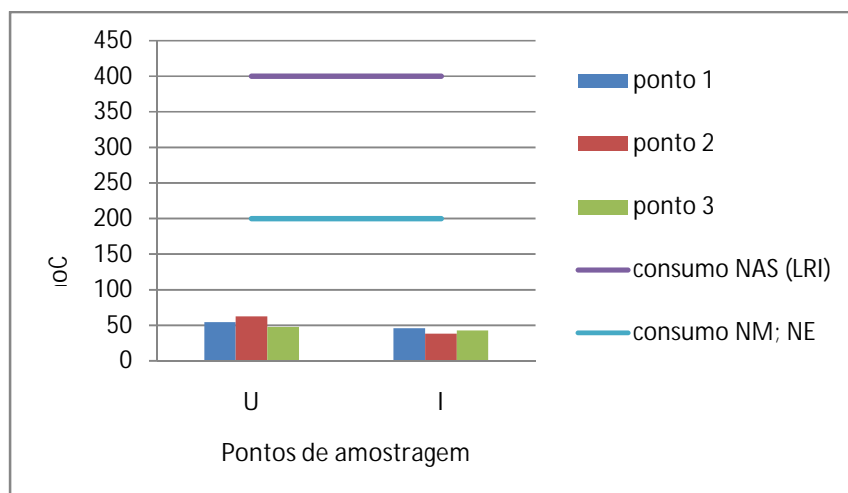


Figura 16a: Diagrama de conc. de Na em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas para o consumo doméstico

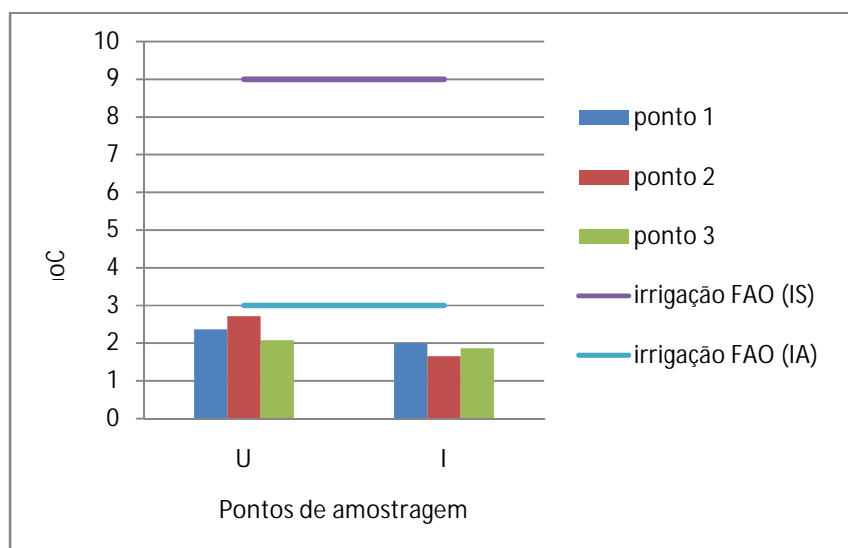


Figura 16b: Diagrama de conc. de Na em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas para a irrigação

6.1.10. Potássio

A exactidão do método FC na determinação de K foi muito boa com o valor de 2.51% de erro relativo e 97.5 de %R. A precisão do método foi boa com %RSD 10.7% no material de referência, muito boa com o valor de %RSD 0.00% para as amostras do rio Incomáti enquanto que nas amostras do rio Umbelúzi a precisão foi de 27.95% de %RSD para duas amostras. Observou-se ainda para este elemento um intervalo de confiança próximo do valor experimental;

este problema poderia ser reduzido se tivesse feito varias réplicas e várias leituras na análise do material de referência e nas amostras.

Os teores de K estão muito abaixo dos valores limites e recomendados pelas NAS referenciadas na tabela 1 para o consumo doméstico; neste caso as águas dos rios analisados segundo o teor de K são aptas para esse fim.

Em relação à irrigação os teores de K estão acima dos valores recomendado pela FAO referenciados na tabela 4, portanto a água dos rios analisados segundo o teor de K não é boa para o uso na irrigação. O mesmo acontece comparativamente com as NP.

A presença deste elemento em altas concentrações na água é provavelmente devido a lixiviação das terras agrícolas, contendo fertilizantes na base de potássio; sendo este um elemento essencial, não fica completamente disponível para as plantas, uma vez que no solo pode tomar diferentes formas como fixado, trocável ou constituinte da matéria orgânica.

A figura 17 mostra o comportamento dos teores de K em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

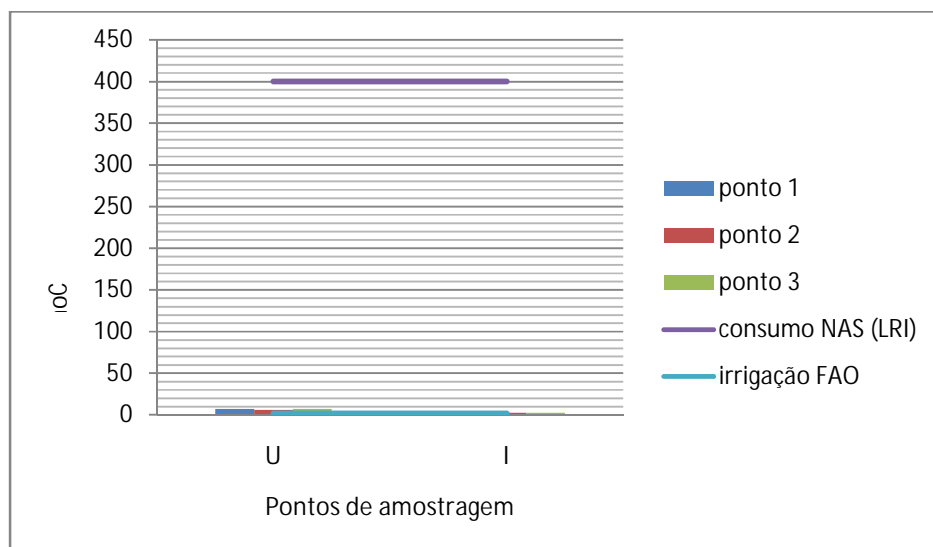


Figura 17: Diagrama de conc. de K em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas

6.1.11. Cobre

Observou-se exactidão muito boa e muito boa precisão do método na determinação deste elemento no material de referência com valores de Er, %R e %RSD de 3.80%, 97.4 e 0.00% respectivamente. Neste caso os valores obtidos na determinação de Cu nas amostras da água dos rios em estudo são aceitáveis embora tenham caído abaixo do limite de quantificação

Os valores de %RSD nas amostras do rio Umbelúzi variam de 10.7-11.3% e 4.85-10.9% para amostra do rio Incomáti.

Os teores de cobre estão muito abaixo dos limites máximos estabelecidos pelas normas NM, NAS, NP (VMA), NE e OMS para o consumo doméstico e estão ligeiramente abaixo das normas da FAO e NP para a irrigação.

Tendo em conta as normas acima referenciadas, pode-se considerar segundo os teores de cobre que as amostras de água dos rios em questão são adequadas para o uso doméstico e para o uso na irrigação.

Os teores de Cu encontram-se acima dos limites das normas da USEPA, Turquia (I classe), Austrália, Canadá e Holanda; verificando-se o contrário nos pontos 1 dos dois rios comparando com os limites das normas do Reino Unido.

Níveis altos de Cu é provavelmente devida a contaminação ao escoamento superficial, a partir de usos agrícolas de cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos.

A figura 18 mostra o comportamento dos teores Cu em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

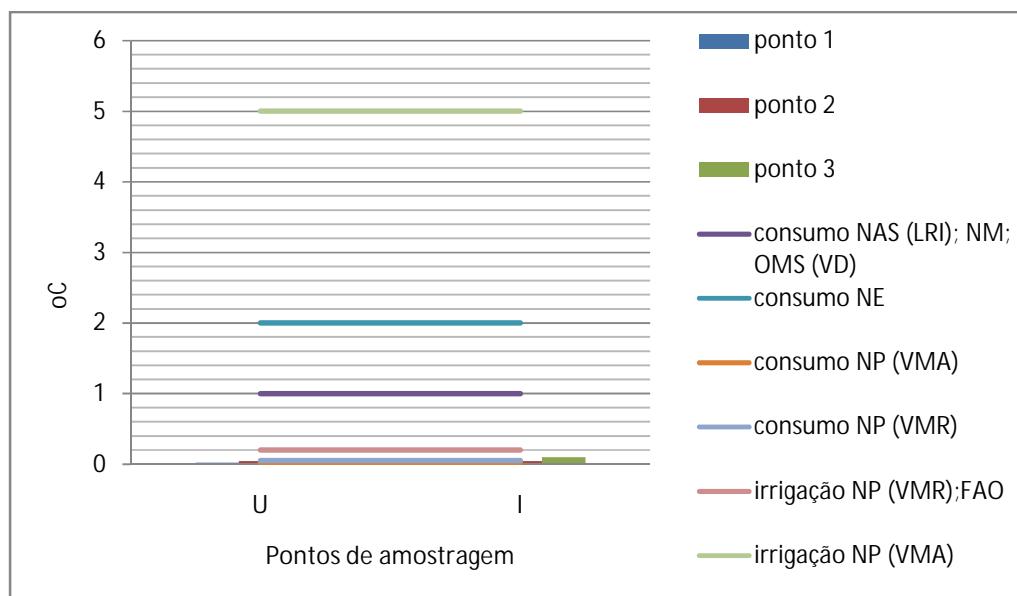


Figura 18: Diagrama de conc. de Cu em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas

6.1.12. Zinco

Os valores de Zn obtidos nas amostras estão muito abaixo do limite de quantificação, embora sejam valores muito próximos. Por outro lado observou-se uma boa exactidão do método FAAS e boa precisão do método na determinação deste elemento no material de referência com valores de erro relativo e %RSD de 2.85% e 5.49% respectivamente. Portanto tendo em conta a boa exactidão considerou-se os resultados de análise de zinco aceitáveis.

Os valores de %RSD nas amostras do rio Umbelúzi variam de 6.51-12.5% e 7.46-11.2% para as amostras do rio Incomáti.

Os teores de zinco encontrados nas amostras variam de 0.028-0.029mg/L e 0.025-0.029mg/L dos rios Umbelúzi e Incomáti respectivamente. Estes valores estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pelas normas referenciadas nas tabelas 1, 2 e 4. Pode-se considerar segundo os teores de cobre que as amostras de água dos rios em questão são adequadas para o consumo doméstico e para o uso na irrigação.

Os teores de zinco também encontram-se abaixo dos limites das normas da USEPA, Canadá e Reino Unido; verificando-se o contrário a Austrália e Holanda.

A figura 19 mostra o comportamento dos teores Zn em diferentes pontos de amostragem e os limites das normas.

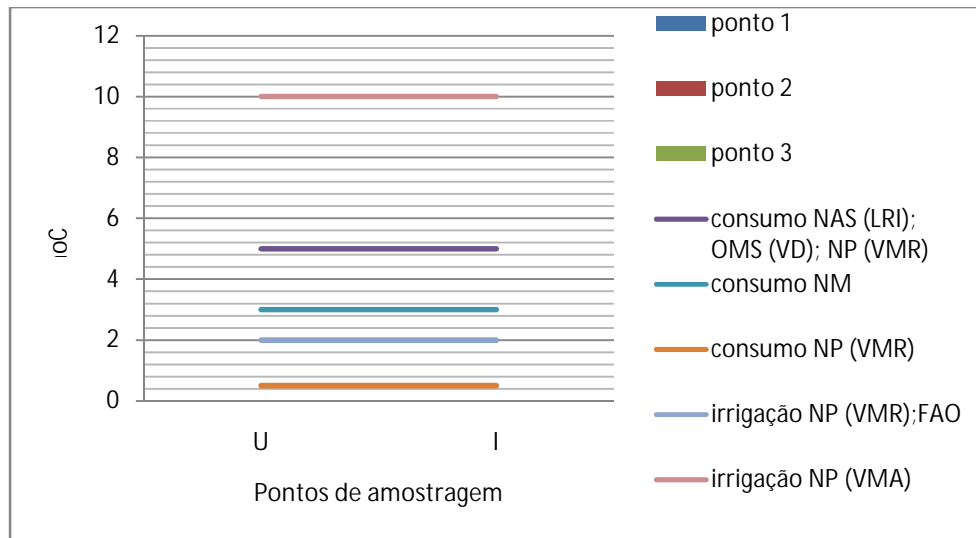


Figura 19: Diagrama de conc. de Zn em diferentes pontos de amostragem e limites de algumas normas

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclusões

Com base nos objectivos traçados e nos resultados experimentais pode-se concluir que:

Os parâmetros HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} e DQO apresentam resultados com muito boa precisão com valores de %RSD variando de 0.42-4.88% para amostras do rio Umbelúzi e 0.00-3.87% para amostras do rio Incomáti. Em relação aos iões CO_3^{2-} os resultados indicam muito boa precisão para amostras do rio Umbelúzi tendo valores de %RSD variando de 0.61-1.87% e uma precisão não boa para amostras do rio Incomáti (ponto 1 e 3) com valores de %RSD 6.45% e 10.5%.

Foi possível a determinação de Ca, Fe, Cu e Zn em águas pelo método de FAAS e Na pelo método FC com bons níveis de precisão e exactidão. O mesmo não se pode dizer em relação a exactidão na determinação de Mg que provavelmente poderia ter sido melhorada se fosse utilizada N_2O /acetileno e se tivesse diminuído o tempo de espera entre leituras consecutivas estabelecidas pelo espectrofotómetro.

Foi possível a determinação de potássio também com bons níveis de exactidão.

A precisão dos resultados dos elementos Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Na nas amostras variaram de muito boa a boa tendo os valores de %RSD variado de 0.31-12.5% para amostras do rio Umbelúzi e 0.44-11.2% para amostras do rio Incomáti.

A precisão dos resultados de K foi variável, sendo muito boa para amostras do rio Incomáti com valor de %RSD 0.00% e não boa para amostras do rio Umbelúzi com valores de %RSD variando 0.00-27.9%.

Os resultados dos parâmetros estudados pH, CE, TDS, DQO, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , DQO, Ca, Mg, Na, K Cu e Zn satisfazem os limites recomendados pela NM, portanto de acordo com estes parâmetros a água dos rios Umbelúzi e Incomáti é boa para fins de consumo doméstico. O contrário verifica-se com os resultados da turvação e do Fe da água do rio Incomáti; neste caso a água do rio Incomáti não é boa para o consumo doméstico segundo os dois parâmetros.

Em relação à irrigação os resultados dos parâmetros estudados pH, CE, TDS, NO_3^- , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca, Mg, Fe, Na, Cu e Zn satisfazem os limites recomendados pela FAO ao

contrário do que se verifica para CO_3^{2-} e K. Sendo estes parâmetros importantes para a irrigação um estudo completo tendo em conta o solo e a sensibilidade da cultura podem dar resultados mais fiáveis. Tendo em conta que só dois parâmetros tem resultados fora das normas e que podem ficar retidos no solo não afectando a cultura pode-se considerar que a água dos rios Umbelúzi e Incomáti não é nociva para fins de irrigação.

Das normas consultadas sobre a qualidade de água destinada à irrigação não foram encontrados valores limites para os parâmetros DQO, turvação e NO_2^- portanto nada se pode afirmar em relação a esses parâmetros.

Recomendações

Recomenda-se que para as próximas análises da qualidade de água dos rios Umbelúzi e Incomáti se aumente o número de amostras a analisar para se tirar conclusões mais fiáveis.

Recomenda-se que se complemente a análise da qualidade de água para fins de consumo e irrigação determinando metais pesados nestas águas devido à sua facilidade de bioacumulação em certos tipos de plantas animais e até certos órgãos do corpo humano.

Recomenda-se que para as próximas análises da qualidade de água para fins de irrigação, que se faça simultaneamente a análise do solo em causa e depois a análise da planta cultivada para o melhor controlo do desenvolvimento da planta.

BIBLIOGRAFIA

1. ALEXEÉV, V. (2000). *Análise quantitativa*, 4ª edição, editora Lopes da Silva, pp. 201.
2. ARA SUL- Administração Regional de Águas na zona sul (2008). *Estado da Qualidade de Água na Região sul de Moçambique* disponível em <http://www.arasul.co.mz/publ/Normas%20de%20Qualidade%20de%20Agua%20Utilizadas%20na%20Africa%20do%20Sul%20e%20OMS.pdf> acessado em 03/2011.
3. ASTM- American Society for Testing and Materials (1977). *Water*, Philadelphia, pp 112,113, 288, 289, 493, 494.
4. AYERS, R. S. e WESTCOT, D. W. (1985). *A Qualidade da Água para a Agricultura*, Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas, Roma, FAO; disponível em www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.htm acessado em 03/2011.
5. CENACARTA (2007). *Divisão Administrativa dos distritos de Boane, Manhica e Marracuene*, província de Maputo.
6. CHIRONDA, S. M. (2007). *Determinação da Concentração de Fluoretos por Espectrofotometria da Absorção Molecular em Águas Minerais*, Trabalho de Licenciatura, Departamento de Química, UEM, Maputo.
7. CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente (1986). *Água- Classificação e Qualidade*, Diário Oficial, Brazil.
8. COSTA, M. (1987). *Métodos de Análise de Água*, editor Ministério da Saúde, LNHA; pp A01, A02, C09, C10, C17 e C20.
9. DAMASCENO, L. M. O., ANDRADE JÚNIOR, A. S., DIAS, N. da S., FRANCO, J. L. D., e SILVA E. F. de (2008). *Qualidade da Água do Rio Poty para Consumo Humano, na Região de Teresina, Pi*. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA) Mossoró – RN – Brasil.
10. Decreto-Lei nº 236/98 (1998). *Normas da Qualidade da Água*, Ministério do Ambiente, Diário da República 176, I Série.
11. DELVIO, S., MATSURA, E. E., TESTEZLAF, R. (2006). *Teores de Nutrientes na Alface Irrigada com Água Residuária Aplicada por Sistemas de Irrigação*, Brasil v.26, n.1, pp 45-57 disponível em www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30095.pdf.

12. DEMIRAK, A., YILMAZ, F., TUNA, A. L. e OZDEMIR, N. (2006). *Heavy metals in water, sediment and tissues of Leuciscus cephalus from a stream in southwestern Turkey*. *Chemosphere*, vol.63 PP1451-1458.
13. Directiva 98/83/CE (1998). *Qualidade da Água Destinada ao Consumo Humano*, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Lisboa.
14. FUKUZAWA, C. M. (2008). *Influência da Litologia nas Águas e Sedimentos do Rio Piringa – Formador do Rio Doce*, Brazil, Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental.
15. GONÇALVES, M. L. S. S. (2001). *Métodos Instrumentais para Análise de Soluções*, Análise Quantitativa, Fundação Calouste Gulbenkian, 4^a edição, Lisboa, pp 96-157.
16. HALAFO, M. (2009). *Determinação de Metais Pesados Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Mn e Zn por “AAS” da Albufeira de Cahora Bassa*, Trabalho de Licenciatura, Departamento de Química, UEM, Maputo.
17. HOWARD, G. e BARTRAM, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1 p. disponível em http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/en/WSH0302.pdf acessado em 03/2011.
18. KIN, F. D. (1996). *Manual de Estatística Aplicada à Química Analítica*, Departamento de Química, Faculdade de Ciências, UEM, Maputo, pp 4-16.
19. KRUG, F. J., NÓBREGA, J. A. e OLIVEIRA, P. V. de (2004). *Espectrometria de Absorção atômica*, pp 1, 37 e 38, disponível em www.ufpa.br/.../espectroscopia%20de%20absorção.htm.
20. LEAL, C. M., ANDRADE JÚNIOR, A. S. de, SOUSA, V. F. de, SILVA, E. F. de F. e BASTOS, E. A. (2009), *Qualidade da água subterrânea para fins de irrigação na microregião de Teresina, Piauí*; pp 276-288 Disponível em <http://www.cpamn.embrapa.br/soloaguaclima/doc/Aderson/APS/AP20.pdf>. acessado em setembro de 2010.
21. LGC (2004). *River Water-River Thames Certified Reference Material LGC6019*. UK. disponível em www.industrialanalytical.co.za.
22. MAE- Ministério da Administração Estatal (2005). *Perfil do Distrito de Manhica*, Maputo.
23. MILLER, J. C. e MILLER, J. N. (2006). *Statistics For Analytical Chemistry*, 4th edition, Ellis Horwood Limited, England, pp 114-130.

24. MISAU- Ministério da Saúde (2004). *Regulamento sobre a Qualidade de Água para o Consumo Humano*, Unicef, Moçambique, pp 26-31.
25. MORAIS, E. R. C. de, MAIA, C. E., e OLIVEIRA, M. de O. (1998). *Qualidade da Água para Irrigação em Amostras Analíticas do Banco de Dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró*, Mossoró-Rn, pp 75-83, disponível em <http://www.ufersa.edu.br/caatinga/artigos/Caa1110.pdf> acessado em 08/10.
26. MORAIS, E. R. C. de, MAIA, C. E. e OLIVEIRA, M. de O. (2001). *Estimativa de Carbonato de Cálcio Aplicado via Água de Irrigação nas Regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu, RN*, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, 71-75pp disponível em www.agriambi.com.br/revista/v5n1/071.pdf.
27. MOURA, R. da S., HERNANDEZ, F. B. T., LEITE, M. A., FRANCO, R. A. R., FEITOSA, D. G. e MACHADO, L. S. (2011) *Qualidade da Água para uso em Irrigação na Microbacia do Córrego do Cinturão Verde*, Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.5, pp 1, 68–74.
28. NHAMUNDO, L. P. (2008). *Determinação de Metais Pesados em Águas da Barragem de Massingir e seus Efeitos Ambientais*, Trabalho de Licenciatura, Departamento de Química, UEM, Maputo, pp 36-47.
29. NIEWEGLOWSKI, A. M. A. (2006). *Indicadores de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Toledo – PR*, Curitiba.
30. OLIVEIRA, M. de O. e MAIA, C. E. (1998). *Qualidade Físico-Química da Água Para Irrigação em Diferentes Aquíferos na Área Sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, pp 17-21; disponível em <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n1/017.pdf>, acessado em Agosto de 2010.
31. OPOKU-DUAH, S., KANKAM-YEBOAH, K. e MENSAH, F. K. (1997). *Water Quality for Irrigation-Rice-Based Cropping System in the Oda River Valley Bottom at Besease*, vol.39, Ghana, disponível em www.ajoi.info/index.php/qjs/article/viewfile/14858/16331.
32. PAULINO, W. D. (2008). *Qualidade da Água para Irrigação*, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, Estado de Ceará.
33. DNA- Direcção Nacional das Águas (1999). *Recursos Hídricos de Moçambique* República de Moçambique, Cooperação Portugal-Moçambique pp 34, 41 e 49.

34. RIBEIRO, F. A. da L., FERREIRA, M. M. C., MORANO, S. C. SILVA, L. R. da, e SCHNEIDER, R. P. (2008). *Planilha de Validação: Uma Nova Ferramenta para Estimar Figuras de Mérito na Validação de Métodos Analíticos Univariados*, Química Nova, vol.31, São Paulo, pp 89-93.
35. SAVAIO, N. C. A. (2008). *Determinação de Metais Pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) em Águas de Barragem de Massingir na Época Seca por AAS*, Trabalho de Licenciatura, Departamento de química, UEM, Maputo, pp 41-47.
36. SELF, J. R. (2010). *Domestic Water Quality Criteria*, Colorado State University, disponível em <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00513.html> acessado em 03/2011.
37. SHIMADZU Modelo SpectrAA 6800, Plus, Atomic Absorption Spectrophotometry, *Measuring Conditions by Element of Flame Atomic*.
38. SILVA, Michele C. e HERNANDEZ Fernando B. T. *Avaliação química da qualidade de água para fins de irrigação em microbacia degradada*; disponível em http://www.cpamn.embrapa.br/soloaguaclima/doc/Aderson/REs/CONBEA_2006/RE49.pdf.
39. SKOOG D. A., HOLLER, F. J. e NIEMAN, T. A. (1998). *Princípios de Análise Instrumental*; Artmed editora; 5ª edição, pp 209.
- VASCONCELOS, R. S., LEITE, K. N., CARVALHO, C. M., ELOI, W. M., SILVA, L. M. F. e FEITOSA. H. O. (2009). *Qualidade da Água Utilizada para Irrigação na Extensão da Microbacia do Baixo Acaraú*, Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.3, n.1, pp 30-38, www.inovagri.org.br acessado em 08/2010.
42. ZUCCARI, M. L., GRANER, C. A. F. e LEOPOLDO, P. R. (2005). *Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em Águas e Efluentes pelo método Colorimétrico Alternativo*, vol 20, pp 70 e 71, disponível em <http://www.fcaunespbr.org/pdf>.

Anexo 1: Preparação de soluções operacionais

Solução de HCl (1:1)

Mediu-se 50mL de HCl_{conc.} e adicionou-se em 50mL de água destilada (COSTA, 1987).

Solução de cloreto de bário (BaCl₂) 10%

Dissolveu-se 10g de BaCl₂.2H₂O em água destilada, e completou-se o volume de 100mL (ASTM, 1977 e COSTA, 1987).

Solução de HCl 0.02N

Dissolveu-se 0.43mL (d=1.19) de e adicionou-se em água destilada no qual completou-se o volume de 250mL (COSTA, 1987).

Solução de Na₂CO₃ 0.2N

Dissolveu-se 0.265g de Na₂CO₃ previamente seco na estufa a 270°C durante 2 horas e dissolveu-se em água destilada no qual completou-se o volume de 250mL (COSTA, 1987).

Indicador verde de bromocresol/vermelho de metilo

Dissolveu-se 0.025g de cada indicador em 0.75mL de NaOH A 0.02N e diluiu-se ate 50mL (COSTA, 1987).

Indicador fenolftaleína

Dissolveu-se 0.125g de fenolftaleína em 12.5mL de etanol a 95% e diluiu-se a 25mL com água destilada. De seguida adicionou-se gota a gota de NaOH à 0.01N até o aparecimento da cor rosa clara (COSTA, 1987).

Solução de AgNO₃ 0.1N

Dissolveram-se 1.7g de AgNO₃ num balão de 100mL e preencheu-se o volume com água destilada. A solução deve ser conservada no frasco escuro (ASTM, 1977).

Solução de NaCl 0.1N

Dissolveram-se 0.584g de NaCl previamente seco na estufa a 140°C em água destilada e diluiu-se em 100mL (ASTM, 1977).

Indicador cromato de potássio

Dissolveram-se 1.25g de K_2CrO_4 numa pequena quantidade de água, adicionou-se o $AgNO_3$ até a formação do precipitado cor de tijolo. Deixou-se decantar aproximadamente 12h, filtrou-se e diluiu-se o filtrado com água destilada até 25mL (ASTM, 1977).

Solução de H_2SO_4 (1:3)

Adicionou-se 10ml com precaução de $H_2SO_{4conc.}$ a 30ml de água destilada (ASTM, 1977).

Solução de permanganato de potássio, $KMnO_4$ a 0.1N

Pesou-se cerca de 1.6g de $KMnO_4$ e introduziu-se num copo e juntou-se 500ml de água destilada. Aqueceu-se até moderada ebulição, e manteve-se durante 30min. De seguida filtrou-se com lã de vidro depois de se ter deixado repousar durante 1dia (COSTA, 1987).

Solução de ácido oxálico

Dissolveu-se 1.675g de $Na_2C_2O_4$, previamente seco na estufa a 110°C NA água destilada, juntou-se cuidadosamente 12.5ml de $H_2SO_{4conc.}$ ($d=1.84$) preencheu-se o volume de 250ml com água destilada (COSTA, 1987).

Solução de lantânio 20000mg/L

Dissolveu-se 10,69g de $LaCl_3 \cdot 7H_2O$ com água destilada, preencheu-se o volume de 250mL com água destilada (SHIMADZU).

Solução de Na 20000mg/L

Dissolveu-se 2.54g de NaCl na água destilada, preencheu-se o volume de 50mL com água destilada (ASTM, 1977).

Solução de K 20000mg/L

Dissolveu-se 1.91g de KCl na água destilada, preencheu-se o volume de 50mL com água destilada (ASTM, 1977).

Anexo 2: Resultados de análises de CO_3^{2-} , HCO_3^- , COD, Cl^- e SO_4^{2-}

A tabela a-1 mostra os volumes do titulante-HCl gastos na titulação para a determinação de CO_3^{2-} e HCO_3^- .

Tabela a-1 : Volumes do titulante-HCl gastos na titulação para a determinação de CO_3^{2-} e HCO_3^- nas amostras de água do rio Umbelúzi e Incomáti em mL

Réplicas	U ₁		U ₂		U ₃	
	V ₁	V ₂	V ₁	V ₂	V ₁	V ₂
1	0.9	8.2	0.5	8.7	0.6	8.8
2	0.9	8.2	0.5	8.5	0.6	8.8
3	0.9	8.0	0.5	9.0	0.6	9.1
Réplicas	I ₁		I ₂		I ₃	
	V ₁	V ₂	V ₁	V ₂	V ₁	V ₂
1	0.9	8.2	0.5	8.7	0.6	8.8
2	0.9	8.2	0.5	8.5	0.6	8.8
3	0.9	8.0	0.5	9.0	0.6	9.1

A tabela a-2 mostra os resultados de análises CO_3^{2-} e HCO_3^- .

Tabela a-2: Resultados de análises de CO_3^{2-} e HCO_3^- das amostras de água do rio Umbelúzi em mg/L

CO_3^{2-}						
Réplicas	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	19.5	10.7	13.0	6.5	2.2	13.0
2	19.5	10.5	13.0	6.5	2.2	12.9
3	19.5	10.9	13.4	5.6	2.2	13.0
	19.5	10.7	13.1	6.2	2.2	13.0
S	0.0	0.20	0.23	0.40	0.00	0.06
HCO_3^-						
1	141	174	168	130	119	95.0
2	137	174	168	131	117	98.0
3	136	176	165	130	115	97.0
	138	175	167	130	117	96.7
S	2.65	1.2	1.7	0.57	2.00	1.53

A tabela b-1 mostra os volumes do titulante-KMnO₄ gastos na titulação para a determinação de DQO.

Tabela b-1: Volumes do titulante-KMnO₄ gastos na titulação para a determinação de DQO nas amostras de água do rio Umbelúzi e Incomáti em mL

Réplicas	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	3.7	3.6	2.4	4.1	3.9	4.2
2	3.6	3.4	2.6	4.3	3.8	4.2
3	3.4	3.4	2.4	4.1	3.9	4.2

A tabela b-2 mostra os resultados de análises DQO.

Tabela b-2: Resultados de análises de DQO das amostras de água do rio Umbelúzi e Incomáti em mg/L

Réplicas	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	3.70	3.60	2.40	4.10	3.9	4.2
2	3.60	3.40	2.60	4.30	3.8	4.2
3	3.40	3.40	2.40	4.10	3.9	4.2
	3.57	3.47	2.46	4.17	3.9	4.2
S	0.15	0.12	0.12	0.12	0.06	0.00

A tabela c-1 mostra os volumes do titulante-AgNO₃ gastos na titulação para a determinação de Cl⁻

Tabela c-1: Volumes do titulante-AgNO₃ gastos na titulação para a determinação de Cl⁻ nas amostras de água do rio Umbelúzi e Incomáti em mL

Réplicas	Branco	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	0.2	2.5	3.1	2.6	1.9	2.2	5.3
2	0.2	2.6	3.1	2.6	2.0	2.1	5.3
3	0.2	2.5	3.1	2.5	2.0	2.1	5.5

A tabela c-2 mostra os resultados de análises Cl^- .

Tabela c-2: Resultados de análises de Cl^- das amostras de água do rio Umbelúzi e Incomáti em mg/L

Réplicas	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	73.4	92.5	76.6	54.2	63.3	163
2	77.4	92.5	76.6	57.4	60.6	163
3	73.4	92.5	73.4	57.4	60.6	166
	74.7	92.5	75.5	56.3	61.5	164
S	2.31	0.00	1.85	1.85	1.56	1.73

A tabela d-1 mostra as massas dos resíduos de BaSO_4 na determinação de SO_4^{2-} .

Tabela d-1: Massas dos resíduos de BaSO_4 na determinação de SO_4^{2-} nas amostras de água do rio Umbelúzi e Incomáti em gramas

Réplicas	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	0.0028	0.0039	0.0025	0.0048	0.0053	0.0106
2	0.0030	0.0041	0.0025	0.0045	0.0050	0.0107
3	0.0028	0.0039	0.0027	0.0048	0.0050	0.0107

A tabela d-2: mostra os resultados de análises de SO_4^{2-} .

Tabela d-2: Resultados de análises de SO_4^{2-} das amostras de água do rio Umbelúzi e Incomáti em mg/L

Réplicas	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃
1	11.5	16.0	10.3	19.8	21.8	43.6
2	12.3	16.3	10.4	18.5	20.6	44.0
3	11.5	16.0	10.6	19.8	20.6	44.0
	11.8	16.1	10.4	19.4	21.0	43.9
S	0.46	0.17	0.15	0.75	0.69	0.23

Anexo 3: preparações de soluções padrão de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Na e K

As tabelas e-1, e-2, e-3 e e-4 estão apresentadas o resumo das preparações de soluções padrão de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Na e K para a leitura no espectrofotómetro

Tabela e-1: Preparação de soluções padrão de Ca e Mg

Soluções	Conc. (mg/L)	V (mL)	V _{La³⁺} (mL)	V _{final}
Ca				
Branco	0.00	0.00	2.5	50
Padrão 1	2.00	2.00	2.5	50
Padrão 2	4.00	4.00	2.5	50
Padrão 4	8.00	8.00	2.5	50
Padrão 5	10.0	10.0	2.5	50
Mg				
Branco	0.00	0.00	2.5	50
Padrão 1	0.50	0.50	2.5	50
Padrão 2	1.00	1.00	2.5	50
Padrão 3	1.50	1.50	2.5	50
Padrão 4	2.00	2.00	2.5	50
Padrão 5	2.50	2.50	2.5	50

Adicionou-se 0.5ml de HCl_{conc.}

Tabela e-2: Preparação de soluções padrão de Fe, Zn e Cu

Soluções	Conc. (mg/L)	V (mL)	V _{final}
Fe			
Branco	0.00	0.00	50
Padrão 1	0.50	0.50	50
Padrão 2	1.00	1.00	50
Padrão 3	1.50	1.50	50
Padrão 4	2.00	2.00	50
Padrão 5	2.50	2.50	50
Zn			
Branco	0.00	0.00	50
Padrão 1	0.1	0.50	50
Padrão 2	0.2	1.00	50
Padrão 3	0.3	1.50	50
Padrão 4	0.4	2.00	50
Padrão 5	0.5	2.50	50
Cu			
Soluções	Conc. (mg/L)	V (mL)	V _{final}
Branco	0.00	0.00	50
Padrão 1	1.00	1.00	50
Padrão 2	2.00	2.00	50
Padrão 3	3.00	3.00	50
Padrão 4	4.00	4.00	50

Adicionou-se 0.5ml de HCl_{conc.}

Tabela e-3: Preparação de soluções padrão de Na

Soluções	Conc. (mg/L)	V (mL)	V _{KCl} (mL)	V _{final}
Branco	0.00	0.00	2.50	50
Padrão 1	5.00	2.50	2.50	50
Padrão 2	10.0	5.00	2.50	50
Padrão 4	15.0	7.50	2.50	50
Padrão 5	20.0	10.0	2.50	50
Padrão 5	25.0	12.5	2.50	50

Tabela e-4: Preparação de soluções padrão de K

Soluções	Conc. (mg/L)	V (mL)	V _{NaCl} (mL)	V _{final}
Branco	0.00	0.00	2.50	50
Padrão 1	5.00	2.50	2.50	50
Padrão 2	10.0	5.00	2.50	50
Padrão 4	15.0	7.50	2.50	50
Padrão 5	20.0	10.0	2.50	50
Padrão 5	25.0	12.5	2.50	50

Anexo 4: Resultados de leituras dos elementos em questão no material de referência

A tabela f mostra apresentadas os resultados de leituras de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K no material de referência

Tabela f: Resultados de leituras de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Na e K no material de referência

Amostra	Replicas	Volume final (mL)	f_d	Absorvância	Conc. lida $\mu\text{g/mL}$	%RSD
Ca	1	25	12.5	0.4311	8.71	3.41
	2	25	12.5	0.4296	8.68	4.97
Mg	1	25	12.5	0.2140	0.32	4.42
	2	25	12.5	0.2180	0.33	0.00
Fe	1	50	5	0.0030	5.37×10^{-2}	0.53
	2	50	5	0.0031	5.42×10^{-2}	0.52
Zn	1	10	2.5	0.0082	2.23×10^{-2}	3.17
	2	10	2.5	0.0087	2.41×10^{-2}	2.35
Cu	1	10	2.5	0.0022	5×10^{-3}	0.00
	2	10	2.5	0.0023	7×10^{-3}	9.43
Na	1	10	5	3.5	2.51	-----
	2	10	5	3.4	2.41	-----
K	1	10	2.5	3.5	0.43	-----
	2	10	2.5	3.7	0.50	-----

Anexo 5: Curvas de calibração de Ca e resultados de leituras de padrões e amostras

A tabela g-1 mostra as concentrações dos padrões de Ca e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD e a figura A mostra a curva de calibração de Ca.

Tabela g-1: concentrações dos padrões de Ca e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD

Soluções	Conc. (mg/L)	Abs.*	% RSD
Branco	0.00	0.0156	4.07
Padrão 1	2.00	0.1040	0.34
Padrão 2	4.00	0.2096	0.44
Padrão 3	8.00	0.4010	0.19
Padrão 4	10.0	0.4952	0.41

* Valores médios de duas leituras

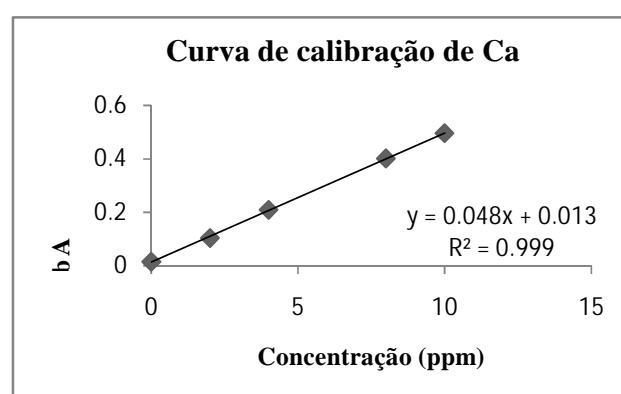


Figura A Curva de calibração de Ca

A tabela g-2 mostra as concentrações e absorvâncias lidas de Ca nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d .

Tabela g-2: Concentrações e absorvâncias lidas de Ca nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d

Rio	Amostra	Réplicas	Volume final (mL)	f_d	Absorvância	Conc. lida $\mu\text{g/mL}$	%RSD
Umbelúzi	U ₁	1	25	8.33	0.2141	4.18 ₉	0.74
		2	25	8.33	0.2139	4.18 ₅	0.61
		3	25	8.33	0.2139	4.18 ₅	0.10
	U ₂	1	25	8.33	0.2035	3.97	0.07
		2	25	8.33	0.2041	3.98	0.25
		3	25	8.33	0.2056	4.01	0.89
	U ₃	1	25	8.33	0.1661	3.19	0.33
		2	25	8.33	0.1688	3.25	0.62
		3	25	8.33	0.1685	3.24	0.13
Incomáti	I ₁	1	25	8.33	0.1823	3.53	0.72
		2	25	8.33	0.1776	3.43	0.99
		3	25	8.33	0.1846	3.57	0.51
	I ₂	1	25	8.33	0.1358	2.56	0.39
		2	25	8.33	0.1463	2.78	0.92
		3	25	8.33	0.1414	2.67	0.85
	I ₃	1	25	8.33	0.1336	2.51	1.01
		2	25	8.33	0.1454	2.76	0.56
		3	25	8.33	0.1379	2.60	0.65

Anexo 6: Curvas de calibração de Mg e resultados de leituras de padrões e amostras

A tabela h-1 mostra as concentrações dos padrões de Mg e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD e a figura B mostra a curva de calibração de Mg.

Tabela h-1: concentrações dos padrões de Mg e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD

Soluções	Conc. (mg/L)	Abs.*	% RSD
Branco	0.00	0.0322	2.64
Padrão 1	0.50	0.3085	0.32
Padrão 2	1.00	0.5200	0.05
Padrão 3	1.50	0.7274	0.18
Padrão 4	2.00	0.8978	0.25
Padrão 5	2.50	1.0390	0.37

* Valores médios de duas leituras

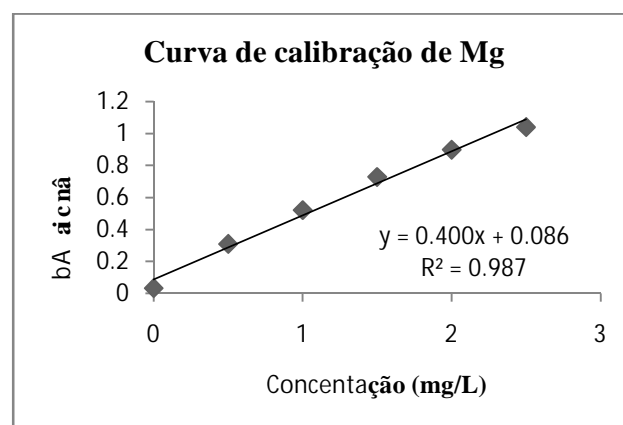


Figura B: Curva de calibração de Mg

A tabela h-2 mostra as concentrações e absorvâncias lidas de Mg nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d .

Tabela h-2: Concentrações e absorvâncias lidas de Mg nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d

Rio	Amostra	Réplicas	Volume final (mL)	f_d	Absorvância	Conc. lida $\mu\text{g/mL}$	%RSD
Umbelúzi	U ₁	1	25	8.33	0.2141	2.91	0.03
		2	25	8.33	0.2139	3.02	0.11
		3	25	8.33	0.2139	3.02	0.29
	U ₂	1	25	8.33	0.2036	2.21	3.18
		2	25	8.33	0.2041	2.25	0.61
		3	25	8.33	0.2056	2.16	0.36
	U ₃	1	25	8.33	0.1661	2.23	0.20
		2	25	8.33	0.1688	2.22	0.31
		3	25	8.33	0.1685	2.22	0.39
Incomáti	I ₁	1	25	8.33	0.1823	1.47	0.16
		2	25	8.33	0.1776	1.45	0.34
		3	25	8.33	0.1846	1.49	0.42
	I ₂	1	25	8.33	0.1358	1.50	0.01
		2	25	8.33	0.1462	1.52	0.32
		3	25	8.33	0.1414	1.49	0.30
	I ₃	1	25	8.33	0.1336	2.47	0.19
		2	25	8.33	0.1454	2.53	0.02
		3	25	8.33	0.1379	2.54	0.75

Anexo 7: Curvas de calibração de Fe e resultados de leituras de padrões e amostras

A tabela i-1 mostra as concentrações dos padrões de Fe e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD e a figura C mostra a curva de calibração de Fe.

Tabela i-1: Concentrações dos padrões de Fe e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD

Soluções	Conc. (mg/L)	Abs.*	% RSD
Branco	0.00	0.0000	0.00
Padrão 1	0.50	0.0200	7.41
Padrão 2	1.00	0.0412	3.60
Padrão 3	1.50	0.0587	1.93
Padrão 4	2.00	0.0760	0.09
Padrão 5	2.50	0.0958	0.22

* Valores médios de duas leituras

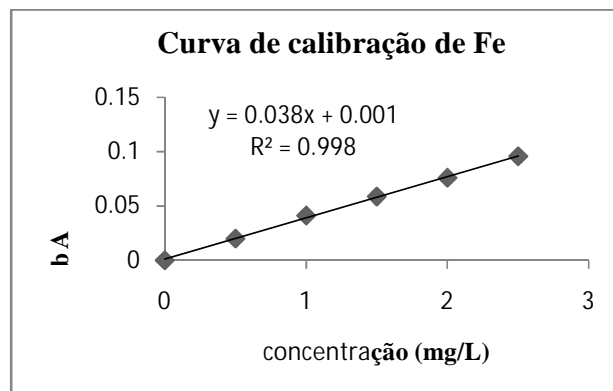


Figura C: Curva de calibração de Fe

A tabela i-2 mostra as concentrações e absorvâncias lidas de Fe nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d .

Tabela i-2: Concentrações e absorvâncias lidas de Fe nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d

Rio	Amostra	Replicas	Volume final (mL)	f_d	Absorvância	Conc. lida $\mu\text{g/mL}$	%RSD
Umbelúzi	U ₁	1	50	1.01	0.0096	0.23	12.26
		2	50	1.01	0.0111	0.27	2.09
		3	50	1.01	0.0107	0.26	0.00
	U ₂	1	50	1.01	0.0111	0.27	3.45
		2	50	1.01	0.0106	0.25	10.16
		3	50	1.01	0.0119	0.29	6.43
	U ₃	1	50	1.01	0.0079	0.18	2.15
		2	50	1.01	0.0076	0.17	9.72
		3	50	1.01	0.0084	0.19	0.95
Incomáti	I ₁	1	50	1.01	0.0343	0.88	2.53
		2	50	1.01	0.0340	0.87	3.41
		3	50	1.01	0.0348	0.89	0.40
	I ₂	1	50	1.01	0.0349	0.89	4.05
		2	50	1.01	0.0358	0.92	2.42
		3	50	1.01	0.0358	0.92	1.01
	I ₃	1	50	1.01	0.0826	2.15	5.74
		2	50	1.01	0.0834	2.17	1.19
		3	50	1.01	0.0827	2.15	0.08

Anexo 8: Curvas de calibração de Zn e resultados de leituras de padrões e amostras

A tabela j-1 mostra as concentrações dos padrões de Zn e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD e a figura D mostra a curva de calibração de Zn.

Tabela j-1: Concentrações dos padrões de Zn e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD

Soluções	Conc. (mg/L)	Abs.*	% RSD
Branco	0.00	0.0000	0.00
Padrão 1	0.10	0.0313	3.16
Padrão 2	0.20	0.0594	1.55
Padrão 3	0.30	0.0865	1.47
Padrão 4	0.40	0.1116	0.76
Padrão 5	0.50	0.1400	0.51

* Valores médios de duas leituras

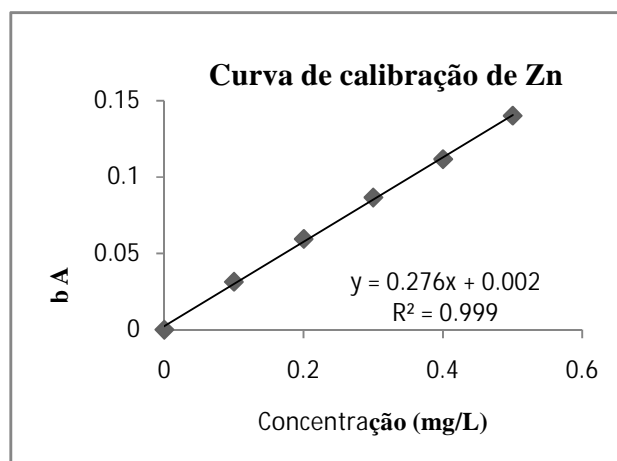


Figura D: Curva de calibração de Zn

A tabela j-2 mostra as concentrações e absorvâncias lidas de Zn nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d .

Tabela j-2: Concentrações e absorvâncias lidas de Zn nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d

Rio	Amostra	Réplicas	Volume final (mL)	f_d	Absorvância	Conc. lida $\mu\text{g/mL}$	%RSD
Umbelúzi	U ₁	1	50	1.01	0.0097	0.02 ₈	4.60
		2	50	1.01	0.0094	0.02 ₇	5.66
		3	50	1.01	0.0097	0.02 ₈	4.34
	U ₂	1	50	1.01	0.0099	0.02 ₉	8.71
		2	50	1.01	0.0098	0.02 ₈	8.74
		3	50	1.01	0.0103	0.03	1.74
	U ₃	1	50	1.01	0.0099	0.02 ₉	1.96
		2	50	1.01	0.0103	0.03	5.93
		3	50	1.01	0.0096	0.02 ₈	1.84
Incomáti	I ₁	1	50	1.01	0.0080	0.02 ₂	2.35
		2	50	1.01	0.0099	0.02 ₉	6.59
		3	50	1.01	0.0085	0.02 ₄	4.75
	I ₂	1	50	1.01	0.0100	0.02 ₉	0.79
		2	50	1.01	0.0099	0.02 ₉	5.24
		3	50	1.01	0.0098	0.02 ₈	5.51
	I ₃	1	50	1.01	0.0092	0.02 ₆	6.93
		2	50	1.01	0.0085	0.02 ₄	6.19
		3	50	1.01	0.0097	0.02 ₈	6.36

Anexo 9: Curvas de calibração de Cu e resultados de leituras de padrões e amostras

A tabela k-1 mostra as concentrações dos padrões de Cu e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD e a figura E mostra a curva de calibração de Cu.

Tabela k-1: Concentrações dos padrões de Cu e as absorvâncias lidas com os respectivos %RSD

Soluções	Conc. (mg/L)	Abs.*	% RSD
Branco	0.00	0.0015	18.86
Padrão 1	1.00	0.0463	1.83
Padrão 2	2.00	0.0892	0.24
Padrão 3	3.00	0.1325	0.21
Padrão 4	4.00	0.1736	0.36

* Valores médios de duas leituras

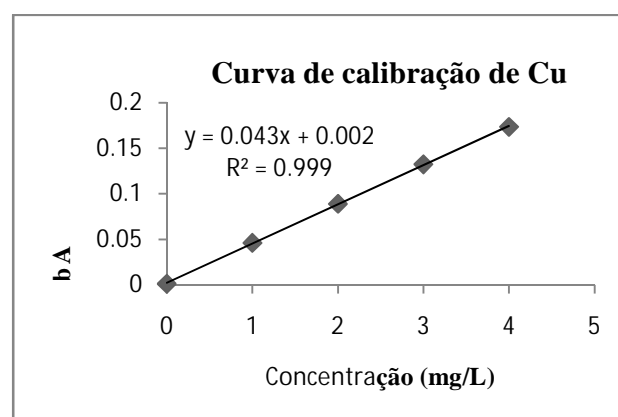


Figura E: Curva de calibração de Cu

A tabela k-2 mostra as concentrações e absorvâncias lidas de Cu nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d .

Tabela k-2: Concentrações e absorvâncias lidas de Cu nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d

Rio	Amostra	Réplicas	Volume final (mL)	f_d	Absorvância	Conc. lida $\mu\text{g/mL}$	%RSD
Umbelúzi	U ₁	1	50	1.01	0.0029	0.02 ₃	5.43
		2	50	1.01	0.0029	0.02 ₃	7.44
		3	50	1.01	0.0029	0.02 ₁	6.59
	U ₂	1	50	1.01	0.0043	0.05	5.99
		2	50	1.01	0.0043	0.05	4.56
		3	50	1.01	0.0044	0.06	8.29
	U ₃	1	50	1.01	0.0051	0.07 ₃	6.33
		2	50	1.01	0.0052	0.07 ₄	6.49
		3	50	1.01	0.0052	0.07 ₄	5.71
Incomáti	I ₁	1	50	1.01	0.0029	0.02 ₁	9.50
		2	50	1.01	0.0027	0.01	4.37
		3	50	1.01	0.0029	0.02 ₁	2.86
	I ₂	1	50	1.01	0.0042	0.05 ₁	2.44
		2	50	1.01	0.0042	0.05 ₀	3.47
		3	50	1.01	0.0042	0.05 ₁	2.35
	I ₃	1	50	1.01	0.0060	0.09 ₄	2.96
		2	50	1.01	0.0062	0.09 ₆	3.38
		3	50	1.01	0.0063	0.09 ₉	4.47

Anexo 10: Curvas de calibração de Na e resultados de leituras de padrões e amostras

A tabela I-1 mostra as concentrações dos padrões de Na e as intensidades de emissão lidas com os respectivos %RSD e a figura F mostra a curva de calibração de Na.

Tabela I-1: Concentrações dos padrões de Na e as intensidades de emissão lidas com os respectivos %RSD

Soluções	Conc. (mg/L)	Intensidade de emissão
Branco	0.00	0.00
Padrão 1	5.00	6.00
Padrão 2	10.0	13.0
Padrão 3	15.0	15.0
Padrão 4	20.0	23.0
Padrão 5	25.0	25.0

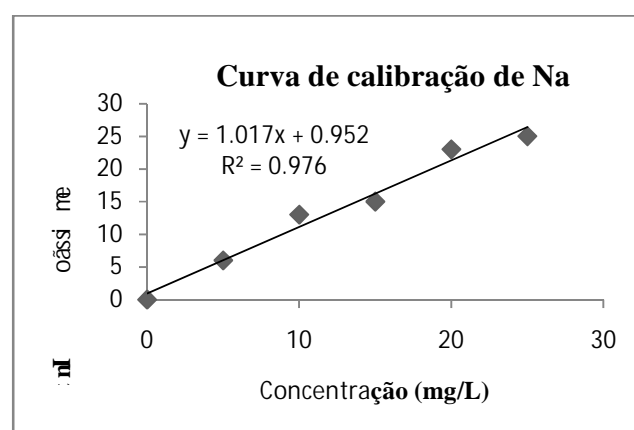


Figura F: Curva de calibração de Na

A tabela I-2 mostra as concentrações e intensidades de emissão lidas de Na nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d .

Tabela I-2: Concentrações e intensidades de emissão lidas de Na nas amostras e o f_d

Rio	Amostra	Réplicas	Volume final (mL)	f_d	Intensidade lida	Conc. µg/mL
Umbelúzi	U ₁	1	50	5	13	11.8
		2	50	5	11	9.88
		3	50	5	12	10.9
	U ₂	1	50	5	14	12.8
		2	50	5	14	12.8
		3	50	5	13	11.8
	U ₃	1	50	5	10	8.89
		2	50	5	11	9.88
		3	50	5	11	9.88
Incomáti	I ₁	1	50	5	11	9.88
		2	50	5	10	8.89
		3	50	5	10	8.89
	I ₂	1	50	5	8	6.93
		2	50	5	9	7.91
		3	50	5	9	7.91
	I ₃	1	50	5	10	8.89
		2	50	5	9	7.91
		3	50	5	10	8.89

Anexo 11: Curvas de calibração de K e resultados de leituras de padrões e amostras

A tabela m-1 mostra as concentrações dos padrões de K e as intensidades de emissão lidas com os respectivos %RSD e a figura G mostra a curva de calibração de K.

Tabela m-1: Concentrações dos padrões de K e as intensidades de emissão lidas com os respectivos %RSD

Soluções	Conc. (mg/L)	Intensidade de emissão
Branco	0.00	0.00
Padrão 1	5.00	17.0
Padrão 2	10.0	32.0
Padrão 3	15.0	46.0
Padrão 4	20.0	60.0
Padrão 5	25.0	70.0

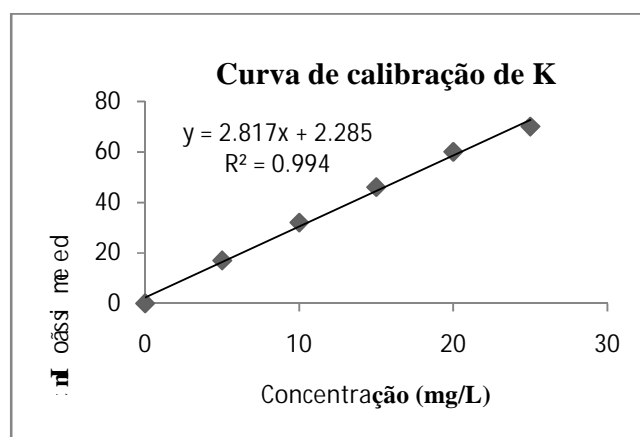


Figura G: Curva de calibração de K

A tabela m-2 mostra as concentrações e intensidades de emissão lidas de K nas amostras com os respectivos %RSD e o f_d .

Tabela m-2: Concentrações e intensidades de emissão lidas de K nas amostras e o f_d

Rio	Amostra	Réplicas	Volume final (mL)	f_d	Intensidade lida	Conc. $\mu\text{g/mL}$
Umbelúzi	U ₁	1	25	2.5	4	0.61
		2	25	2.5	4	0.61
		3	25	2.5	5	0.96
	U ₂	1	25	2.5	4	0.61
		2	25	2.5	4	0.61
		3	25	2.5	4	0.61
	U ₃	1	25	2.5	5	0.96
		2	25	2.5	4	0.61
		3	25	2.5	4	0.61
Incomáti	I ₁	1	25	2.5	3	0.25
		2	25	2.5	3	0.25
		3	25	2.5	3	0.25
	I ₂	1	25	2.5	3	0.25
		2	25	2.5	3	0.25
		3	25	2.5	3	0.25
	I ₃	1	25	2.5	3	0.25
		2	25	2.5	3	0.25
		3	25	2.5	3	0.25

