



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
Departamento de Geologia

**ANÁLISE DE VULNERABILIDADE E DELINEAÇÃO  
DAS ÁREAS DE PROTECÇÃO DOS AQUÍFEROS DE  
NHARTANDA E DE MATUNDO**  
-Cidade de Tete, Moçambique

**Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e  
Geohidrologia**

Por:  
**Egídio Lucas Govate**



**ANÁLISE DE VULNERABILIDADE E DELINEAÇÃO  
DAS ÁREAS DE PROTECÇÃO DOS AQUÍFEROS DE  
NHARTANDA E DE MATUNDO**

- Cidade de Tete, Moçambique -

Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos –  
Geohidrologia

Por:  
**Egídio Lucas Govate**

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Recursos Hídricos e  
Geohidrologia da Universidade Eduardo  
Mondlane como requisito para obtenção  
do Título de Mestre em Gestão de  
Recursos Hídricos.

Supervisão:  
**Professor Dr. Elónio Muiuane (UEM)**

Co- supervisão:  
**Dr. Humberto Saeze (Consultor)**



## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Declaro por minha honra que este trabalho de dissertação de Mestrado nunca foi apresentado, na sua essência, para a obtenção de qualquer grau e que ele constitui o resultado da minha investigação pessoal, estando no texto e na bibliografia as fontes utilizadas.

Assinatura

---

Junho 2024

## **Dedicatória**

*Ao meu ante querido pai **Lucas Govate**, que  
em vida deu tudo de bom e todo o apoio  
para a minha escolarização.*

*Aos meus antes queridos irmãos **Francisco,**  
**Eugénio, Orlando, Idalina e Ana Maria**  
(**Joaquina**) por tudo que representaram na  
minha vida*



## Agradecimentos

Ao Dr. *Elónio Muiuane* (UEM/ Departamento de Geologia) e Dr. *Humberto Saeze* (Consultor da área de Recursos Hídricos) por terem supervisionado este trabalho com toda paciência, compreensão e dedicação.

Aos meus queridos pais *Lucas Govate* e *Patrícia Semo* por me terem trazido ao mundo e pela educação que me deram desde pequeno.

À minha esposa *Sandra M. Moiana* e as minhas queridas filhas *Mayra Patrícia Govate (Nassuluma)* e *Elícia Adélia Govate* pelo companheirismo em todos os momentos dos quais precisei.

Agradecimentos muito especiais vão para os meus irmãos *Otília, Severino, Inês, e Hemitério* pelo apoio material e moral durante a minha formação.

Igualmente, reconheço a colaboração de instituições e pessoas, que contribuíram de uma maneira muito especial, as quais passo a agradecer-las abaixo:

Aos Senhores Dr *Lucas Chairuca* (DNA), *Francisco Macarringue* (ARA-Zambeze) e Professor Dr *Elídio Muassuanganhe* (UEM) pelo empenho e dedicação que demonstraram na elaboração do trabalho.

Aos colegas funcionários do Departamento de Gestão de Recursos Hídricos (DGRH)/ DNA e Administração Regional de Águas do Zambeze (ARA-Zambeze) pela interacção, colaboração na disponibilização de informação e dados usados para presente estudo.

Agradecimentos vão também para todos os meus colegas e amigos, em particular o dr. *Pedro Roberto Timba*, dr. *João da Costa Neto*, Dr. *Agostinho Vilanculos*, Professor Dr *Elídio A. Massuanganhe*, que colaboraram e ajudaram durante o curso.

Agradeço a todos que directa ou indirectamente ofereceram qualquer tipo de contribuição para a realização do presente trabalho.

À *Carnegie – RISE* (Iniciativa Regional em Ciências e Educação) na Área de Recursos Hídricos da África Austral, o meu muito obrigado pelo financiamento do projecto.



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>AdeM</b>	Águas de Moçambique;
<b>ARA</b>	Administração Regional de Águas;
<b>BdD</b>	Banco de Dados;
<b>CE</b>	Condutividade Eléctrica;
<b>DAR</b>	Departamento de Água Rural;
<b>DGRH</b>	Departamento de Gestão de Recursos Hídricos;
<b>DNA</b>	Direcção Nacional de Águas;
<b>DNG</b>	Direcção Nacional de Geologia;
<b>DPOPH</b>	Direcção Provincial de Obras Publicas e Habitação;
<b>FIPAG</b>	Fundo de Investimento e Património de Água;
<b>GOD</b>	( <i>G</i> ) Grau de confinamento de água subterrânea, ( <i>O</i> ) Ocorrência de extratos de cobertura, ( <i>D</i> ) Distancia até o lençol freático ou tecto do aquífero confinado;
<b>GIS</b>	<i>Geographic Information System</i> – (Sistema de Informação Geográfica);
<b>GW•MATE</b>	<i>Groundwater Management Advisory Team</i> - (Equipa de Aconselhamento em Gestão de Águas Subterrâneas do Banco Mundial);
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estatística;
<b>LNHAA</b>	Laboratório Nacional de Higiene, Alimentos e Águas;
<b>MISAU</b>	Ministério de Saúde;
<b>MOPH</b>	Ministério das Obras Públicas e Habitação;
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde;
<b>PA</b>	Política de Águas;
<b>SADC</b>	<i>Southern African Development Community</i> - (Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral);
<b>UEM</b>	Universidade Eduardo Mondlane.

## UNIDADES

<b>°C</b>	Graus centígrados
<b>ha</b>	Hectare
<b>km<sup>2</sup></b>	Quilómetro quadrado
<b>l/d</b>	Litro por dia
<b>l/d/hab</b>	Litro por dia por habitante
<b>m</b>	Metro
<b>m/dia</b>	Metro por dia
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metro cúbicos por hora
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metro cúbicos por segundo
<b>mg/kg</b>	Miligrama por quilograma
<b>mg/l</b>	Miligrama por litro
<b>mm/a</b>	Milímetro por ano
<b>µS/cm</b>	microSiemen por centímetro

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

### Figuras

<b>Figura 1-1:</b> Fluxograma metodológico-resumo .....	1-8
<b>Figura 2-1:</b> Desenvolvimento sustentável de águas subterrâneas .....	2-13
<b>Figura 3-1:</b> Localização da área e estudo.....	3-25
<b>Figura 3-2:</b> Localização do vale de Nhartanda e Matundo .....	3-26
<b>Figura 3-3:</b> Precipitação média mensal, 2000- 2009.....	3-28
<b>Figura 3-4:</b> Hidrografia da área de estudo .....	3-29
<b>Figura 3-5:</b> Caudais médios dos rios Révubuè (E-302) e Zambeze (E-320).....	3-29
<b>Figura 3-6:</b> Distribuição da população segundo a idade .....	3-30
<b>Figura 3-7:</b> Mapa geológico da área de estudo .....	3-35
<b>Figura 4-1:</b> Fluxograma para avaliação de vulnerabilidade do aquífero à contaminação .....	4-48
<b>Figura 4-2:</b> Exemplo de aplicação do método de GOD .....	4-50
<b>Figura 4-3:</b> Produção de mapa de vulnerabilidade usando o sistema GOD .....	4-51
<b>Figura 4-4:</b> Perfil vertical (zona de captação e zona de influência) .....	4-57
<b>Figura 4-5:</b> Vista em planta (zona de captação e zona de influência).....	4-57
<b>Figura 4-6:</b> Zonas de captação e perímetros do tempo de trânsito .....	4-59
<b>Figura 5-1:</b> Distribuição espacial de furos no distrito de Tete .....	5-61
<b>Figura 5-2:</b> Sistema de abastecimento de água à cidade de Tete .....	5-63
<b>Figura 5-3:</b> Campo de furos de Matundo, .....	5-64
<b>Figura 5-4:</b> Sistema de abastecimento de água- M'paduè.....	5-65
<b>Figura 5-5:</b> Vale de Nhartanda.....	5-66
<b>Figura 5-6:</b> Estratificação arenítica, área de Matundo .....	5-67
<b>Figura 5-7:</b> Área de captação de Matundo.....	5-68
<b>Figura 5-8:</b> Corte geológico 'A-A', área de Matundo.....	5-70
<b>Figura 5-9:</b> Extensão da faixa aluvial em Matundo .....	5-71
<b>Figura 5-10:</b> Extracto da carta hidrogeológica da área de estudo .....	5-73
<b>Figura 5-11:</b> Níveis dinâmicos e estáticos médios mensais em 2007, Nhartanda .....	5-76
<b>Figura 5-12:</b> Localização de fontes no campo de furos de Nhartanda .....	5-78
<b>Figura 5-13:</b> Esquema hidrogeológico simplificado, área de Matundo .....	5-80
<b>Figura 5-14:</b> Níveis dinâmicos e estáticos médios mensais em 2007 (Matundo) .....	5-80
<b>Figura 5-15:</b> Medição do nível de água num furo, área de Matundo .....	5-81
<b>Figura 5-16:</b> Localização de fontes na área de Matundo-Matema .....	5-83
<b>Figura 5-17:</b> Mapa de localização amostragens de testes de infiltração .....	5-86
<b>Figura 5-18:</b> Isolinhas de níveis hidrostáticos.....	5-91
<b>Figura 5-19:</b> Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação da área de estudo .....	5-94
<b>Figura 5-20:</b> Vista a jusante do vale de Nhartanda ( <i>Agosto 2010</i> ).....	5-96
<b>Figura 5-21:</b> Vista parcial do vale de Nhartanda .....	5-96
<b>Figura 5-22:</b> Actividade agrícola ao longo do Vale de Nhartanda.....	5-98
<b>Figura 5-23:</b> Remoção de camada de argila, vale do Nhartanda.....	5-99
<b>Figura 5-24:</b> Disposição do lixo nas proximidades do vale .....	5-99
<b>Figura 5-25:</b> Mercado Kwachena- Nhartanda.....	5-100
<b>Figura 5-26:</b> Futuras áreas para construções domiciliárias .....	5-101
<b>Figura 5-27:</b> Ilustração de furos com protecção deficiente, Nhartanda e Matundo.....	5-102
<b>Figura 5-28:</b> Variação média de CE, vale de Nhartanda e Matundo (1990-1999).....	5-108
<b>Figura 5-29:</b> Variação média de CE, vale de Nhartanda e Matundo (2000-2010).....	5-108
<b>Figura 5-30:</b> Variação média de pH no vale de Nhartanda e Matundo (1990-1999).....	5-110
<b>Figura 5-31:</b> Variação média de pH no vale de Nhartanda e Matundo (2000-2010).....	5-111
<b>Figura 5-32:</b> Variação de Fe, vale de Nhartanda (1990-1999).....	5-112
<b>Figura 5-33:</b> Fluxo de água no Vale de Nhartanda .....	5-118
<b>Figura 5-34:</b> Perfil do corte transversal A-A' .....	5-120
<b>Figura 5-35:</b> Fluxo de água na área de Matundo.....	5-122
<b>Figura 5-36:</b> Consumo médio de água no aquífero de Nhartanda (2009) .....	5-128
<b>Figura 5-37:</b> Consumo médio de água no aquífero de Matundo (2009) .....	5-128
<b>Figura 5-38:</b> Consumo médio de água no aquífero de Nhartanda (2010) .....	5-129
<b>Figura 5-39:</b> Consumo médio de água no aquífero de Matundo (2010) .....	5-129

## **Tabelas**

<b>Tabela 2-1:</b> Definição das classes de vulnerabilidade dos Aquíferos.....	2-22
<b>Tabela 2-2:</b> Factores que influênciam o grau de vulnerabilidade natural.....	2-23
<b>Tabela 4-1:</b> Intervalos de vulnerabilidade da metodologia de GOD.....	4-49
<b>Tabela 5-1:</b> Resumo litológico do aquífero, vale de Nhartanda.....	5-76
<b>Tabela 5-2:</b> Dados de furos na captação vale de Nhartanda.....	5-77
<b>Tabela 5-3:</b> Dados de furos na captação de Matundo.....	5-82
<b>Tabela 5-4:</b> Quadro- resumo de teste de infiltração.....	5-84
<b>Tabela 5-5:</b> Dados químicos da água.....	5-104
<b>Tabela 5-6:</b> Parâmetros microbiológicos.....	5-105
<b>Tabela 5-7:</b> Classificação da dureza da água.....	5-113
<b>Tabela 5-8:</b> Dados químicos de água, vale de Nhartanda.....	5-113
<b>Tabela 5-9:</b> Projecção da população e demanda de água.....	5-129

## RESUMO

### ANÁLISE DE VULNERABILIDADE E DELINEAÇÃO DA ÁREA DE PROTECÇÃO DO AQUIFERO DE NHARTANDA E MATUNDO (Cidade de Tete - Moçambique)

E. Govate<sup>a\*</sup>, E. Muiwane<sup>a</sup>, H. Saeze<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Departamento de Geologia, Universidade Eduardo Mondlane, C.P. nr 257, Av. Moçambique Km 1.5; Maputo Moçambique: Email: [egovate@gmail.com](mailto:egovate@gmail.com)*

<sup>b</sup>*Consultor Independente, Maputo, Moçambique, [hsaeze@gmail.com](mailto:hsaeze@gmail.com).*

*\*Autor correspondente, email: [egovate@gmail.com](mailto:egovate@gmail.com)*

A cidade de Tete, embora atravessada pelo rio Zambeze, o qual é o maior a nível da região da SADC, a água para o uso doméstico, é feita basicamente com recursos a água subterrânea. Localmente, há ocorrência de 2 aquíferos aluvionares bastante produtivos, com caudais acima de 150m<sup>3</sup>/h e 90m<sup>3</sup>/h ao longo do vale de Nhartanda e área de Matundo respectivamente. Contudo, em decorrência de actividade humana ao longo das áreas de recarga, projecções indicam que a qualidade de água está sob risco cada vez maior de contaminação. O problema da degradação de água provém de várias fontes, dentre as quais pode-se destacar o uso de agro-químicos como pesticidas e fertilizantes na actividade agrícola, a remoção da camada superficial protectora (argilosa), bem como, a poluição através de fossas sépticas e resíduos sólidos mal depositados. O objectivo do estudo é classificar a vulnerabilidade e identificação de focos de contaminação do aquífero do vale de Nhartanda e a área da Matundo, onde estão instalados os furos de captação.

Foi desenvolvida uma Base de Dados (BdD) constituída por 94 furos. Foram desenhadas linhas equipotencias isopiezométricas indicando o fluxo de águas subterrâneas, nível de água, bem como, mapas de distribuição espacial de STD, CE. Análise de vulnerabilidade foi determinada com base no método de GOD (Foster *et al*, 2006), o qual consiste na avaliação de ocorrência da água subterrânea segundo o grau de confinamento hidráulico, o tipo do material ocorrente nas camadas sobrejacentes ao topo do aquífero e a profundidade entre a camada da superfície do terreno e o topo do aquífero no ponto. A metodologia usa vários índices para classificar o aquífero. O resultado final é obtido a partir da multiplicação dos índices, o qual é usado para a elaboração de um mapa que indica a distribuição espacial da vulnerabilidade ao longo da área. Embora os resultados, em termos percentuais indiquem que a área maioritariamente apresenta vulnerabilidade de contaminação entre baixa (79%) a moderada (21%), o sistema hidrogeológico tem estado cada vez mais vulnerável à contaminação, necessitando de protecção e monitoramento de águas subterrâneas.

Em Moçambique o Decreto-Lei nº 16/91 (Lei de Águas) define as Normas e os Critérios para a delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público”. De acordo com esta Lei, o perímetro de protecção é a área contígua à captação na qual se interditam ou condicionam o desenvolvimento de actividades susceptíveis de poluírem as águas.

**Palavras-chave:** Aquífero aluvionar, contaminação, vulnerabilidade, sistema hidrogeológico, protecção, método de GOD.

## ABSTRACT

### VULNERABILITY ANALYSIS AND DESIGN OF PROTECTION ZONE OF NHARTANDA AND MATUNDO AQUIFER (Tete City - Mozambique)

E. Govate<sup>a\*</sup>, E. Muiuane<sup>b</sup>, H. Saeze<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Eduardo Mondlane University, Faculty of Science, Department of Geology, P.O. Box 257, Av. Mozambique Km 1.5; Maputo Mozambique*

<sup>b</sup>*Consultant, Maputo, Mozambique, hsaetze@gmail.com*

\**Corresponding author, email: [egovate@gmail.com](mailto:egovate@gmail.com)*

Tete city although is crossed by Zambezi River, which is the largest of the SADC region, water supply for domestic use including human consumption is done exclusively by groundwater. There is occurrence of 2 very productive alluvial aquifers, with over 150m<sup>3</sup>/h and 90m<sup>3</sup>/h of yield in Nhartanda and Matundo valleys respectively. However, predictions of the safe groundwater quality cannot be made due to uncontrolled development of unfriendly land- use practices in the vicinity of the recharge area. The problem came from several reasons, which can be mentioned among development of agriculture using agro-chemicals such as pesticides and fertilizers, removal of the upper protecting layer (clay material), as well as the lack of sewage treatment facilities and/or appropriate basic sanitation. The main object of this research is to classify the groundwater vulnerability identification of main contamination focus in Nhartanda and Matundo area, where water supply schemes were installed.

A database on 94 hydrogeological captures was developed. The potentiometric isolines indicating groundwater flow, water level as well as TDS, EC were spacialized as thematic maps. Vulnerability analysis was done based the GOD method (Foster *et al*, 2006) which consists in the analysis of the groundwater presence, the overall geological stratification of aquifer and the depth of water. The methodology uses several indexes to classify the aquifer. The final result is obtained by the multiplication of the indexes and they can be used to generate a map that indicates the distribution vulnerability levels of the aquifer. Although the results, in percentile terms, indicate that the area presents predominant vulnerability to contamination between low (79%) to moderate (21%), hydrogeological system is becoming more vulnerable, suggesting the need for development and implementation of groundwater protection zoning and monitoring.

In Mozambique, the standards and criteria used for delimiting the protection perimeters of underground water exploitation for human use, is determined by the Law n°16/91, dated 3 August- Water Law. According to this Law, the protection perimeter is defined as a contiguous area to the exploitation, in which development of activities that are susceptible of polluting the underground water are conditioned or forbidden.

**Key words:** Alluvial aquifer, Contamination, Groundwater vulnerability, hydrogeological system, protection, GOD method,

# ÍNDICE

Conteúdo	Nº Pág
DECLARAÇÃO DE HONRA .....	i
DEDICATÓRIA .....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E UNIDADES .....	iv
LISTA DE FIGURAS E TABELAS.....	v
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
<b>1. CAPÍTULO I: ASPECTOS INTRODUTÓRIOS.....</b>	<b>1-1</b>
<b>1.1 Introdução.....</b>	<b>1-1</b>
<b>1.2 Problema de Estudo e Justificação .....</b>	<b>1-2</b>
<b>1.3 Objectivos do Estudo .....</b>	<b>1-6</b>
<i>1.3.1 Objectivo Geral.....</i>	<i>1-6</i>
<i>1.3.2 Objectivos Específicos.....</i>	<i>1-6</i>
<b>1.4 Questões-chave da Pesquisa .....</b>	<b>1-7</b>
<b>1.5 Actividades Realizadas .....</b>	<b>1-7</b>
<b>1.6 Sumário dos Resultados do Estudo.....</b>	<b>1-8</b>
<b>1.7 Organização do Relatório.....</b>	<b>1-9</b>
<b>2. CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>2-11</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>2-11</b>
<b>2.2 Recursos Hídricos Subterrâneos .....</b>	<b>2-11</b>
<b>2.3 Vulnerabilidade e Evolução do seu Conceito .....</b>	<b>2-17</b>
<i>2.3.1 Métodos para Determinação de Vulnerabilidade .....</i>	<i>2-19</i>
<i>2.3.2 Aplicação do Índice de Vulnerabilidade GOD.....</i>	<i>2-22</i>
<b>2.4 Delineação da Área de Protecção das Fontes de Captação .....</b>	<b>2-24</b>
<b>3. CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>3-25</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>3-25</b>
<b>3.2 Condições Físicas e Climáticas.....</b>	<b>3-25</b>
<i>3.2.1 Localização e Morfologia .....</i>	<i>3-25</i>
<i>3.2.2 Clima e Drenagem de Água Superficial.....</i>	<i>3-27</i>
<i>3.2.3 Demografia, Vias de Acesso e Comunicação .....</i>	<i>3-30</i>
<i>3.2.4 Vegetação e Uso de Terra.....</i>	<i>3-30</i>
<b>3.3 Geologia.....</b>	<b>3-32</b>
<i>3.3.1 Geologia Regional.....</i>	<i>3-32</i>
<i>3.3.2 Geologia Local.....</i>	<i>3-33</i>
<b>3.4 Potencial Hidrogeológico e Monitoramento de Águas Subterrâneas.....</b>	<b>3-36</b>
<b>3.5 Enquadramento Institucional e Funcional do Sector de Água.....</b>	<b>3-37</b>
<b>4. CAPÍTULO IV: METODOLOGIA E MATERIAIS USADOS.....</b>	<b>4-40</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>4-40</b>
<b>4.2 Pesquisa Bibliográfica.....</b>	<b>4-40</b>
<b>4.3 Trabalho de Campo .....</b>	<b>4-41</b>

<b>4.4</b>	<b>Colheita e Organização de Informação e Dados</b> .....	<b>4-41</b>
<b>4.5</b>	<b>Seleção do Método</b> .....	<b>4-45</b>
4.5.1	<i>Interpolação Espacial</i> .....	4-46
4.5.2	<i>Determinação da Vulnerabilidade Usando o método GOD</i> .....	4-47
4.5.3	<i>Determinação de Características Hidráulicas</i> .....	4-52
4.5.4	<i>Avaliação da Qualidade de Água</i> .....	4-55
4.5.5	<i>Definição de Área de Protecção dos Aquíferos</i> .....	4-56
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>5-60</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>5-60</b>
<b>5.2</b>	<b>Situação Actual de Abastecimento de Água</b> .....	<b>5-60</b>
<b>5.3</b>	<b>Vulnerabilidade de Contaminação dos Aquíferos</b> .....	<b>5-65</b>
5.3.1	<i>Caracterização do Sistema Geológico</i> .....	5-65
5.3.2	<i>Caracterização do Sistema Hidrogeológico</i> .....	5-71
5.3.3	<i>Condições de Recarga dos Aquíferos</i> .....	5-87
5.3.4	<i>Índice de Vulnerabilidade (IV)</i> .....	5-89
5.3.5	<i>Identificação de Possíveis Focos de Contaminação</i> .....	5-95
<b>5.4</b>	<b>Avaliação da Qualidade de Água</b> .....	<b>5-103</b>
5.4.1	<i>Água Superficial do Rio Zambeze e Révubuè</i> .....	5-103
5.4.2	<i>Água do Grés de Karroo</i> .....	5-106
5.4.3	<i>Água dos Aquíferos Aluviais de Nhartanda e Matundo</i> .....	5-107
<b>5.5</b>	<b>Protecção de Águas Subterrâneas</b> .....	<b>5-115</b>
5.5.1	<i>Avaliação do Comportamento Aquífero</i> .....	5-115
5.5.2	<i>Áreas de Protecção do Sistema Hidrogeológico</i> .....	5-116
5.5.3	<i>Zonas de Protecção Legalmente Definidas</i> .....	5-122
5.5.4	<i>Avaliação do Caudal de Exploração e Demanda do Aquífero</i> .....	5-125
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>6-130</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>7-138</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>8-146</b>

# 1. CAPÍTULO I: ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

## 1.1 Introdução

Em Moçambique, para a maioria das populações vivendo em zonas rurais e em aglomerações dispersas, a água subterrânea tem constituído a principal e segura fonte de água para o consumo doméstico. Por outro lado, estudos realizados pela DNA nos anos noventa, constataam um aumento considerável na utilização de água subterrânea também nos centros urbanos, como é ao longo da bacia do Zambeze, particularmente, na cidade de Tete. Este facto poderá estar associado ao aumento populacional que se verifica nos últimos anos a nível da cidade (DNA, 2004).

O presente estudo, analisa o grau de vulnerabilidade das águas subterrâneas na cidade de Tete, nos principais aquíferos ora em exploração nos vales de Nhartanda e Matundo.

A Cidade de Tete está localizada numa zona conhecida pela fraca ocorrência de chuvas. O grande desenvolvimento económico que se verifica na região, impulsionado pela revitalização de actividades industriais nas imediações da cidade, fruto do surgimento das grandes companhias de extracção de minerais (especialmente carvão mineral) faz com que a pressão sobre água aumente.

Este estudo pretende, igualmente, desenvolver subsídios técnicos de suporte para gestão dos recursos hídricos subterrâneos às autoridades locais. Para tal, o objecto principal do estudo é a caracterização do principal sistema hidrogeológico e a avaliação da vulnerabilidade de contaminação dos aquíferos na cidade de Tete e bairros circunvizinhos, uma vez que, nesta área do País, como foi referido anteriormente, verifica-se um aumento significativo de população, o que deve estar relacionado com o aumento de actividades de desenvolvimento sócio-económico que ocorrem na região.

Para o efeito de cálculo e análise de susceptibilidade de contaminação vertical derivada de actividades desenvolvidas na superfície onde ocorre o aquífero em

exploração foi usado o método de GOD. Com este método, foi possível constatar as variações de índices de vulnerabilidades. Este resultado, auxiliado com a disposição topográfica e geomorfológica da região permitiu igualmente delinear zonas de protecção do aquífero.

O presente estudo considera-se relevante uma vez que a água subterrânea na cidade de Tete é a principal fonte de abastecimento para o consumo doméstico. É importante também intensificar os estudos hidrogeológicos, em especial, no que se refere à gestão das águas subterrâneas, tendo em vista a lacuna verificada sobre esta temática nos estudos similares efectuados na área de pesquisa.

## **1.2 Problema de Estudo e Justificação**

A água subterrânea tem um papel fundamental na satisfação das necessidades tanto para o abastecimento doméstico, industrial, agricultura, vida animal, quanto para o comércio e actividades de lazer. Segundo os estudos e projecções feitas por várias organizações quer individuais, na cidade de Tete, os aquíferos<sup>1</sup>, estão sob risco cada vez maior de contaminação em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das actividades agrícolas e da actividade mineira. Para o abastecimento público de água potável, é um pré-requisito que a qualidade da água bruta seja boa e constante, e as reservas de águas subterrâneas protegidas são as que melhor respondem a esse requisito. A utilização de processos de tratamento (além da desinfecção preventiva) para atingir esse objectivo só deve ser considerada em último caso, em virtude de sua complexidade técnica, custo financeiro e pesado encargo operacional.

Assim, a motivação para a realização deste estudo prende-se com o facto de que a cidade de Tete e bairros periféricos, embora seja atravessada pelo rio Zambeze, por sinal o maior na região da África Austral, é basicamente abastecida de água subterrânea. Apontam-se várias vantagens na utilização de águas subterrâneas no local em relação às águas superficiais, dentre as quais destacam-se as seguintes:

---

<sup>1</sup> Formação geológica que permite a circulação da água através dos seus poros ou fracturas, de modo a que o Homem possa aproveitá-la em quantidades economicamente viáveis tendo em conta um determinado uso.

- (i) Ocorrência de aquíferos bastante produtivos, que apresentam caudais acima de 90m<sup>3</sup>/h;
- (ii) Nestes aquíferos em exploração, as águas são naturalmente protegidas e pouco susceptíveis à poluição devido à presença na camada superficial de uma camada pouco permeável, apesar de não estar isenta de contaminação por actividades humanas. Em geral, não precisam de tratamento prévio para o seu consumo, o que, além de ser uma grande vantagem económica, é melhor para a saúde humana;
- (iii) Os impactos ambientais na exploração de águas subterrâneas na área de estudo são significativamente de pequena escala (We Consult, 2003);
- (iv) Foi constatado que a exploração de águas subterrâneas na cidade de Tete permite um planeamento modular na oferta de água à população, isto é, mais furos podem ser abertos à medida que aumente a necessidade, dispensando grandes investimentos de capital de uma única vez (We Consult, 2003).

É notório que as vantagens de uso de águas subterrâneas na cidade de Tete superam as desvantagens. No entanto, isso não implica utilizar a água subterrânea sem considerar certos cuidados, pois, a água, sendo um bem indispensável à vida, reclama um conhecimento, planeamento e gestão que transcende seu mero proveito económico.

Obviamente que, apesar de existirem aquíferos com caudais altos, como é o caso dos aquíferos aluvionares que ocorrem na área de estudo, tudo indica que não será suficiente para abastecer a cidade de Tete, como um grande centro populacional nos próximos anos (INE, 2007). A falta de água poderá fazer-se sentir particularmente nos bairros em expansão localizados em zonas com limitada ocorrência de águas subterrâneas. No entanto, um complemento da água superficial será necessário. A cidade de Tete, com mais de 5,644 de habitantes (INE, 2007), já enfrenta problemas no abastecimento de água e, em consequência, o sector familiar não tem conseguido

facilmente água em qualidade e quantidades suficientes para o consumo e para suprir todas as necessidades básicas.

Por outro lado, o sistema hidrogeológico na região é bastante complexo por causa do carácter heterogéneo das aluviões, nos quais ocorrem os aquíferos produtivos, e.g. área de Matundo. Esta situação por si justifica a necessidade de desenvolvimento de estudos hidrogeológicos nesta área para melhorar o nível de conhecimento do potencial hídrico subterrâneo, o qual auxiliará na gestão e planeamento das águas.

Outro factor que motivou a realização deste trabalho é o facto de existirem alguns sinais de exploração descontrolada e excessiva da água subterrânea nos aquíferos, o que está provavelmente associado ao aumento demográfico verificado nos últimos anos na região, o qual pode colocar em causa a qualidade das águas subterrâneas devido à sua poluição estimulada pelos fluxos verticais e horizontais a partir da superfície da terra.

Igualmente, motivou a realização do presente estudo o facto de o mapa hidrogeológico de Moçambique, publicado em 1987, na escala 1:1000000 (Ferro & Bouman, 1987), o primeiro documento nacional que relata a ocorrência de águas subterrâneas de uma forma extensiva, ser conhecido e considerado como sendo um documento não muito útil. Este documento apenas dá uma visão geral da ocorrência de águas subterrâneas a nível nacional. Muitas vezes dificulta a sua interpretação, quando usado para fins de planeamento e execução de pesquisas e obras de captação de águas subterrâneas. Um dado não favorável à utilização deste mapa é o facto de que, na altura em que o mapa foi elaborado, pouca informação de furos foi encontrada. Desta pouca informação, cerca de 60% pertencia à zona Sul do País, então região que possuía maior volume de informação hidrogeológica a nível nacional.

Em adição às questões acima expostas, os problemas de degradação de qualidade de água estão associados às actividades humanas, como por exemplo o uso de agro-

químicos como pesticidas e fertilizantes durante a actividade agrícola. Esta situação ameaça grandemente a contaminação dos aquíferos localizados a pequenas profundidades. Igualmente, a poluição pode ocorrer através de fossas sépticas e resíduos sólidos (domésticos e industriais) mal depositados em pontos da cidade, onde as características físicas do material subterrâneo aí existente podem, de alguma maneira, apresentar facilidade de infiltração e atingir o lençol freático. A título de exemplo, no período chuvoso verifica-se a degradação da qualidade de água subterrânea devido às condições higiénicas e sanitários existentes ao redor das fontes de captação.

Existe igualmente a necessidade de gestão integrada entre a água superficial e subterrânea na área de estudo. Os estudos hidrogeológicos ora efectuados na área de estudo indicam que a principal fonte de recarga dos aquíferos aluvionares de Nhartanda e Matundo é proveniente dos fluxos horizontais das águas superficiais dos rios Zambeze e Révubuè, respectivamente.

As questões acima indicadas justificam a necessidade da realização da presente pesquisa, considerando que as necessidades de água aumentaram devido ao crescimento populacional da cidade e arredores. Assim, urge a necessidade de tomada de iniciativa e proposta de medidas no sentido de se conservar o potencial hidrogeológico em qualidade e quantidade.

Embora alguns estudos tenham sido e continuem sendo realizados na área de estudo sobre avaliação de águas subterrâneas, poucos foram realizados na área de gestão, uso e protecção de águas subterrâneas. Neste contexto, havendo falta de trabalhos de investigação específicos sobre análise de vulnerabilidade e delimitação das áreas de protecção dos aquíferos de Nhartanda e Matundo (Matema) espera-se que esta contribuição venha melhorar o nível de conhecimento e aproveitamento de águas e dar alguns subsídios na gestão dos recursos hídricos subterrâneos a nível da cidade.

## **1.3 Objectivos do Estudo**

### ***1.3.1 Objectivo Geral***

Contribuir para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Tete e bairros arredores através da análise de vulnerabilidade e delimitação da área de protecção dos aquíferos aluvionares do Vale de Nhartanda e Mutundo.

### ***1.3.2 Objectivos Específicos***

Constituem objectivos os seguintes:

- (i) Descrever o sistema geológico e o seu potencial em ocorrência de águas subterrâneas, incluindo a análise da qualidade de água dos aquíferos localizados no vale de Nhartanda e Matundo;
- (ii) Identificar as principais actividades humanas desenvolvidas no local que podem ameaçar a qualidade de água subterrânea e delinear zonas de protecção do aquífero de Nhartanda e Matundo;
- (iii) Determinar índices de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos de Nhartanda e Matundo.

Um dos objectivos não menos importante deste projecto é despertar atenção do perigo de contaminação existente e contribuir para uma correcta implementação de programas de monitoramento de águas subterrâneas na região, de maneira a que nessa zona se pratique actividades sócio-económicas, de forma sustentável e ambientalmente aceitável. É importante enfatizar que os mapas de vulnerabilidade de aquífero à contaminação elaborados podem auxiliar no fornecimento de uma estrutura geral na qual se possam sustentar as políticas de protecção da água subterrânea. Esta informação pode igualmente fornecer uma primeira indicação geral do risco de contaminação da água subterrânea. Assim, as autoridades ligadas à gestão de recursos hídricos quer a nível central quer local, incluindo profissionais de regulamentação, planeamento e desenvolvimento territorial e ambiental, em especial, da cidade de Tete, podem estar informadas e munidas de propostas de

desenvolvimento e prioridades no controle da contaminação e no monitoramento da qualidade da água subterrânea.

#### **1.4 Questões-chave da Pesquisa**

As questões apresentadas abaixo são consideradas fundamentais no objecto do presente estudo:

- (i) Por que a água subterrânea é importante para o abastecimento à cidade de Tete?
- (ii) Por que é que os aquíferos aluvionares localizados nos vales de Nhartanda e Matundo necessitam de protecção?
- (iii) Qual é a relação entre a água subterrânea e superficial na área de estudo?
- (iv) Por que é necessário um monitoramento e/ou gestão de águas subterrâneas na cidade de Tete?
- (v) Quais são as principais actividades desenvolvidas na cidade de Tete que podem ameaçar a qualidade de água subterrânea?

#### **1.5 Actividades Realizadas**

A realização do presente estudo compreendeu as seguintes fases:

- (i) Levantamento de dados e informações actualizadas relativas ao objecto;
- (ii) Avaliação e discussão preliminar da informação;
- (iii) Processamento e análise dos resultados e conclusões; e, finalmente,
- (iv) Elaboração de recomendações sobre a protecção e gestão das águas subterrâneas.

O processo sumarizado está representado no fluxograma metodológico esquematizado na figura 1-1.

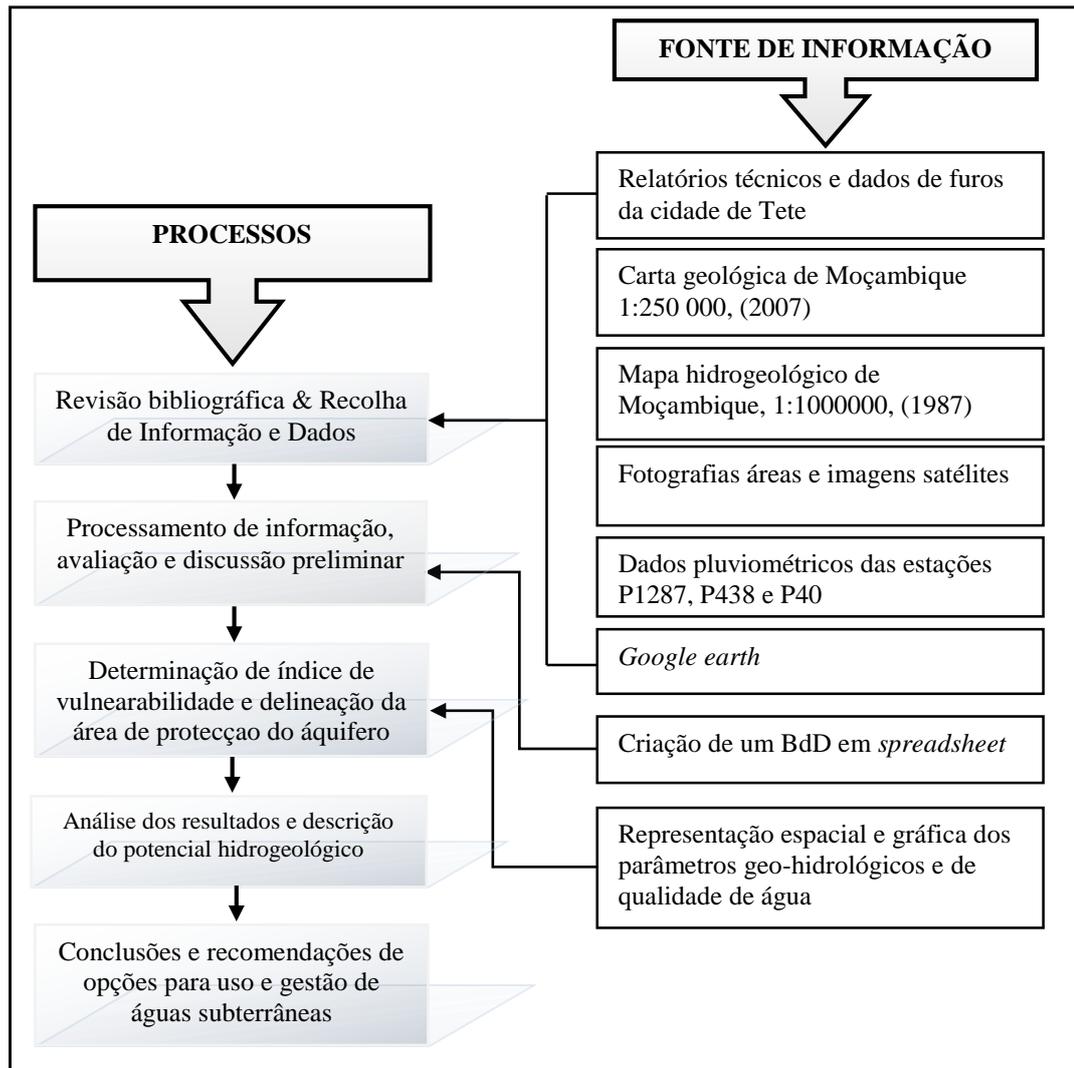


Figura 1-1: Fluxograma metodológico-resumo

## 1.6 Sumário dos Resultados do Estudo

Os principais resultados do presente estudo, em concordância com as fases apresentadas no sub-capítulo anterior, podem ser sumarizados conforme se segue:

- (i) Caracterizado o principal sistema geológico e seu potencial hidrogeológico da cidade de Tete;
- (ii) Determinadas as áreas com graus de vulnerabilidade de contaminação de águas subterrâneas através de acção do homem;
- (iii) Delineada a área de protecção do aquífero aluvionar de Nhartanda e Matundo;

- (iv) Avaliada a qualidade de água subterrânea, tendo em conta os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos;
- (v) Definida a proposta de parâmetros para o monitoramento de águas subterrâneas a nível da cidade de Tete.

## **1.7 Organização do Relatório**

O presente relatório contém 6 capítulos. O *primeiro capítulo* é constituído pelas seguintes secções: (i) uma introdução, (ii) apresentação do problema de estudo e justificação, incluindo a anotação das principais motivações para a escolha do tema e o local do estudo, a cidade de Tete, (iii) objectivos do estudo, (iv) perguntas-chave da tese, e (v) descrição sumária dos passos levados a cabo para a realização do trabalho.

O *segundo capítulo* apresenta considerações teóricas da revisão bibliográfica dos casos de estudos similares realizados em diferentes cantos do mundo e, particularmente, na área de estudo.

O *terceiro capítulo* apresenta a descrição da área de estudo. Portanto, descreve os aspectos gerais fisiográficos e climáticos da área de estudo, nomeadamente: a localização geográfica e a morfologia, o clima e a drenagem de água superficial, a demografia, a vegetação, as principais actividades económicas desenvolvidas e usos da terra. Igualmente, neste capítulo está apresentada a estrutura legal e institucional na gestão de águas subterrâneas em Moçambique.

O *quarto capítulo* descreve toda a metodologia seguida para a realização dos trabalhos e obtenção dos resultados constantes neste relatório. Faz igualmente a descrição dos materiais, dados, informação e métodos usados para atingir os objectivos definidos. A qualidade dos dados usados na efectivação do presente estudo foi verificada através de programas estatísticos, com o *Excel*, *Surfer*, incluindo Sistemas de Informação Geográfico (*SIG*).

O *quinto capítulo* apresenta a discussão e os resultados obtidos durante a pesquisa, e consiste das seguintes secções: (i) descrição do sistema hidrogeológico local; (ii) indicação de zonas de má qualidade; (iii) indicação de zonas vulnerabilidade de contaminação das águas subterrâneas, bem como (iv) delimitação das áreas que podem ser consideradas de protecção dos aquíferos de Nhartanda e Matundo.

No *sexto capítulo* constam conclusões e recomendações. As conclusões provêm de uma análise dos resultados obtidos em análise comparativa dos resultados dos estudos similares realizados na área de estudo. As recomendações propõem medidas e acções a serem levados em consideração para se assegurar a quantidade e qualidade de água dos aquíferos de Nhartanda e Matundo.

## 2. CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

A presente pesquisa começou com uma revisão bibliográfica existente de estudos realizados em alguns bairros da cidade de Tete, bem como, estudos efectuados na bacia do Zambeze, a bacia na qual a área de estudo se insere. Foram igualmente consultados estudos relacionados e realizados em diferentes partes do mundo como forma de comparar, discutir e escolher metodologias a serem seguidas, com vista a obtenção dos resultados desejados. Portanto, a colheita e selecção dos dados, a sequência dos trabalhos realizados, a selecção dos modelos e cálculos foram suportados pela bibliografia consultada.

### 2.2 Recursos Hídricos Subterrâneos

De uma maneira simplificada, em todos os casos em que a água ocupa vazios em formações rochosas ou ocorrência de água em baixo da superfície da Terra, onde as aberturas entre as partículas do solo estão completamente saturadas de água, a zona saturada é classificada como *água subterrânea*, enquanto quando ocorre nos mares, rios e lagos é naturalmente superficial. As águas subterrâneas constituem uma porção do sistema circulatório da água na terra. O seu aproveitamento data dos tempos antigos e a sua evolução tem acompanhado a própria evolução do homem. Segundo Fetter (1993), unidades rochosas ou sedimentares, porosas e permeáveis (permeabilidade na ordem de grandeza de  $10^{-2}$  Darcy<sup>2</sup> ou superior a este limite), com capacidade de armazenar e transmitir volumes significativos de água são chamadas de *Aquíferos*.

A gestão dos recursos hídricos é uma actividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e directrizes, através de elaboração de documentos orientadores e normativos, à organização e estabelecimentos de estruturas de sistemas de gestão e a tomada de decisões, que tem por objectivo final promover o inventário, uso, aproveitamento, controlo e protecção dos recursos hídricos. A

---

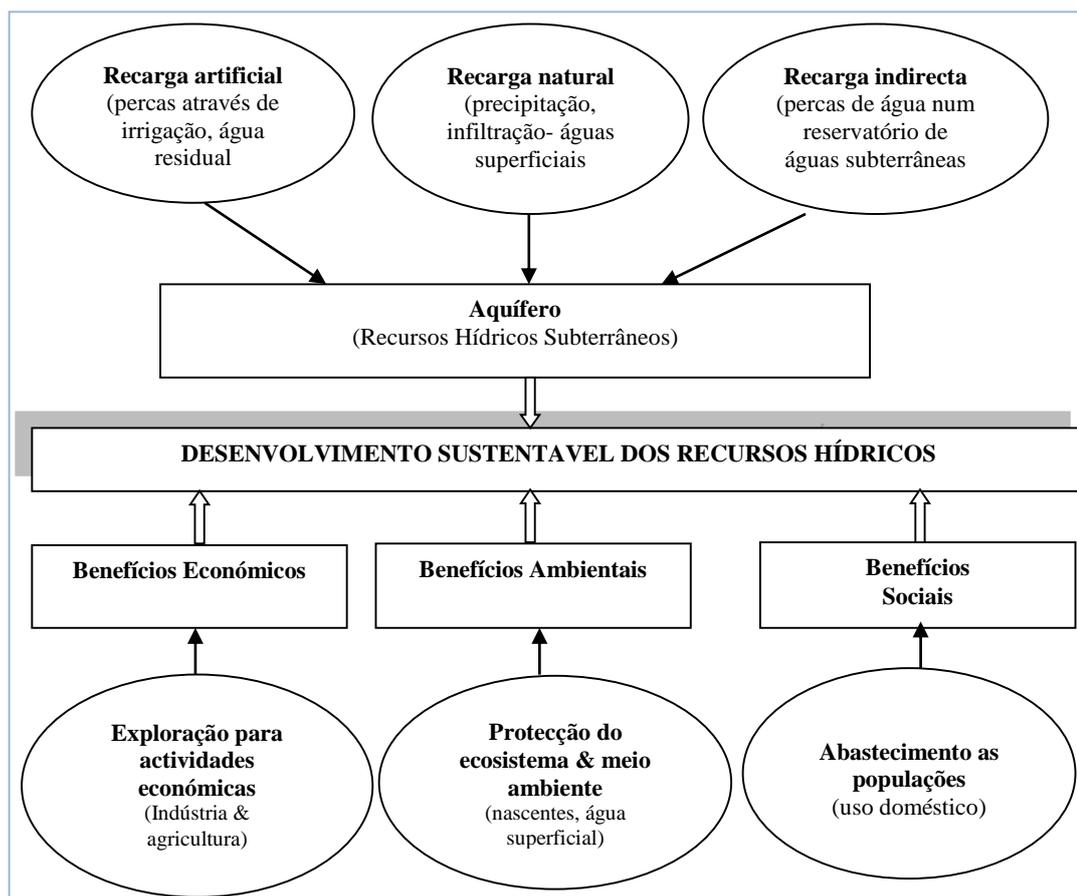
<sup>2</sup> Unidade de permeabilidade intrínseca, definida como a permeabilidade de um meio no qual um líquido de viscosidade dinâmica de 1 centipoise, escoar um caudal de 1cm<sup>3</sup>/s, na secção transversal de 1cm<sup>2</sup>, sobre um gradiente normal à secção de 1cm<sup>-1</sup>.

gestão dos aquíferos é um conjunto de Planos Estratégicos, Normas, Leis, Regulamentos, e acções destinadas a sustentar, conservar, proteger esses aquíferos (World Bank, 2006).

A exploração inadequada da água pode conduzir a impactos catastróficos sobre os recursos hídricos, em particular os subterrâneos. No caso da contaminação de um aquífero, a despoluição muitas vezes sempre foi um exercício oneroso e, além disso, na maioria dos casos não se consegue estabelecer os aspectos qualitativos necessários para os usos a que se destinam. Uma maneira para evitar a má utilização dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, é a implementação de uma eficiente gestão.

Segundo a WaterNet (2010), a gestão dos recursos hídricos subterrâneos deve sempre ser estabelecida com base na avaliação de condições hidrogeológicas específicas, bem como de possíveis impactos ambientais associados ao desenvolvimento e implantação de equipamento de captação para satisfazer demandas múltiplas e usos cada vez mais competitivos. Gerir recursos hídricos subterrâneos tem sido nos últimos anos objectivo primário no desenvolvimento sustentável dos recursos existentes na natureza.

O assunto-chave na sustentabilidade de águas subterrâneas está relacionado com o balanceamento de usos e aproveitamento da água com o crescimento da demanda do recurso. Segundo World Bank (2006), o desenvolvimento sustentável da água subterrânea poder ser materializado através de relações constantes no fluxograma indicado abaixo, o qual resume-se pela efectivação do balanceamento da recarga e descarga dos aquíferos face aos benefícios de carácter económico, ambiental e social. A protecção das águas subterrâneas contra a poluição deverá assegurar que a exploração não cause problemas de empobrecimento da fonte, quer em termos de quantidade ou qualidade de água.



**Figura 2-1: Desenvolvimento sustentável de águas subterrâneas**  
(GWMate, 2006)

Segundo Barbosa (2006), a gestão das águas subterrâneas dentro do contexto de gestão integrada de recursos hídricos (GIRH) significa equilibrar a exploração do recurso (em termos de quantidade, qualidade e relações relevantes com outros recursos naturais) com o incremento da demanda de água utilizada para o desenvolvimento económico e para a subsistência. O equilíbrio terá que considerar a eficiência, a justiça e a sustentabilidade a longo prazo, com o propósito de manter tanto a qualidade como a quantidade aos níveis desejados. Porém, na prática, as águas subterrâneas são geralmente geridas separadamente:

- (i) As águas superficiais, até mesmo quando estas fazem parte do ciclo de hidrológico total, em quantidade e qualidade;
- (ii) Os esgotos das cidades, até mesmo quando estes representam simultaneamente um recurso adicional, são uma ameaça potencial de contaminação para as águas subterrâneas;

- (iii) A gestão do solo, até mesmo quando os aquíferos estejam ameaçados pela contaminação causada pela urbanização, o desenvolvimento industrial, a actividade agrícola e as empresas de mineração.

Um plano de gestão de águas subterrâneas deve, então, fazer parte de um plano da GIRH com o propósito de evitar as situações acima mencionadas. Então, o plano de gestão das águas subterrâneas, como o plano nacional, identificará as acções necessárias para contribuir efectivamente para a gestão dos recursos hídricos. Este plano fará uso da participação dos usuários e da criação de capacidades, estabelecerá as necessidades dentro do marco social e económico mais amplo e reconhecerá claramente as situações hidrogeológicas, sócio-económicas e institucionais.

Muitas vezes, a abordagem mais lógica ao perigo de contaminação da água subterrânea é considerá-lo como a interacção entre: (i) a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, consequência das características naturais dos estratos que o separam da superfície da terra, e (ii) a carga contaminante que é, será ou pode ser aplicada no meio como resultado da actividade humana. Segundo World Bank (2006), ao adoptar tal esquema, pode-se ter alta vulnerabilidade da fonte ou do aquífero, mas nenhum perigo de poluição, por causa da ausência de carga contaminante significativa, e vice-versa. Na prática, as duas condições são perfeitamente compatíveis. Além disso, a carga contaminante pode ser controlada ou modificada, mas a vulnerabilidade do aquífero é essencialmente determinada pelo contexto hidrogeológico natural. A expressão “*vulnerabilidade do aquífero à contaminação*” busca representar a sensibilidade de um aquífero aos efeitos adversos de uma carga contaminante a ele imposta.

Importa referir que existem muito poucos estudos ou documentos elaborados sobre a avaliação de águas subterrâneas na perspectiva similar ao objectivo do presente estudo, como se pode ver nas referências bibliográficas deste relatório. Estudos consultados foram maioritariamente encontrados na DNA, a qual possui uma biblioteca com uma grande quantidade de informação sobre os recursos hídricos de Moçambique, no entanto, esta informação não está devidamente sistematizada, o

que algumas vezes dificulta o seu acesso. De forma resumida, nestes estudos os resultados mais inclusivos são:

**Relatório nº 12/92 “Estudo Microbiológico em Matundo, M’paduè e Deguè”, DNA- 1992:**

O estudo tinha como objectivo identificar as possibilidades de captação de água subterrânea nos referidos em Matundo, M’paduè e Deguè, para o abastecimento da população e teve como principais resultados e conclusões:

- As populações desses bairros dependem de águas dos rios Zambeze e Révubuè e de poços e furos que captam água ligeiramente salobra para o seu abastecimento;
- O substrato geológico na região é formado pelo grés de Karroo. Este grés foi depositado numa fácies continental e a sua textura varia de fina até conglomerática com intercalações xistosas. Local e especialmente nas zonas baixas o grés está coberto por aluviões e coluvião. O aluvião é predominantemente siltoso mas perto dos grandes rios em antigos leitos locais foi depositado material grosseiro;
- As medições geoelectricas foram interpretadas através dum modelo de 4 camadas e as variações causadas pela mineralização de água suprimem de certa maneira as variações litológicas. As intercalações locais com espessura relativamente reduzida são dificilmente detectáveis através da geoelectrica.
- A maioria das amostras analisadas mostrou que a qualidade da água está saturada de carbonatos. A troca de catiões indicava que as águas dos aquíferos estão a tornar-se doces.

**Relatório 18/89 “Estudo Hidrogeológico no Vale de Nhartanda e na Área de Matundo”, DNA- 1989**

Este estudo tinha os seguintes objectivos: (i) avaliar e recomendar sobre a construção e operação dos furos, (ii) descrever as características hidrogeológicas

locais, e (iii) indicar os eventuais efeitos das actividades desenvolvidas no local ou nas proximidades. O estudo teve como resultados e conclusões:

- (i) A área de Tete consiste predominantemente de grés de Karroo, com água subterrânea salobra e capacidades aquíferas baixas. Os depósitos fluviais em contacto hidráulico com os rios apresentam aquíferos favoráveis com grande transmissibilidade e água doce;
- (ii) A qualidade de água depende do local onde o furo foi construído, com destaque para os furos localizados na formação do grés. Esta contribuição varia durante o ano e foi estimada de 25 até 5% durante o trabalho de campo;
- (iii) As características químicas de água não permitem fazer furos com o revestimento ou filtros de ferro.

#### **Relatório 2009-07 “*Estudo de Avaliação de Águas Subterrâneas na Cidade de Tete*” - We Consult, 2009**

O principal objectivo do estudo foi avaliar a ocorrência de águas subterrâneas e indicar possíveis zonas ou pontos favoráveis para a exploração da água a partir de furos, com vista a expandir o campo de furos aí existente quer seja do lado de campo de furos de Nhartanda, assim como na a Norte do rio Zambeze.

Como pode-se constatar, os estudos e relatórios existentes, indicam no geral a caracterização hidrogeológica da área de estudo, fazem análise qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos existentes e sua exploração para o abastecimento de água à Cidade de Tete, mas os mesmos não discutem aspectos relacionados com a gestão, planeamento e análise da susceptibilidade de contaminação dos aquíferos, investigação fundamental tendo em conta o actual desenvolvimento das diversas actividades na região, as quais podem causar a degradação da qualidade de água subterrânea. Igualmente, os estudos não apresentam áreas consideradas de protecção dos aquíferos.

### 2.3 Vulnerabilidade e Evolução do seu Conceito

Leonidas (2009) indica que o conceito de vulnerabilidade das águas subterrâneas começou a ser usado primeiramente por Le Grand (1964), nos EUA e Albinet & Margat (1970), na França. Na década de 1980, foi amplamente utilizado por vários autores (Aller *et al.*, 1985; Bachmat & Collin, 1987, Foster, 1987, Foster & Hirata, 1988) e, nos anos 90, por autores como Civita (1990). Embora se referisse a susceptibilidade relativa dos aquíferos à contaminação antropogénica, o termo vulnerabilidade inicialmente era usado sem nenhum objectivo de definição formal.

O termo vulnerabilidade, referindo-se à contaminação da água subterrânea, foi introduzido pelo Hidrogeólogo Frances J. Margat, no final da década de 60 (Margat, 1968 citado por Leonidas 2009), baseado no facto real de que, de certo modo, o meio físico protege o aquífero de contaminantes que podem infiltrar a partir da superfície. Assim, o objectivo principal de um mapa de vulnerabilidade é a subdivisão de uma área em diferentes unidades homogéneas, às vezes, chamadas de células ou polígonos, que têm diferentes níveis de vulnerabilidade. Contudo, esta diferenciação entre as células só demonstra a vulnerabilidade relativa de uma área a respeito de outra, não representam valores absolutos. Antes de tentar construir um mapa de vulnerabilidade deve ser cuidadosamente definido e analisado o termo vulnerabilidade da água subterrânea. Nesse trabalho, considera-se vulnerabilidade a propriedade intrínseca de um sistema aquífero que depende de sua sensibilidade a impactos naturais e/ou antropogénicos (Vrba & Zaporozec, 1994).

No entanto, deve ser enfatizado que existe mais de um tipo de vulnerabilidade das águas subterrâneas. O conceito anterior refere-se à vulnerabilidade intrínseca ou natural, que é uma função das características hidrogeológicas do aquífero, do solo e dos materiais geológicos que o recobrem. Além dessas propriedades intrínsecas, podem ser considerados os potenciais efeitos de certos poluentes, em detrimento (no espaço e no tempo) do consumo presente e futuro das águas subterrâneas.

Em vista disso, é cientificamente mais coerente avaliar a vulnerabilidade de cada tipo de poluente (nutrientes, patógenos, metais pesados, etc.), ou cada grupo de

actividades poluidoras (agrícola, industrial, etc.), mas, em geral, não existem informações suficientes para atingir este ideal. Por outro lado, isso exigiria a consulta de um atlas de vulnerabilidade para cada zona, o que em Moçambique a nível nacional não existe, e assim não pode ter muita utilidade prática.

A vulnerabilidade é a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas superiores do aquífero à passagem de poluentes. A vulnerabilidade intrínseca é definida através de características geológicas e hidrogeológicas, não se considerando por esse facto o factor antrópico. Já a vulnerabilidade específica considera além das características intrínsecas do meio algumas características específicas tais como a ocupação do solo ou o tipo de contaminante. O uso de ambas vulnerabilidades na caracterização da susceptibilidade do aquífero à contaminação tem as suas vantagens e desvantagens (World Bank, 2006). Por vezes, torna difícil caracterizar um sistema em que não seja atribuído um peso importante à intervenção humana, uma vez que esta, na maioria dos casos constitui um agente modelador do meio. Por outro lado, utilizando-se, em ambas vulnerabilidades, parâmetros em que se aplicam conhecimentos existentes à data, as cartas de vulnerabilidade estão sempre sujeitas a cartografias diferentes ao longo do tempo.

*Esse conceito de vulnerabilidade natural de contaminação tem sido usado para expressar:*

- (i) Características intrínsecas que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afectado por uma carga contaminante antropogénica imposta;
- (ii) Classificação dos aquíferos baseada na importância do recurso hídrico que é ou será utilizado no presente e no futuro incluindo a possibilidade de ser substituído por outro recurso;
- (iii) Classificação baseada na importância do aquífero em manter áreas ecológicas importantes. As limitações que são geradas por uma cartografia geral podem ser superadas pela adopção de uma escala adequada ao trabalho.

### **2.3.1 Métodos para Determinação de Vulnerabilidade**

Diferentes técnicas têm sido desenvolvidas para avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos. Contudo, os mais conhecidos são: DRASTIC (Aller *et al.* 1987), GOD (Foster & Hirata 1988), SINTACS (Civita, 1990), AVI (Van Stempvoort, 1994).

*DRASTIC*, *SINTACS* e *GOD* avaliam a vulnerabilidade do aquífero, dividindo-o em células ou polígonos, calculando um índice de vulnerabilidade de um sistema de classificação ponderada. Ou seja, esses métodos definem intervalos para cada um dos parâmetros utilizados e também atribuem um peso de acordo com a importância relativa a esse parâmetro. A soma ponderada desses intervalos permite calcular um índice que reflecte a vulnerabilidade de cada célula ou polígono do aquífero. Quanto maior for o valor deste índice, maior será a sensibilidade do aquífero à contaminação.

O método *AVI* (Aquifer Vulnerability Index) calcula a resistência vertical hidráulica total das camadas sobre o aquífero, dividindo a espessura de cada camada a condutividade hidráulica vertical. A soma destes quocientes é exactamente o índice *AVI*, que expressa a resistência hidráulica oferecida pelo ambiente que protege o aquífero e que é inversamente proporcional a vulnerabilidade do mesmo.

*Em geral pode-se destacar o seguinte:*

- Na metodologia *DRASTIC* é questionada a quantidade de variáveis utilizadas, a dependência de algumas delas e as ponderações que ela executa podem ser discutíveis;
- O método *SINTACS* foi derivado do *DRASTIC*, e, portanto, colocam-se as mesmas questões;
- *AVI* tem uma abordagem simples, mas exige saber a espessura e a condutividade hidráulica vertical das camadas sobre o aquífero.

- Ray e Odell (1993) propuseram uma nova metodologia, denominada *DIVERSITY*. É um método melhorado, para a delimitação e classificação da vulnerabilidade de águas subterrâneas a contaminação. É baseado em três características, a destacar: recarga potencial, velocidade de fluxo e o sentido de fluxo. O principal objectivo deste método é produzir mapas de vulnerabilidade em escala maior que ilustram potencial intrínseco de contaminação do aquífero localizado a pequenas profundidades. Esses mapas podem ser usados para o reconhecimento do aquífero e da sensibilidade para a protecção da qualidade das águas subterrâneas.
- Foster *et al.* (2006) comenta que avaliar os perigos de contaminação do aquífero é necessário para definir, de forma clara, acções requeridas para protecção da qualidade da água subterrânea. Ainda este autor expõe como processos comuns de poluição da água subterrânea, aterro ou depósitos de lixo de resíduos sólidos, rio influente poluído, drenagem e área industrial, saneamento local (fossas sépticas), vazamento a rede de esgoto, lagoas de águas residuais e intensificação agrícola principalmente com o uso de agro-químicos.
- **GOD** é um método simples, usa três parâmetros e é fácil de aplicar, principalmente em condições onde constata-se existência de pouca informação geohidrológica e de qualidade de água, que é o caso da área do presente estudo (a cidade de Tete e bairros circunvizinhos). Este método representa uma ferramenta importante para simulação em macro escala, onde um número maior de variáveis tornaria a aplicação inviável devido à questão do tempo e principalmente de recursos financeiros para a produção de dados.

A forma com que os aquíferos se tornam contaminados ocorre pela entrada das águas através da infiltração directa ou indirecta, na superfície do solo ou rocha. As actividades que ocorrem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. Os aquíferos não confinados são razão de grande preocupação em relação à sua contaminação principalmente, onde o nível da água é muito alto, apresentando-se muito expostos às actividades humanas existentes na superfície, e

consequentemente a alta vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas.

De qualquer modo, a utilização de índices de vulnerabilidade intrínseca como o *DRASTIC* (Aller *et al.*, 1987) ou o *AVI* (Stempvoort *et al.*, 1993) e de vulnerabilidade específica como o *IS* (Ribeiro, 2005) constituem sempre uma primeira etapa em qualquer plano de ordenamento e gestão de um sistema aquífero.

Do ponto de vista científico, os resultados são mais consistentes quando se realiza uma avaliação de vulnerabilidade para cada contaminante, ou, sendo isso inviável, para cada classe de contaminante (nutrientes, patógenos, microrganismos, metais pesados etc.) ou cada grupo de actividades contaminantes (ausência de rede de esgoto sanitário, cultivo agrícola, lançamento de efluentes industriais etc.), separadamente. Por essa razão Andersen & Gosk (1987) sugeriram que o mapeamento da vulnerabilidade seria mais eficaz se realizado com grupos de contaminantes isolados em condições específicas de poluição. No entanto, isso geraria uma infinidade de mapas para cada área, o que dificultaria o uso na maior parte das aplicações, excepto talvez para a avaliação e controle da contaminação agrícola difusa (Carter *et al.*, 1987; Sokol *et al.*, 1993; Loague, 1994). Além disso, dificilmente se dispõe de dados técnicos adequados e/ou recursos humanos suficientes para se alcançar esse ideal. Necessita-se, portanto, de um sistema menos refinado e mais genérico para o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero. Tendo em vista objectivos práticos, a solução por ora é produzir um mapa integrado da vulnerabilidade, desde que os termos usados estejam claramente definidos e as limitações precisamente descritas (Foster & Hirata, 1988). Essas salutares advertências foram elegantemente expressas na recente revisão norte-americana (NRC, 1993), sob a forma de três leis da vulnerabilidade da água subterrânea:

- (i) Toda água subterrânea é vulnerável, em maior ou menor grau, à contaminação;
- (ii) Incerteza é inerente a qualquer avaliação de vulnerabilidade à contaminação;

(iii) Os sistemas mais complexos de avaliação da vulnerabilidade apresentam o risco de obscurecer o óbvio.

**Tabela 2-1: Definição das classes de vulnerabilidade dos Aquíferos**  
(G-MATE, 2006)

<b>Classe de vulnerabilidade</b>	<b>Definição correspondente</b>
<i>Insignificante</i>	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)
<i>Baixa</i>	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
<i>Moderada</i>	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
<i>Alta</i>	Vulnerável a muitos contaminantes (excepto os que são fortemente absorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
<i>Extrema</i>	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação

### 2.3.2 Aplicação do Índice de Vulnerabilidade GOD

O método *GOD* de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação foi amplamente testado na América Latina e no Caribe durante a década de 1990 e, graças a sua simplicidade conceitual e de aplicação, é o método preferido dentre os descritos acima. Para determinar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, são considerados dois factores básicos:

- O nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero;
- A capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero.

Esses factores, no entanto, não podem ser medidos directamente e dependem, por sua vez, da combinação de outros parâmetros (tabela 2-6). Uma vez que geralmente não se dispõe de dados sobre muitos desses parâmetros, a simplificação da lista é uma medida inevitável se o objectivo é desenvolver um esquema de mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

**Tabela 2-2: Factores que influenciam o grau de vulnerabilidade natural**  
(G-MATE, 2006)

Componente de Vulnerabilidade	Dados hidrogeológicos	
	Idealmente necessários	Normalmente disponíveis
<i>Inacessibilidade Hidráulica</i>	Grau de confinamento do aquífero	Tipo de confinamento da água subterrânea
	Profundidade até o lençol freático ou a posição da água subterrânea	Profundidade até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado
	Condutividade hidráulica vertical e teor de humidade da zona não saturada (zona vadosa) ou camada confinante	
<i>Capacidade de Atenuação</i>	Distribuição granulométrica dos sedimentos e fissuras na zona vadosa ou camada confinante	Grau de consolidação/fissuração desses estratos
	Mineralogia dos estratos na zona vadosa ou camada confinante	Característica litológica desses estratos

Com base em tais considerações, o índice de vulnerabilidade GOD (Foster, 1987; Foster & Hirata, 1988) caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação tendo em conta os seguintes parâmetros (geralmente disponíveis ou facilmente determinados):

- O confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão
- Os estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante;
- A profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

Esses parâmetros abrangem, ainda que apenas no sentido qualitativo, a maioria dos que constam na tabela 2-5. Para a representação gráfica dos índices de vulnerabilidade, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem ferramentas muito úteis e eficazes para a aplicação destas metodologias para a avaliação de vulnerabilidade e delimitação da área de protecção. Importa referir que há poucos trabalhos realizados a nível nacional nesta matéria.

## **2.4 Delineação da Área de Protecção das Fontes de Captação**

O conceito de protecção dos aquíferos ou das fontes de abastecimento de água subterrânea foi estabelecido já há muitas décadas, fazendo parte dos códigos jurídicos dos países principalmente europeus. No entanto, a constante ampliação dos conhecimentos hidrogeológicos e as frequentes mudanças no tipo de riscos à qualidade da água subterrânea implicaram alterações significativas no conceito, que requerem consolidação (US-EPA, 1994; NRA, 1995; EA, 1998).

O impacto ambiental, que decorre na contaminação das águas subterrâneas, vem preocupando nos últimos anos as autoridades responsáveis pela gestão deste recurso, não só pelo problema de degradação qualitativa, como também pela série de impactos que isto representa à saúde humana e meio ambiente. Muitas vezes quando a contaminação das águas subterrâneas ocorre é muitas vezes difícil de corrigir quando comparado com as águas superficiais, podendo em alguns casos mesmo tornar-se irreversível.

Um factor importante que influencia o risco representado por uma actividade antropogénica é a sua proximidade a uma fonte de abastecimento. O risco de contaminação depende especificamente de (i) da existência de uma actividade dentro ou próximo da área de exploração da água ou zona de sua recarga; bem como, (ii) das características hidráulicas do material subterrâneo, tendo em conta o tempo de trânsito horizontal da água subterrânea no aquífero, desde o local da actividade poluente, até ao ponto de captação de água para o abastecimento.

Implementar um sistema de protecção das águas subterrâneas contra qualquer evento poluidor é uma tarefa muitas vezes complexa, pois envolve processos naturais de difícil controlo e não totalmente conhecidos (Mimi & ASSI, 2009).

### 3. CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Introdução

Neste capítulo estão descritas as condições gerais da área de estudo, tais como: aspectos hidroclimatológicos, utilização da água subterrânea, bem como, o resumo dos resultados dos trabalhos realizados sobre a avaliação do potencial hídricos subterrâneo em alguns bairros da cidade de Tete.

#### 3.2 Condições Físicas e Climáticas

##### 3.2.1 Localização e Morfologia

Área de estudo da presente dissertação é o aquífero de Nhartanda e Matundo, dois sistemas hidrogeológicos localizados na cidade de Tete a capital da província do mesmo nome, e está localizada na região central do País, entre as coordenadas 16 10'0" S, 33°36'0"E, num planalto situado a 500 metros de altitude nas margens do rio Zambeze. A cidade de Tete tem como limites naturais os rios Révubue e Mepumo a Leste, e o rio Kwiro a Sudoeste. A cidade ocupa uma superfície de 286 km<sup>2</sup>.

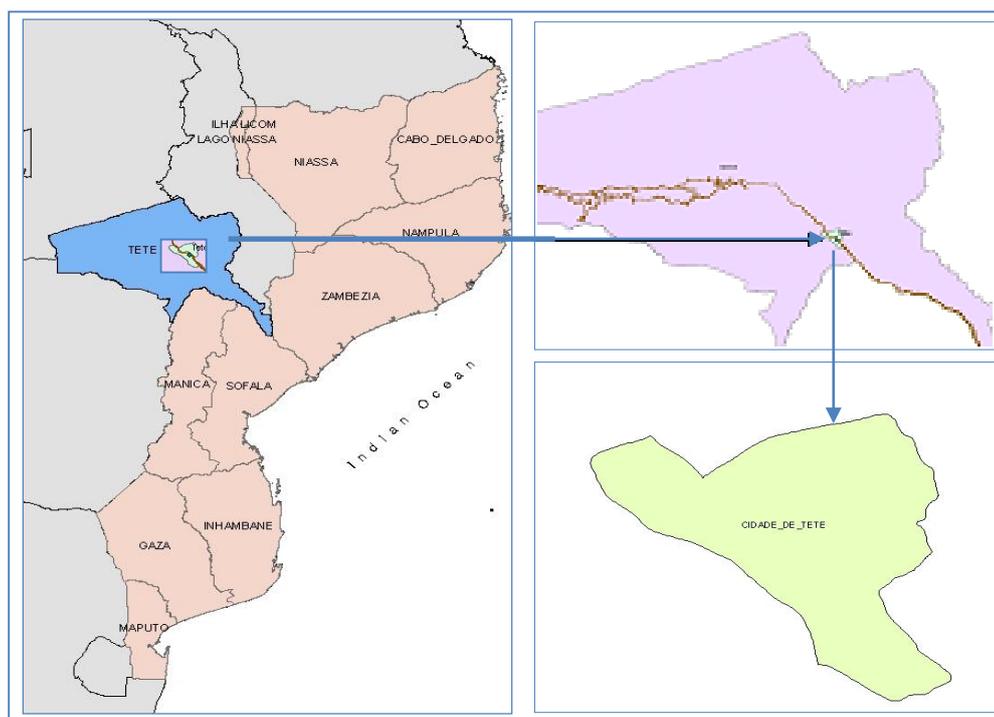


Figura 3-1: Localização da área e estudo

- O *vale de Nhartanda* está situado a Sudoeste (SO) da cidade de Tete. É um vale plano com comprimento de cerca de 7 km e uma largura média de 600 metros, entre as coordenadas de 16° 09' 53,9"S e 033° 34' 34,8"E. Este vale desenvolve-se num leito abandonado do rio Zambeze. É nesta área que está localizado o campo de furos que abastece a cidade de Tete e bairros circunvizinhos.
- O *vale de Matundo* está localizado a Noroeste da cidade de Tete, na margem esquerda do rio Révubuè, nas proximidades da confluência com o rio Zambeze. Este localiza-se num banco de terra de depósitos aluvionares que ocupa uma área de cerca de 700mx250m, como pode-se ver na figura 3-2.

A área de Nhartanda e de Matundo é frequentemente inundada no período chuvoso, ficando os furos aí existentes submersos. Devido à fertilidade das terras adjacentes ao rio, verifica-se na área a prática da actividade agrícola.



**Figura 3-2: Localização do vale de Nhartanda e Matundo**  
(Google earth, Outubro 2010)

Morfologicamente, o território da cidade faz parte da bacia do Zambeze, cujo relevo é caracterizado por solos alternativos planos e ondulados próximos ao rio Zambeze

com uma inclinação até 40% e diferenças de altura até 30 metros, com afloramentos rochosos paralelos ao rio e terras argilosos. A área onde aflora o Karroo é caracterizada por estruturas de tipo “*inselberg*”, escarpamentos irregulares e com algumas depressões. Nas áreas baixas sob influência dos rios apresenta-se suavemente ondulada até quase plana.

A topografia local é acidentada, com altitudes que variam de 140 a 250 metros acima do nível do mar. Na região há evidências duma erosão acelerada, a título de exemplo, as localidades de M’padue e Déguè que são cortadas por vários vales de erosão. Este fenómeno, principalmente provocado pela desflorestação, pode-se tornar no maior problema do futuro.

Na época chuvosa e particularmente durante as cheias o vale de Nhartanda fica inundado de água. Uma vez que, segundo as características do vale não permitem que a água possa fluir facilmente, assim formam-se pequenas lagoas temporais.

### ***3.2.2 Clima e Drenagem de Água Superficial***

No contexto regional, a cidade de Tete localiza-se numa área de influência de movimentos sazonais da Zona de Convergência Inter-tropical (ZCIT), com alternância de temperatura fria e seca de Maio a Setembro, e quente-húmida de Novembro até Abril. Abril a Novembro é o período de transição entre a época seca e chuvosa. Possui duas estações do ano destacáveis, sendo a primeira seca prolongada que chega a atingir oito meses e a segunda chuvosa com aproximadamente quatro meses de duração. O clima característico desta área é tropical-seco. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INM), a temperatura média anual é de 26,5<sup>0</sup> C, no qual, durante o período seco as temperaturas chegam a atingir 40<sup>0</sup> C durante o dia, e 25<sup>0</sup> C nas noites. A cidade de Tete é a mais quente do País.

Dados do arquivo da DNA, num período de 10 anos (2000 a 2009) indicam que a precipitação média anual na estação P-1287 é de 478,40 mm, na P438 é de 684,18 mm e na estação P-40 é de 477.38 mm. A média mensal feita no mesmo período,

os meses de Dezembro à Março, apresentam-se com grandes precipitações, sendo o pico verificado no mês de Janeiro, onde chega a atingir acima de 200 mm.

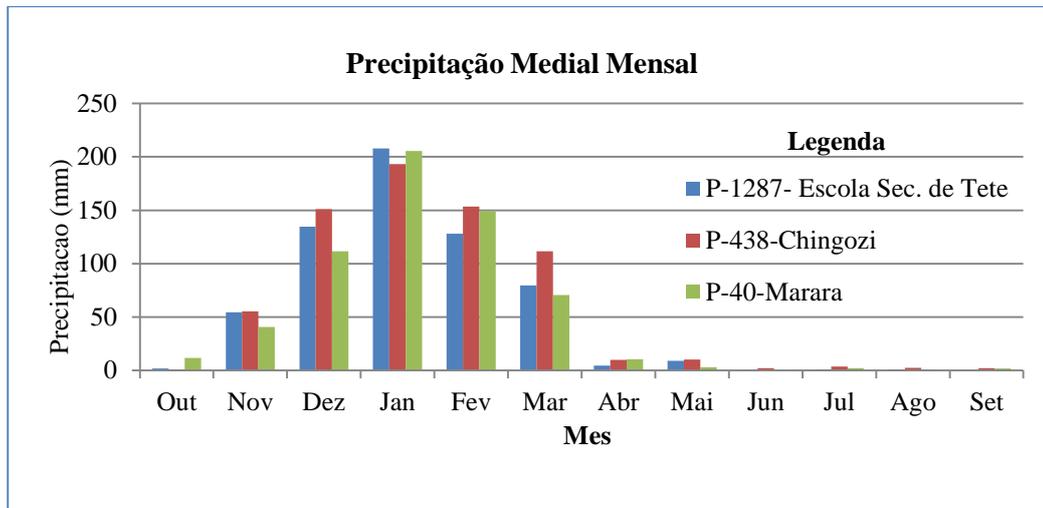


Figura 3-3: Precipitação média mensal, 2000- 2009

A cidade de Tete é rica em recursos hídricos, pois é atravessada pelos dois rios, nomeadamente, Révubuè e o Zambeze na parte à jusante da cidade-centro, onde este último (o rio Zambeze) é por sinal o maior rio a nível da região da África Austral (ver a figura 3-4). O rio Zambeze, a sua bacia hidrográfica é cerca de 1.330.000km<sup>2</sup>, dos quais só 3.000km<sup>2</sup> em território Moçambicano, com um caudal periódico complexo devido às variações que o seu caudal apresenta ao longo do seu percurso, (Dos Muchangos, 1999). No território moçambicano confluem com o rio Zambeze importantes rios como é o caso dos rios Aruângua, Mucanha, Luia-Capoche, Révubuè e Chire na margem Norte, o Panhame, o Messeguedzi, o Sanângoé, o Luenha, o Pompué e o Zangue na margem Sul. O rio Luenha apresenta um percurso de água permanente, mas na época seca diminui o caudal consideravelmente (Real, 1966).

As principais linhas de água correm na direcção NE – SW e têm, na sua maioria, regime sazonal, assumindo características torrenciais na época chuvosa e estando secos na maior parte do ano.

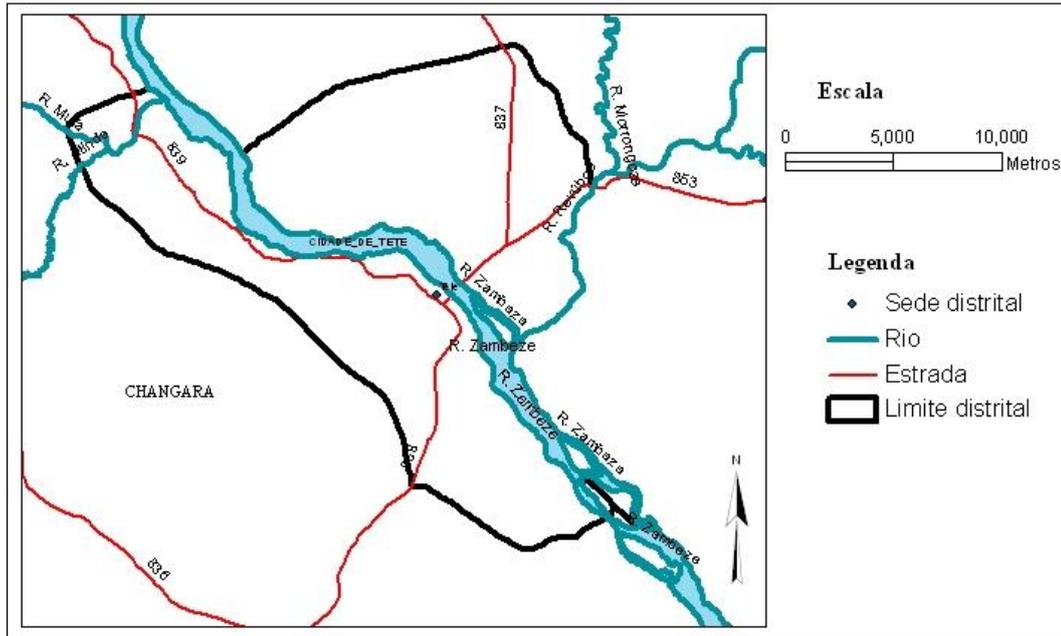


Figura 3-4: Hidrografia da área de estudo

As curvas de duração dos caudais médios diários dos rios Zambeze (E-320) e Révubuè (E-302), igualmente numa análise feita no período de 10 anos (2000 a 2009) indicam que no ano hidrológico de 2000/01, 2006/2007 e 2007/08 o caudal do rio Zambeze nos meses de Fevereiro e Março chegou a atingir acima de 11,000  $m^3/s$  em 2001 e 2008. No rio Révubuè no mesmo período os caudais ultrapassam os 2,400  $m^3/s$ .

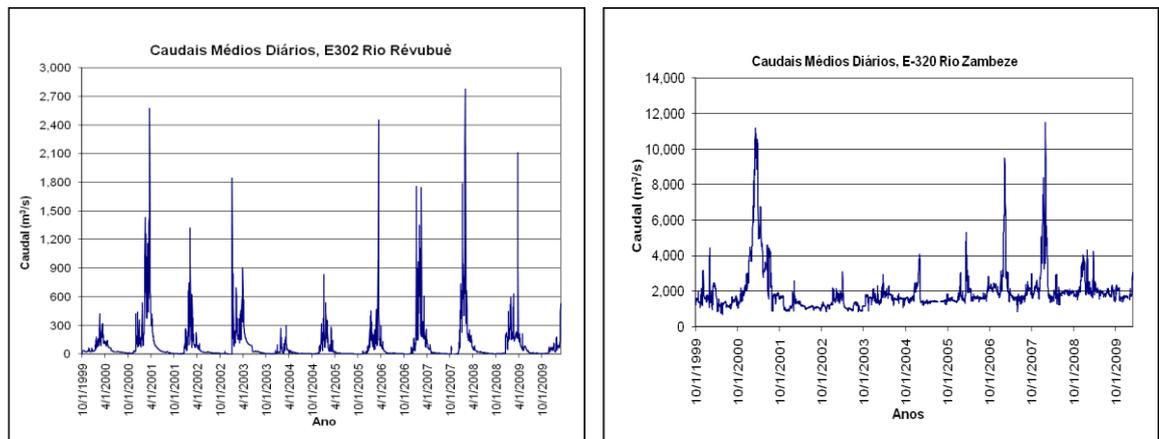


Figura 3-5: Caudais médios dos rios Révubuè (E-302) e Zambeze (E-320)  
(Dados extraídos na BdD da DNA)

### 3.2.3 Demografia, Vias de Acesso e Comunicação

A cidade de Tete está estruturada em nove bairros com as seguintes denominações: Josina Machel, Mateus Sansão Mutemba, Francisco Manyanga, Matundo, M'páduè, Filipe Samuel Magaia, Chingodzi, Déguè e Samora Moisés Machel.

Segundo o censo da população realizado em 2007 pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), a área de estudo tem cerca de 155, 870 habitantes e a maioria da população concentrada nos bairros arredores. Prevê-se um crescimento anual de 4.6%, e estima-se que em 2015 a população da cidade será de cerca de 374.590 e em 2020 de 469.045 habitantes.

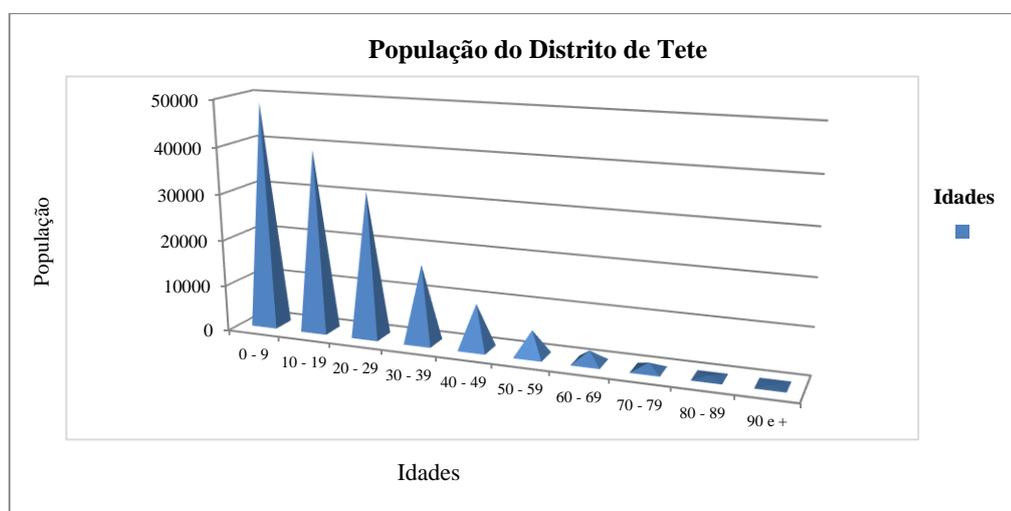


Figura 3-6: Distribuição da população segundo a idade (INE, 2007)

A cidade é atravessada pela estrada nacional 7 (EN7), que a liga aos países vizinhos, através ponte Samora Machel. Esta ponte permite a circulação de pessoas e bens, e o estabelecimento de relações económicas entre os diferentes cantos do País, bem como, com países vizinhos, nomeadamente: Zimbabwe, Malawi e Zâmbia. O sector de transporte constitui a principal fonte económica da região. Igualmente a cidade de Tete está ligada a província de Manica, Sofala e Zambézia.

### 3.2.4 Vegetação e Uso de Terra

Na área de estudo, a vegetação natural é do tipo Savana aberto que se desenvolve sobre zonas montanhosas característico de um clima tropical seco, segundo a

classificação de Kóopen. Em algumas áreas pode-se encontrar cobertura densa. A maior parte da área e em particular onde a precipitação chega a atingir 700 mm, encontra-se espécies vegetais comuns como: *acácia*, *adausonia*, *comretum*, *Sclerocarya* e *Kirkia* (Dos Muchangos, 1999).

A estrutura do solo é formada por solos pouco evoluídos resultantes da meteorização da rocha mãe, podendo se encontrar solos sialíticos negros cinzentos e solos acastanhados de características aluvionares fluviais, rochas metamórficas do Primário e Quaternário, rochas eruptivas do Terciário, bem como, rochas sedimentares de Karroo.

Na cidade de Tete e bairros circunvizinhos, a agricultura é praticada em pequena escala, onde o milho, o feijão, a batata-doce, quiabo, amendoim, incluindo legumes, são as principais culturas desenvolvidas. Nesta área, também há criação de gado, principalmente caprino.

A nível do vale de Nhartanda, a população dedica-se à prática de agricultura, pastagem de gado, comércio no mercado *Kwachena-Nhartanda* e fabrico de tijolos. A agricultura é de alguma maneira a actividade mais praticada, com destaque para a produção de hortícolas. Segundo a DNA (1987), a partir da década noventa, houve iniciativas de desenvolvimento de agricultura irrigada e praticada por empresas privadas e casas agrárias com apoio de doadores estrangeiros usando pesticidas e fertilizantes. O uso de agro-químicos foi desmotivado pelas autoridades locais. Esta medida, foi igualmente reiterada fortemente pela ARA- Zambeze nos últimos anos. Contudo, as tendências do uso dos agro-químicos, bem como, a remoção massiva da camada superficial do solo na área, constituída por material argiloso, a qual desempenha um papel fundamental devidas as suas características hidráulicas de não deixar passar com facilidade a água, tem sido verificado com frequência.

A província de Tete é rica em recursos minerais. O distrito de Moatize, que dista aproximadamente 20 km da cidade de Tete, possui enorme potencial para o desenvolvimento da actividade mineira. O distrito posiciona-se a nível do país nos

últimos anos como sendo uma verdadeira zona com intensa prospecção de carvão levada a cabo por empresas estrangeiras, com destaque para a VALE-Moçambique e Riversdale.

### **3.3 Geologia**

#### **3.3.1 Geologia Regional**

Geologicamente a área está inserida na bacia sedimentar do rio Zambeze, a qual apresenta-se de forma sinforme assimétrico e de forma bordeada por falhas. A bacia é composta por vários blocos inclinados onde as camadas sedimentares atingem aproximadamente 3000 m de espessura. Nesta bacia, o Karroo sedimentar começa com conglomerados e siltitos seguido de silte e argilitos. As camadas de carvão cobrem os siltitos, os quais são conhecidos por "série Produtiva". A sequência sedimentar do Karroo superior consiste em arenito e conglomerados, a qual é cortada pelos veios dolomíticos. A parte Sul da bacia está coberta de areias continentais arcósicas do Cretácico inferior. O basamento da área é considerado de grés do Karroo. Durante o Quaternário e Terciário foram depositados localmente sedimentos fluviais pelos rios Zambeze e Révubuè. Os depósitos do Karroo foram depositados numa grande bacia sedimentar continental durante o período Carbonífero-Jurássico (DNG, 2007).

Segundo o mapa geológico de Moçambique, afloram na zona do Karroo o grupo de *Beaufort* (grés conglomerático) e o Karroo superior (conglomerados e grés arcósicos). Além de grés conglomerático e grés de grão fino a médio, ocorrem camadas argilosas com certa xistosidade. A composição da água subterrânea dá evidências de existência de carbonatos e evaporitos. As fotografias aéreas mostram um dobramento e fracturação intensiva das camadas, o que resultou numa certa permeabilidade secundária. Supõe-se que os rios Zambeze e Révubuè depositaram os seus sedimentos na área. A granulometria dos sedimentos aluvionares dependeu das condições energéticas da corrente dos rios. Durante as inundações, nos leitos dos rios foram depositados materiais grosseiros em quanto que nas margens foi depositado material mais fino e siltoso. Devido ao facto do caudal e o leito terem sofrido alterações frequentes, foram formadas sequências litológicas irregulares.

Estratigraficamente, a região quando comparada com a divisão da camada do sistema do Karroo na África do sul, *Dwyca, Eccca, Bufort e Stomberg*, somente os dois primeiros é que constituem o Karroo inferior do *graben* da cidade de Tete que se estende até à bacia de Moatize (DNG, 1978).

No *graben* que se sobrepõem ao complexo gabro-anortosítico, quer por falhas, quer por simples discordâncias, apresentam-se as seguintes séries do Karroo inferior:

- *Série tilítica*, considerada a base do Karroo composta por tilitos, e depósitos flúvio-glacial;
- *Série produtiva* possui camadas de carvão intercaladas, que apresentam xistos grossos e carbonosos;
- *Série Superior ou Matinde*, constituída por uma espessa camada de grés, as vezes xistos e grés onde intercalam pequenos leitos de carvão.

Segundo Chinae (1991), Real F. & Koch J. (1966) e Renisio (1971), na região de Moatize compreende o complexo gabro-anortosítico de Tete, a qual maioritariamente se localiza nas zonas mais elevadas. As rochas sedimentares do Karroo inferior se localizam nas zonas baixas.

Tectonicamente, a região da província de Tete é caracterizada pela ocorrência de movimentos de diversas magnitudes que provocaram a configuração de vários acidentes estruturais formando deste modo nos depósitos de Karroo e vários tipos de sistema de dobramentos e ocorrências de falhas ao longo das rochas do complexo de base. Estes intensos fenómenos tectónicos que afectaram grandes regiões de complexo de base e dos sedimentos do Karroo na bacia do Zambeze causaram numerosas fracturações e instalação de rochas magmáticas extrusivas.

### **3.3.2 Geologia Local**

A província de Tete apresenta unidades geológicas constituídas por gnaisse com intercalações de quartzitos, arcoses e mármore orogenizados pelo Ciclo de

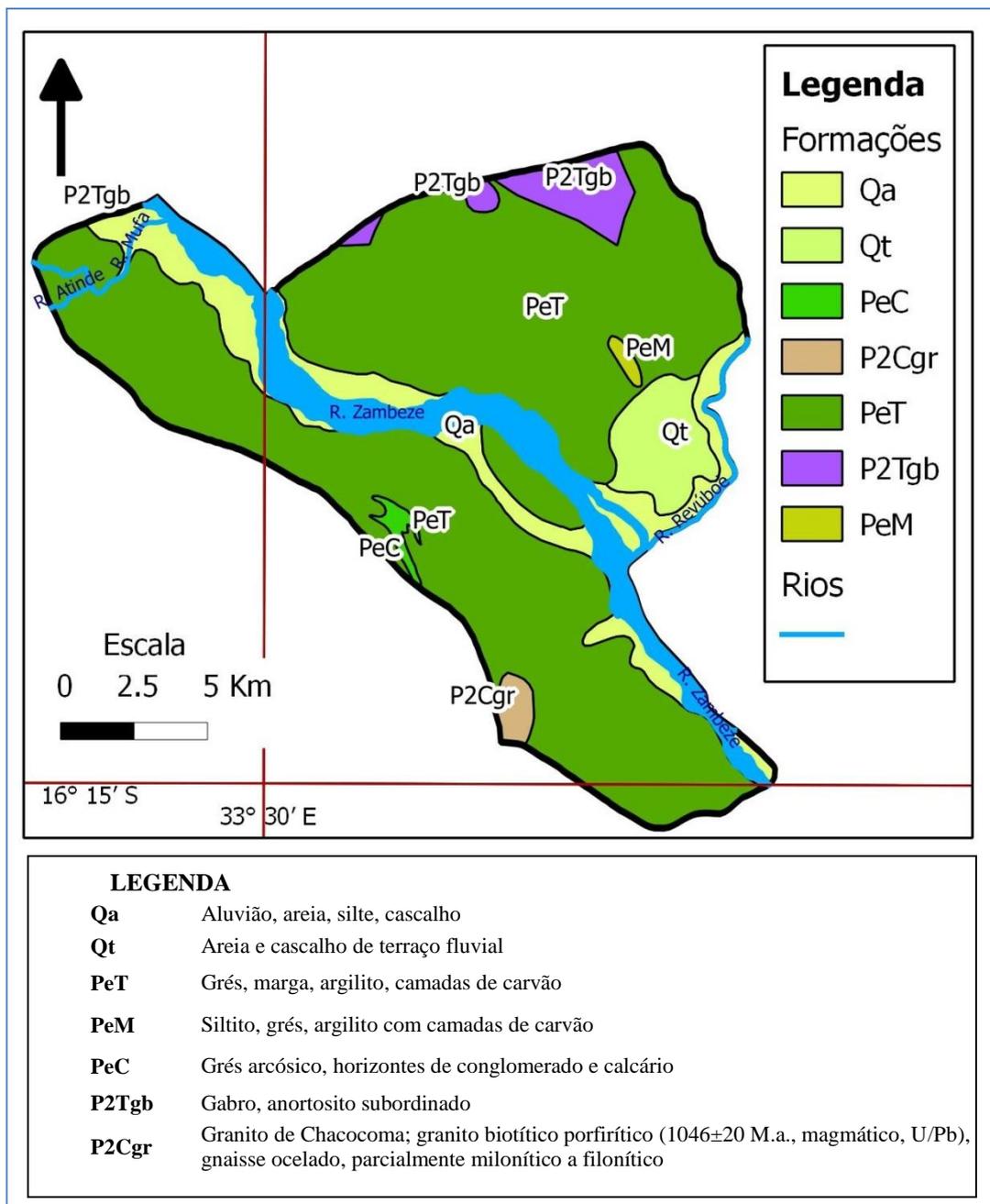
Iruminde (1350 Ma) e mais tarde retomada pela orogenia Moçambicana – é o caso do grupo de Zimbabwe, que forma também na bordadura dos cratões situados a Ocidente. Estas formações são portadoras de minerais de manganês e pedras semi-preciosas. O complexo granulítico apresenta:

- Rochas charnotíticas, migmatíticas e rochas supracrustais de fácies cratónicas inseridas no Complexo de Bárwe no grupo de Matambo;
- Série gabro-anortítica do Complexo ígneo de Tete;
- Gneísses granulíticos do grupo de Angónia.

A área de estudo está localizada numa zona alta com formações do fenerozoico Pérmico do baixo e alto Karroo. Esta área é basicamente coberta por rochas sedimentares do Karroo, rochas metamórficas e eruptivas do Pré-câmbrico superior, pertencentes ao complexo gnaisso-granítico do Moçambique Belt e ao complexo Gabro anortosítico de Tete. As rochas pertencentes ao complexo gnaísico possuem uma moderada capacidade de desenvolver fracturas e são de alteração argilo-arenosa pouco espessa. O material é geralmente de textura granular grosseira com poros intergranulares e uma potencialidade de água subterrânea alta, enquanto as do complexo gabro anortosítico possuem uma boa capacidade de desenvolvimento de fracturas com uma alteração meteórica moderada a espessa e uma potencialidade de água subterrânea baixa a nula. No geral a sua maioria tem um alto grau de metamorfismo e meteorização dando origem a aquíferos com boa produção (DNG, 2007).

Na área de estudo, onde predominam formações do tipo PeC, foram identificadas formações sedimentares e vulcânicas, conforme segue:

- PeM – Moatize – Siltito, arenito, argilito, carvão;
- PeT – Matide – Argilito, arenito, carvão;
- PeC – Cadzi – Arenito arcósico, conglomerados e calcário.



**Figura 3-7: Mapa geológico da área de estudo**  
(DNG, Extrato da Carta Hidrogeológica de Moçambique, 2007)

É possível identificar a existência de um depósito estratiforme de argila na parte Noroeste, localizado mesmo na zona de comunicação entre o Vale de Nhartanda e o rio Zambeze (*Cy Dengue/Tete Clay*). É notório também na zona de entrada do vale um depósito de areia de construção constituído por um veio quartzoso QB (*Crimozi Sand*), resultante de deposições sedimentares no cone de rejeição do rio que desagua no Zambeze imediatamente a montante da cidade de Tete.

Em conformidade com a localização regional, a cidade de Tete está situada numa área composta por grés, que faz parte do sistema do Karroo. Os sedimentos do Karroo foram depositados numa bacia sedimentar que abrange uma grande parte da África Austral durante as épocas geológicas do Carbónico e Jurássico. Os depósitos consistem de grés continental composto de grãos finos até médios, que varia de areia até silte e argila, embora com a presença de um certo conteúdo de carbonatos e evaporitos. O grés apresenta-se muito dobrado e também fracturado. Durante o Quaternário foram depositados localmente sedimentos fluviais pelos Rios Zambeze e Révubuè (DNA, 1987).

### **3.4 Potencial Hidrogeológico e Monitoramento de Águas Subterrâneas**

A área de estudo é caracterizada na sua maior parte pela ocorrência de arenitos calcários do Karroo, com uma baixa permeabilidade e porosidade, embora se constate existência de porosidade secundária resultante da dissolução e fracturas das rochas aí existentes. Contudo, ao longo do vale de Nhartanda e Matundo, ocorrem aquíferos bastante produtivos, constituídos por material aluvionar.

No geral, pode-se afirmar que em Moçambique não existem programas evidentes de monitoramento das águas subterrâneas, com a excepção da região Sul do País, particularmente, na cidade de Maputo de Matola, onde a partir do 2009 teve início a implementação de um projecto de monitoramento das águas subterrâneas. Contudo, foi possível constatar que existem planos para o estabelecimento de uma rede estratégica de âmbito nacional para o monitoramento das águas. A rede será desenhada pela MOPH/DNA e será gerida e operacionalizada pelas Administrações Regionais de Águas (ARAs).

Importa referir que a nível nacional, a recolha de dados e informação de furos nos programas de perfuração não é obrigatório. Contudo, o único parâmetro que muitas das vezes é medido, registado e apresentado nos relatórios de perfuração, quer seja pelo construtor ou pelo cliente da obra, é a conductividade eléctrica (CE). A

medição do teor de CE visa conhecer o grau de mineralização da água para o consumo doméstico.

Na bacia do Zambeze, a água subterrânea desempenha um papel crucial, por isso, a partir de 2009, a ARA- Zambeze tem vindo a realizar campanhas monitoramento de águas subterrâneas. O monitoramento efectuado pela ARA é, muitas vezes de esporádica e é focalizado apenas nos furos localizados no vale de Nhartanda e a área de captação de Matundo. O monitoramento consiste na medição dos níveis de água hidrostáticos e hidrodinâmicos.

A ARA-Zambeze faz também a colheita de amostras de água para análise de qualidade de água, com destaque para os seguintes parâmetros físicos: pH, CE, TSD e a Temperatura.

### **3.5 Enquadramento Institucional e Funcional do Sector de Água**

#### **Águas Subterrâneas na Legislação do Sector**

Em Moçambique o Ministério das Obras Públicas e Habitação (MOPH), através da Direcção Nacional de Águas (DNA), é o órgão central do Governo responsável pela avaliação, planificação, desenvolvimento e avaliação dos recursos hídricos. A Lei de Águas aprovada em 1991 e os respectivos regulamentos, a Política de Águas aprovada em 2007, constituem instrumentos legais importantes na gestão dos recursos hídricos em Moçambique. A lei em conformidade com a consagração constitucional estipula que a água de domínio público compreende todas as águas do interior (lagoas e albufeiras), as águas superficiais, os leitos dos rios e a água subterrânea.

O quadro legal do sector reconhece que a gestão de recursos hídricos é um assunto que envolve transversalmente vários sectores e a coordenação intersectorial é essencial na gestão integrada dos recursos naturais. Deste modo, harmoniza-se com outras leis relacionadas, nomeadamente: a legislação agrária, ambiental, mineira, do mar, das pescas, da energia e outras relevantes.

No âmbito da gestão operacional dos recursos hídricos, o quadro legal define a desconcentração e descentralização criando as Administrações Regionais de Águas (ARAs) estabelecidas em conformidade com as regiões de jurisdição de cada uma consoante as bacias hidrográficas a ela adstritas. Para o caso da cidade de Tete, área de estudo do presente projecto, a ARA- Zambeze<sup>3</sup> é a autoridade local que vela pela gestão operacional dos recursos hídricos na bacia do rio Zambeze.

Como foi referido anteriormente, a DNA é o órgão central do MOPH<sup>4</sup> que coordena as acções do sector de águas, e está dividido em departamentos, nomeadamente: o Departamento de Gestão de Recursos Hídricos (DGRH), o Departamento de Água Urbana (DAU), o Departamento de Água Rural (DAR), o Gabinete de Rios Internacionais (GRI), o Gabinete de Obras Hidráulicas (GOH) e três departamentos de apoio, a destacar Departamento de Administração e Finanças (DAF), Departamento de Planeamento e Controle (GPC) e o Departamento de Recursos Humanos (DRH).

O DGRH e DAR, pelas suas atribuições e competências são os departamentos da DNA responsáveis pela avaliação, desenvolvimento e gestão de águas subterrâneas, sendo DAR especialmente virada para abastecimento de água nas zonas rurais.

As Administrações Regionais de Águas (ARAs) têm a responsabilidade de gestão dos recursos hídricos superficiais querem seja subterrâneo nas regiões de jurisdição de cada uma consoante as bacias hidrográficas. Para a água subterrânea em especial, a ARA vela pelos seguintes aspectos:

- Gestão integrada das bacias hidrográficas incluindo águas subterrâneas, garantir o equilíbrio entre o potencial hídrico subterrâneo e a exploração;
- Coordenação institucional e participação pública nas principais decisões relacionadas com a gestão de recursos hídricos;

---

<sup>3</sup> ARA- Zambeze: Administração Regional de Águas da Bacia do Zambeze. Portando, somente para a bacia do hidrográfica do Zambeze devido o seu tamanho e pelos interesses estratégicos regionais.

<sup>4</sup> MOPH, Ministério de Obras Públicas e Habitação: é o organismo do Governo com a autoridade sobre a gestão dos recursos hídricos.

- Harmonização da gestão de água tomando em consideração planeamento físico e protecção ambiental.

Neste contexto pode-se concluir, que a avaliação e a gestão operacional da água subterrânea são feitas a nível local pelas Administrações Regionais de Águas (ARAs), neste caso particular a ARA- Zambeze, sob a coordenação do DGRH/DNA. As ARAs têm o poder de emitir ou cancelar licenças ou concessões do uso e aproveitamento de águas. As ARAs mantêm um cadastro dos utilizadores de água e uma base de dados sobre os recursos hídricos.

Importa referir ainda que fora do MOPH, o Ministério de Recursos Minerais através da Direcção de Geologia (DNG), tem embora muito poucas vezes estado envolvida na efectivação de estudos e pesquisas de águas subterrâneas. A título de exemplo, nos anos 80 a DNG foi a instituição do Governo que mais realizou estudos sobre a pesquisa de águas subterrâneas a nível nacional.

Em Moçambique não existe Regulamento específico de âmbito nacional que vela pelos princípios de perfuração, exploração ou de pesquisa de águas subterrâneas. Não existindo um controlo rigoroso sobre o uso exploração de águas subterrâneas na área de estudo, a percepção geral é de que os furos abertos maioritariamente são para captação de água para o consumo doméstico.

## 4. CAPÍTULO IV: METODOLOGIA E MATERIAIS USADOS

### 4.1 Introdução

Este capítulo descreve os métodos, passos e materiais usados para a colheita, processamento de informação e dados usados para a obtenção de resultados constantes neste estudo. O presente estudo foi basicamente desenvolvido no gabinete, consistindo na utilização e aproveitamento de informações e dados geohidrológicos existentes nas diferentes instituições do sector de águas, com destaque para a DNA e a ARA- Zambeze. Foi efectuado um trabalho de campo, com vista a aferir os dados consultados. Os subcapítulos que seguem apresentam a metodologia e os passos levados a cabo para a realização do estudo.

### 4.2 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi a primeira actividade a ser realizada no âmbito do presente estudo. Esta actividade consistiu na procura, recolha de informação e dados, artigos publicados em revistas, relatórios, brochuras, jornais e outros documentos que tratam da hidrogeologia da região de Tete, e em especial da cidade de Tete. Portanto, o autor fez levantamento de dados geohidrológicos junto de várias instituições ligadas aos recursos hídricos tais como a DNA, ARA- Zambeze, Departamento de Geologia da UEM, DNG, Conselho Municipal de Cidade de Tete e outros. Recorreu-se também à pesquisa de informação na *Internet*.

Foram revistos artigos e estudos hidrogeológicos realizados por várias individualidades e instituições em Moçambique e outras partes do Mundo, o destaque vai para os Relatório nº 12/92 “*Estudo Hidrogeológico em Matundo, M’paduè e Deguè*” e o Relatório 18/89 “*Estudo Hidrogeológico no Vale de Nhartanda e na Área de Matundo*”, ambos produzidos pela DNA. Igualmente, foram grandemente consultadas as *Carta Hidrogeológica de Moçambique (1987)* e a *Carta Geológica de Moçambique (2007)*, com as respectivas *Notícias Explicativas*.

### **4.3 Trabalho de Campo**

Dada a insuficiência de dados, foi necessário fazer-se um trabalho complementar através da recolha de dados no campo, que foi realizado basicamente para obtenção de níveis (estáticos e dinâmicos), CE, bem como, captação de imagens e aferição de coordenadas geográficas de algumas fontes consideradas estratégicas para o presente estudo. Para a medição dos níveis e CE foi usada uma sonda eléctrica e um conductivimétrico. Ao passo que para a obtenção das imagens usou-se uma máquina fotográfica simples.

Durante os trabalhos de campo foram auscultados os gestores de recursos hídricos quer local<sup>5</sup>, assim como a nível nacional, incluindo entidades e alguns singulares que directa ou indirectamente estão envolvidos no processo de uso e aproveitamento do vale de Nhartanda e Matundo. As entrevistas informais efectuadas apoiaram na confrontação da informação constante nos relatórios consultados durante a pesquisa bibliográfica.

Foram igualmente efectuadas diversas e prolongadas visitas às estações de tratamento de águas e respectivas elevações que abastecem quer na cidade de Tete centro assim como do lado de Matema (Matundo), tendo-se inteirado do funcionamento dos furos e da situação da qualidade de água tratada e distribuídas aos consumidores.

### **4.4 Colheita e Organização de Informação e Dados**

A base de dados (BdD) existente na DNA tem informação geral da litologia, bem como, informação detalhada sobre a construção dos furos. Contudo, esta BdD tem somente informação produzida até o ano 2000. A BdD da ARA- Zambeze tem muito pouca informação sobre a geohidrologia da área. Contudo, a ARA embora de forma muito irregular, desde 2008 começou a implementar um programa de monitoramento das águas subterrâneas estabelecendo um cadastro, através de medição de níveis hidrostáticos e hidrodinâmicos dos furos de produção localizados

---

<sup>5 5</sup> Gestão local de recursos hídricos, efectuada pela Administração Regional de Águas do Zambeze

no vale de Nhartanda e Matunde. A ARA também recolhe amostras de água para avaliação dos parâmetros qualidade de águas, especialmente físicos, tais como: pH, Temperatura, Oxigénio dissolvido (OD), Conductividade eléctrica (CE), Turvação. A periodicidade de medição é quinzenal, a qual varia sempre que as condições, quer financeiras ou ambientais, assim o exigirem.

De referir que, não existe na bacia do Zambeze uma rede de monitoria de água subterrânea. Os antigos furos de observação (piezómetros) que existiam no vale de Nhartanda e Matundo encontram-se assoreados e maior parte destruídos por vandalização.

Durante a compilação dos dados, constatou-se que inventário efectuado pela DNA e a ARA- Zambeze, contem muito pouca informação sobre a *qualidade de água*. Para colmatar a situação, recorreu-se a boletins de qualidade de água constantes nos relatórios de estudos consultados contendo alguma informação de qualidade química, a qual foi compilada, resumida e representada nas tabelas B-5 e B-6 em Anexo. A insuficiente informação sobre a qualidade de água obtida nestes relatórios é bastante valiosa, mas peca por não conter as coordenadas e em alguns casos não contem a descrição clara sobre a litologia dos pontos de amostragem.

Assim, os boletins de qualidade de água, por estarem incompletos e não apresentarem uma série contínua desejável de medições, dificultaram a efectivação de comparações de forma exaustiva da evolução ou variação da qualidade da água na região quer seja subterrânea como superficial. Contudo, a quantidade de dados usados para o estudo julga-se não colocaram em causa a qualidade dos resultados esperados.

Importa referir que a região se beneficiou de um programa de gestão de recursos hídricos, incluindo de águas subterrâneas, a título de exemplo, o ZAMWAT, no qual foi feito um levantamento de dados geo-hidrológicos. Grande parte dos dados obtidos durante este programa não consta no BdD da ARA- Zambeze, que a nosso entender, foi devido ao facto de não se ter elaborado nenhum relatório consistente contendo matéria relacionado com o assunto.

Nestes termos, para a realização do presente trabalho foi usada informação e dados obtidos nos seguintes documentos temáticos e instituições:

Os **dados climatológicos** sobre a precipitação e temperatura foram colectados no Instituto Nacional de Meteorologia (INAM).

Os **Mapas** e as **cartografias** usados neste relatório foram obtidos na MINAG/CENACARTA- INIA, MOPH/DNA e MIREME/DNG. Os mapas e cartas obtidas nestas instituições foram:

- Carta Hidrogeológica de Moçambique, escala 1:1.000.000- (*publicada em 1987*);
- Mapa Geológico de Moçambique, escala 1:250.000- folha 1633 (*publicada em 2007*);
- Mapa Geomorfológico, escala 1:2.000.000- (*publicada em 1983*);
- Carta de Jazigos e Ocorrência de Minerais, escala 1:1.000.000- (*publica em 2000*);

As **imagens** ou **fotografias** ilustrativas dos vários cenários e das condições da área de estudo, foram obtidas através de uma câmara digital *Olympus Camedia modelo D-390 com 7.0 Megapixel*, as quais foram transferidas e gravadas no computador a partir do aplicativo computacional *Olympus Camedia Master*, versão 4.10, e importadas para o *Word* como arquivo de imagem com extensão *jpg*.

Igualmente, foram usadas imagem do **Google Earth**, captadas em vários períodos durante a efectivação do presente estudo.

Os dados de **população** foram obtidos dos Censos de efectuados em 1997 e 2007 no INE. Fora igualmente obtida a projecção populacional da cidade de Tete até ao ano 2020.

Os **dados gerais dos furos e da litologia**, incluindo **perfis geológicos** e **geofísicos** foram obtidos na BdD da DNA. Daí, foram seleccionadas apenas furos com dados corresponde à cidade de Tete e bairros circunvizinhos. Para a análise detalhada da

litologia foram usados apenas dados dos furos localizados no vale de Nhartanda e Matundo, tendo sido constatados 11 furos no vale de Nhartanda e 14 no campo de captação de Matundo, nas margens do rio Révubuè. No entanto, cinco (5) destes furos apresentam mesmas coordenadas apesar de os dados temáticos serem diferentes entre eles, presumindo-se que as coordenadas foram mal tiradas.

Esforço adicional foi feito junto ao FIPAG<sup>6</sup> Tete, para obtenção de dados sobre os furos, o que resultou na obtenção de dados de 9 furos do vale de Nhartanda e 6 furos do campo de furos do Révubuè. O FIPAG terá igualmente informado de existência de planos para a abertura de mais furos particularmente em Matundo. Isso visa mitigar a actual demanda que se verifica naquele local da cidade de Tete. Como pode-se constatar, o objecto de amostragem dessa pesquisa foram os furos, ou seja, água subterrânea e suas propriedades físicas, químicas e hidráulicas.

### **Organização dos Dados**

Com vista a facilitação na análise dos dados, e em função da insuficiência de informação verificada no local, associado ao baixo grau de conhecimento hidrogeológico na área de estudo, foi desenvolvido um cadastro das fontes de água na área de estudo. Para o efeito, foi usado o programa informático *Excel* 2007. Os dados compilados e dispostos em Anexo B, estão organizados em tabelas em forma de BbD em papel e em *spreadsheet* na forma digital. Cada furo comporta um conjunto de informações essenciais que constituem o principal suporte na construção de tabelas, gráficos e mapas constantes neste relatório. Esta informação inclui dados litológicos, coordenadas das fontes, dados de construção dos furos, assim como dados de profundidade, nível de água estático e dinâmico, caudais, incluindo dados sobre a qualidade de água.

Os dados foram sujeitos a várias análises em programas informáticos como *Excel*, *MapInfo* e *ArcView*. *ArcGis*, *ArcInfo*, *Surfer*. As coordenadas contidas nos dados gerais encontram-se no Sistema *Universal Transversal de Mercator* (UTM).

---

<sup>6</sup> FIPAG, entidade responsável na gestão e operação das fontes de águas subterrâneas existentes nos dois campos de furos, *designadamente*, vale de Nhartanda e Matundo.

A maioria da informação e dados usados neste relatório foram obtidos na BdD da DNA e da ARA- Zambeze. Estas BdDs, no geral não têm informação suficiente sobre a qualidade de água. Felizmente, uma parte da informação ainda não constante nestas BdD foi encontrada em papel (*hardcopy*) e nos relatórios existentes. Assim, os principais dados usados no estudo são: níveis hidrostáticos e dinâmicos dos furos, os caudais específicos e de exploração, litologia do material perfurado. Para a análise de qualidade de água usou-se a conductividade eléctrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, turvação, oxigénio dissolvido, coliformes totais. Foram igualmente usados dados de topografia e características dos solos.

#### **4.5 Seleção do Método**

Existem vários modelos usados para avaliação da vulnerabilidade natural de águas subterrâneas, conforme listado no capítulo 2. Para o presente estudo foi aplicado o *Excel* e o método de GOD. Para a análise estatística da variação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água, incluído a representação gráfica dos dados, fez-se com auxílio do *Excel* e com algumas ferramentas do Sistema de Informação Geográfico (GIS), como instrumento auxiliar na gestão de recursos hídricos. A escolha destes métodos prende-se com o facto da sua facilidade no manuseamento, na representação e distribuição espacial dos dados, bem como pelo facto de na área de estudos não existir uma cobertura significativa de informação e dados. Outro factor que ditou a escolha do método, é pelo facto dos mesmos métodos auxiliarem de forma ampla na descrição hidrogeológica, tendo em conta que na área de estudo não foram realizados estudos similares, em especial de componentes relacionadas com a análise de vulnerabilidade dos aquíferos e gestão das águas com o nível de detalhe apresentado nesta pesquisa.

*As outras razões que motivaram o uso do método foram:*

- Fácil aplicação do método o que orienta o utilizador na criação de bases de dados e pormenores sobre representação espacial dos dados, não havendo, muitas vezes, restrições nem limitações ao número de estruturas de bases de dados nem de tabelas a definir;

- Disponibilidade de várias funcionalidades de mapeamento GIS que, com facilidade os mapas podem ser acedidos e manipulados nos outros programas informáticos de análise especial;
- Fácil interpretação de dados geológicos e hidro-estratigráficos.

#### 4.5.1 *Interpolação Espacial*

Os mapas de distribuição espacial de furos de captação de águas, isolinhas de condutividade eléctrica, contornos de nível estático e dinâmico da água, isolinhas de profundidades, mapas ilustrativos da variação de parâmetros hidroquímicos e da vulnerabilidade, foram elaborados com o programa ArcGIS e SURFER 8, tendo sido utilizado o algoritmo de interpolação *krigagem*. Após a execução dos mapas em ArcView e Surfer foram exportados em formato *shapefiles*, para ArcGIS 9.2, onde foram re-trabalhados e editados.

Para a elaboração da superfície ou cota potenciométrica (S.P.) da área de estudo, foram utilizados os valores de níveis estáticos de 59 de 94 furos encontrados a nível da cidade de Tete, sendo 15 e 14 localizados no vale de Nhartanda e Matundo respectivamente. A cota potenciométrica de cada furo foi calculada individualmente a partir da relação abaixo:

$$SP = Cota\ altimétrica - Nível\ estático\ [m] \quad (4.1)$$

A superfície potenciométrica é obtida utilizando-se a cota da boca do furo até à profundidade a que se encontra a água. Esta superfície é muitas das vezes indicadora da direcção do fluxo subterrâneo. Esta direcção pode mostrar igualmente o sentido de difusão de uma contaminação, caso exista alguma poluição a partir da superfície do terreno atingindo a zona saturada ou topo do aquífero.

A representação espacial da informação geo-hidrológica utilizou-se, portanto, o caudal dos furos, nível hidrostático e profundidade dos furos. Para a representação espacial dos dados de qualidade das águas subterrâneas, foram seleccionados

parâmetros contendo dados com representação quantitativa e qualitativa significativa, como é o caso das concentrações dos STD, pH, CE e Fe. As tabelas e os gráficos foram produzidos com o programa informático *Excel*. Importa igualmente referir que algumas figuras foram desenhadas manualmente.

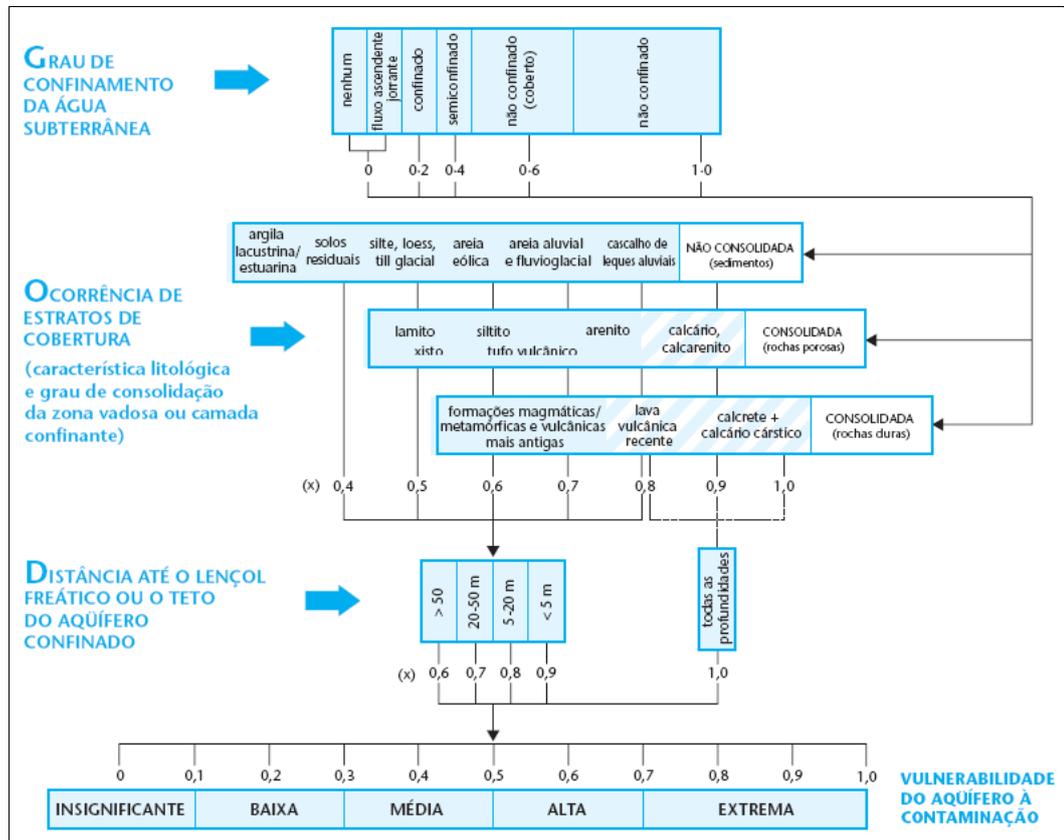
#### **4.5.2 Determinação da Vulnerabilidade Usando o método GOD**

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos foi utilizada a metodologia GOD proposta por Foster & Hirata (1993). No método GOD cada letra representa um parâmetro a ser avaliado; sendo:

- “**G**” (*Groundwater occurrence*) o tipo de ocorrência da água subterrânea segundo o grau de confinamento hidráulico. Indica a ocorrência de formações geológicas permeáveis, impermeáveis ou semipermeáveis, que têm influência directa na velocidade de escoamento da água subterrânea.
- “**O**” (*Overall litology of aquiperm*) o litótipo da zona não saturada, portanto, é representada e obtida com base no perfil geológico do furo, sendo que, dependente do tipo do material ocorrente nas camadas sobrejacentes ao topo do aquífero, essas camadas são atingidas pelas perfurações como a do furo em análise. Representa a capacidade de atenuação natural dos estratos de cobertura do aquífero, considerando o grau de consolidação das partículas e a capacidade de retenção físico-química ou da capacidade de reacção dos contaminantes com o meio.
- “**D**” (*Depth of water*) a profundidade em metros entre a camada da superfície do terreno e o topo do aquífero no ponto. É também do nível da água em aquíferos livres ou nível estático. Por outro lado, denota a distância natural da água à superfície do terreno, também denominado nível estático. Essa distância, portanto, está livre de interferências instantâneas relacionadas à variação do nível, tais como o bombeamento.

Em termos matemáticos, a vulnerabilidade é inversamente proporcional ao confinamento, ao nível estático e à consolidação e a capacidade de reacção dos estratos de cobertura. Esses três parâmetros são multiplicados entre si, gerando um

índice final de vulnerabilidade para o aquífero. Os valores de G, O e D, são atribuídos conforme a metodologia apresentada na figura 4-1.



**Figura 4-1: Fluxograma para avaliação de vulnerabilidade do aquífero à contaminação**  
(Foster et al, 2006)

Para a determinação do grau de risco do sistema de aquífero, a metodologia GOD de vulnerabilidade foi seguida, acoplado a esta um sistema de análise que considere as cargas contaminantes impostas em superfície, além do fluxo da água do aquífero livre. A Vulnerabilidade do aquífero a contaminação e seu Índice de Vulnerabilidade (IV) podem ser obtidos pela fórmula matemática [4.2] indicada abaixo, sendo que a vulnerabilidade é expressa em números de 0 a 1, como insignificante, baixa, média, alta e extrema conforme ilustrado na figura 4-1.

$$IV = G \times O \times D \quad [-] \quad (4.2)$$

Onde:

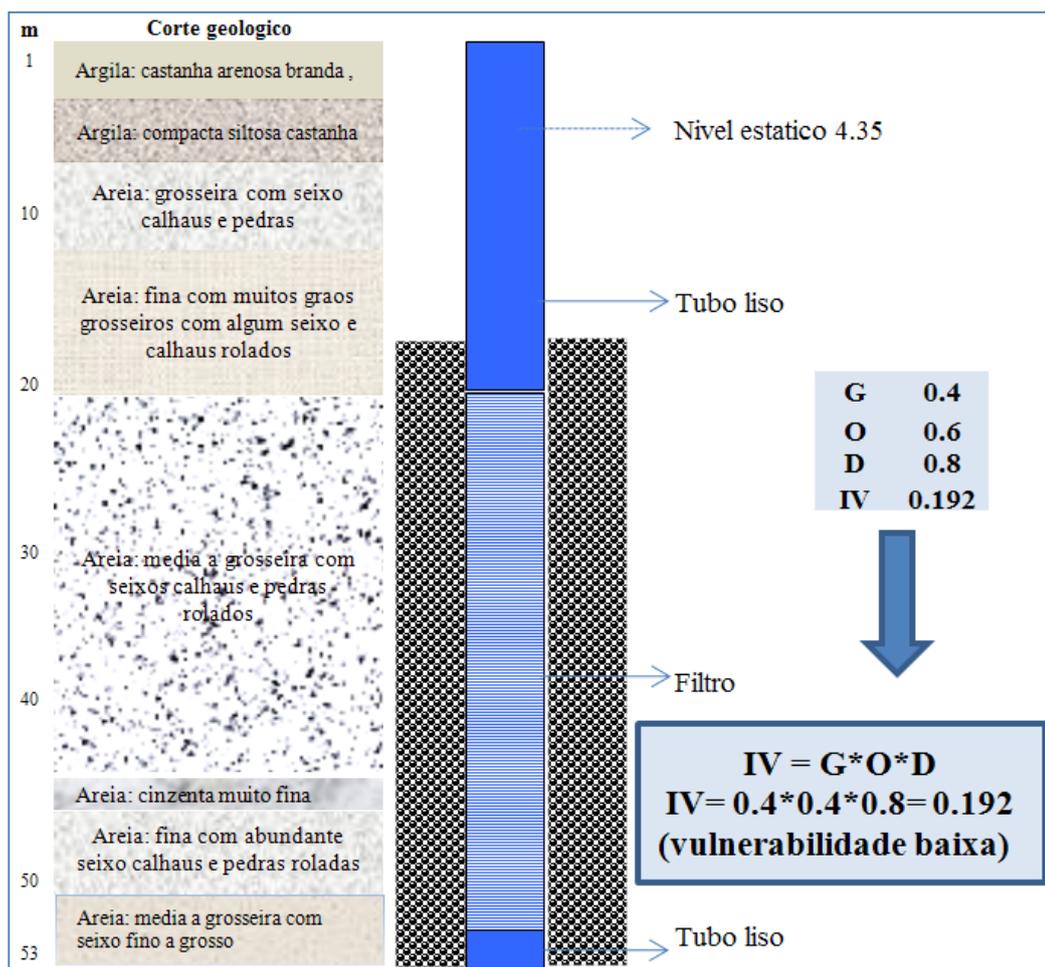
- IV = Índice de vulnerabilidade  
G = Tipo de ocorrência de água subterrânea

- O = Ocorrência litológica  
 D = Profundidade do nível estático

**Tabela 4-1: Intervalos de vulnerabilidade da metodologia de GOD**  
 (Foster, 2006)

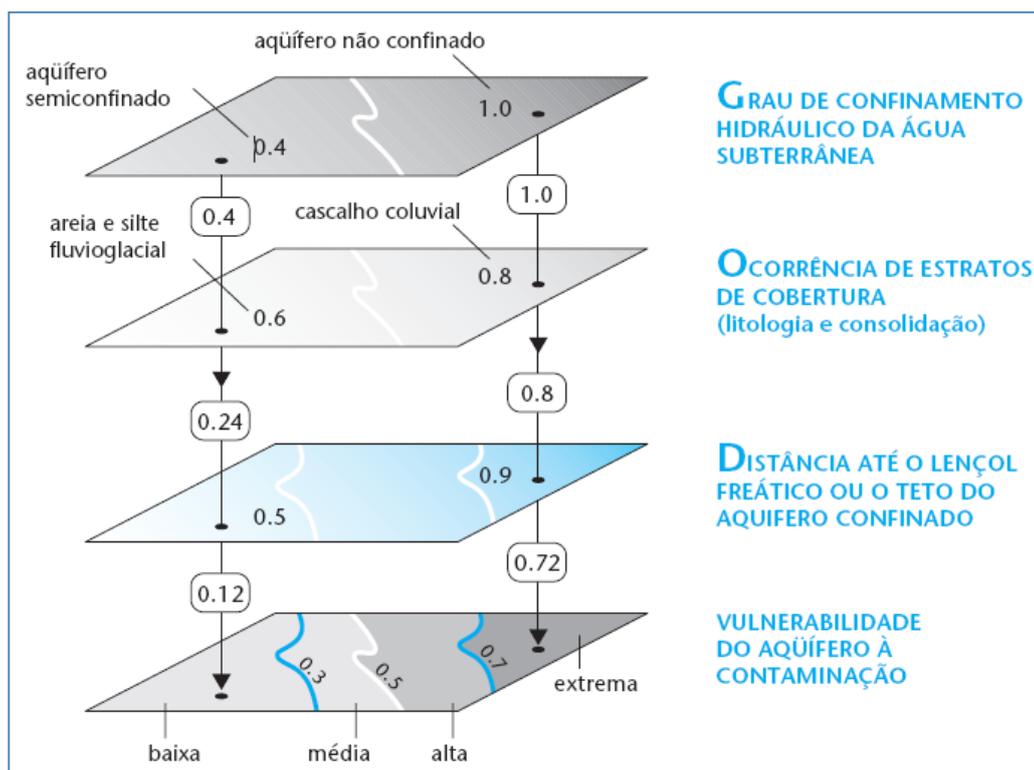
Vulnerabilidade	Intervalos	Cor
Insignificante	0,0 – 0,1	Branca
Baixa	0,1 – 0,3	Verde
Media	0,3 – 0,5	Amarela
Alta	0,5 – 0,7	Laranja
Extrema	0,7 – 1,0	Vermelha

A figura 4-2 ilustra a sistemática para obtenção do índice numérico de vulnerabilidade em cada furo. Assim, foram calculados os índices numéricos individuais de cada um dos 15 furos, sendo 9 do vale de Nhartanda e 6 do vale de Matundo. Conforme indica a figura 4-2, cada parâmetro deve ser multiplicado do outro, obtendo-se o índice de vulnerabilidade do aquífero a contaminação. Como por exemplo, para o furo com a designação F1 (ver o Anexo B, Tabela A-1), localizado no vale de Nhartanda, quanto ao grau de confinamento hidráulico, esse furo recebe o peso 0.3, pois ele constitui um aquífero confinado.



**Figura 4-2: Exemplo de aplicação do método de GOD**

A criação do mapa de com a distribuição espacial dos índices de vulnerabilidade obtidos a partir do método de GOD seguiu os procedimentos adoptados na figura 4-3. Isso foi efectuado usando os pacotes informáticos e a tecnologia do SIG (*Sistema de Informações Geográficas*). Algumas figuras constantes neste estudo foram feitas manualmente traçando-se o contorno de cada um dos três factores e sobrepondo-os em um mapa final. Foi usado o mapa hidrogeológico nacional e estudos de recursos hídricos subterrâneos efectuados na área de estudo, os quais contêm dados básicos e necessários para o objecto do estudo. Usou-se também, com frequência e de forma suplementar informações, mapas geológicos e dados de registos de perfuração de furos da cidade de Tete.



**Figura 4-3: Produção de mapa de vulnerabilidade usando o sistema GOD**  
(World Bank, GW-MATE, 2006)

Para elaboração da espacialização da vulnerabilidade, utilizou-se o programa SURFER 8.0 e como método de interpolação matemática a *krigagem*, cujo método atribui valores a espaços vazios a partir das informações em pontos (furos) com valores calculados ou determinados, obtendo-se um cartograma.

Para a elaboração dos mapas referentes a cada índice foram utilizadas ferramentas *3D Analyst e Spatial Analyst*, as quais correspondem as extensões que são accionadas no *ArcView, ArcGis* e permitem a interpolação de valores, produzindo, como resultado, mapas em formato *GRID*, que representam a organização da informação espacial por conjuntos de células, visualizadas através de um gradiente de cores.

O mapa de profundidade do lençol de água foi elaborado com base nos dados de furos, equivalendo a índices de grandeza D. Para a sua produção foram seleccionados 68 furos, sendo 37 de Nhartanda e 31 para a área de Matundo, os

quais apresentam profundidades não superiores a 21 metros e de diâmetro de revestimento comum de 6".

Por fim, concluída a definição e elaboração de mapa, relacionados os índices, procedeu-se à multiplicação dos valores G, O e D, obtendo, como resultado, o mapa de vulnerabilidade igualmente em formato *GRID*.

#### 4.5.3 *Determinação de Características Hidráulicas*

Para o conhecimento da produtividade dos aquíferos e rendimento dos furos, houve a necessidade da determinação e avaliação das características hidráulicas dos aquíferos como a *permeabilidade*, a *transmissibilidade* e a *resistência hidráulica*. Estes foram calculados com base nos dados de ensaios de infiltração e de caudal. Não tendo havido a possibilidade de execução de ensaios de caudal foram usados dados extraídos dos relatórios de estudos efectuados nos anos noventa pelas DNA. Foram igualmente, executados testes simples de infiltração para avaliar a permeabilidade da formação que ocorre no topo (formação de cobertura).

O teste de infiltração efectuado consistiu na abertura de um orifício com um diâmetro e profundidade conhecida. De seguida introduziu-se água no orifício e mediu-se o tempo que essa levou a infiltrar. Portanto, o método é baseado no princípio de que a velocidade de descarga de água introduzida no orifício, reflecte a permeabilidade saturada. Kessler e Ooterbaan (1997) derivaram uma fórmula para calcular a *permeabilidade saturada* através destas medições.

$$K = -1.15R \times \frac{\log[H(t_1) + R/2] - \log[h(t_n) + R/2]}{t_n - t_1} \quad [m/dia] \quad (4.3)$$

Onde:

K	=	permeabilidade	[m/dia]
R	=	Raio do orifício	[m]
H(t <sub>1</sub> )	=	altura de água no orifício em tempo t inicial	[m]
t <sub>1</sub>	=	tempo de início	[d]

$t_n$  = tempo no momento  $n$  [d]

Assim, foram executados 15 testes simples de infiltração, sendo 9 no vale de Nhartanda e os restantes 6 na área de Matundo.

Com vista a determinar a *transmissibilidade* do aquífero, foram usados 11 ensaios de caudal<sup>7</sup>, tendo sido usado o método interpretativo de *Logan* e o método de *Jacob* in *Sonneville* (1984). No método de Logan assume situação de fluxo permanente, contendo várias estimações empíricas e, portanto, é pouco representativo<sup>8</sup>. O método de Jacob o rebaixamento no furo é medido durante o ensaio, contudo, os resultados deste método são influenciados pela construção do próprio furo e são menos representativos para o aquífero.

### **Determinação da Recarga dos Aquíferos**

A recarga é calculada usando dados de precipitação, evapotranspiração e escoamento subterrâneo. Para calcular quantitativamente a recarga do aquífero para um determinado período, é necessário determinar e analisar diversos parâmetros, conforme a equação simplificada apresentada abaixo.

$$R = P - ES - Eta - \Delta s \quad [m^3] \quad (4.4)$$

Ou, pela equação

$$R = P \pm AS\Delta h + Q_{R1} + Q_{RL} + Q_{R2} + Q_1 \quad [m^3] \quad (4.5)$$

Onde:

- $R$  = volume da recarga que penetra no aquífero
- $P$  = volume de água extraída no aquífero
- $A$  = área da região de balanço
- $\Delta h$  = modificação do volume de água no aquífero

---

<sup>7</sup> Fonte: dos dados: relatório 12/92 DNA, 1992;

<sup>8</sup> Na literatura fala-se sobre um intervalo de erro até 50%. Na maioria dos ensaios em que o método foi utilizado a situação do fluxo provavelmente, não foi atingida. Contudo, acha-se que para o área de Matundo a transmissibilidade determinada através do método de Jacob é mais representativa disponível.

- $Q_0$  = volume de água que sai dos limites da região do balanço pelos rios  
 $Q_{R1}$  = volume de água que sai dos limites de balanço pelos rios  
 $Q_l$  = volume de água que penetra, procedentes de aquíferos vizinhos  
 $Q_{R2}$  = volume de água que penetra no aquífero

Pelas equações (4.4) e (4.5), é evidente que só com o conhecimento claro de cada um dos componentes da equação possibilita-se a determinação do valor da recarga do aquífero, que no caso particular de Nhartanda e Matundo não estão disponíveis. Por outro lado, a dificuldade na determinação da recarga do aquífero prende-se ao facto de não se conhecer a quantidade de água que se escoia na área. Esta quantidade de água só pode ser estimada, porém também é variável com o tempo. Em adição, não existem medições regulares dos restantes parâmetros constantes nas definições referidas acima. Entretanto, no estágio actual seria muito difícil, se não mesmo impossível a determinação da recarga do aquífero que ocorre na área de estudo. Contudo, foi analisada a recarga qualitativa nos dois aquíferos na área de estudo tendo em conta as condições geo-morfológicas e hidrogeológicas da cidade de Tete.

O *Fluxo ou Direcção das Águas Subterrâneas*, foi calculado e estimado com base no gradiente hidráulico ( $\Delta h/L$ ), o qual corresponde à razão entre as variações de carga hidráulica e comprimento percorrido na direcção do fluxo. Este, fisicamente mede a inclinação da superfície da água subterrânea. O gradiente hidráulico é calculado a partir do levantamento topográfico do terreno e da medida da profundidade do nível estático em dois poços de referência e da distância existente entre eles. Os dados do levantamento topográfico e da profundidade do nível freático são usados para calcular a cota topográfica do nível estático. Obtido este valor, pode-se calcular o gradiente hidráulico através da expressão matemática:

$$i = \frac{h_2 - h_1}{L} = \frac{\Delta h}{\Delta X} \quad (4.6)$$

Sendo:

- $I$  = gradiente hidráulico,  
 $h_1$  = carga hidráulica no furo de referência 1 (cota do nível estático),

- $h_2$  = carga hidráulica no poço de referência 2 (cota do nível estático),  
 $L$  = Distância entre o poço de referência 1 e o poço de referência 2.

Para o cálculo de caudal de exploração dos aquíferos, foi utilizada a Lei de Darcy, definida a partir da expressão matemática abaixo:

$$V_d = -K \times \frac{\Delta h}{\Delta X} = K \times i \quad [\text{m/dia}] \quad (4.7)$$

Onde:

- $I$  = gradiente hidráulico [-]  
 $K$  = permeabilidade [m/dia]  
 $V_d$  = Velocidade de Darcy [m/dia]  
 $L$  =  $\Delta X$ , o comprimento do aquífero [m]

#### 4.5.4 Avaliação da Qualidade de Água

Para a avaliação de qualidade de água foi usada a análise estatística clássica sobre os valores de concentração e teores dos parâmetros físico-químicos da água com especial atenção para as fontes localizadas nas captações de Nhartanda e Matundo. Para o tratamento de dados usou-se programas informáticos como o Excel, Surfer incluindo alguns pacotes do GIS como é o caso de análise espacial, permitindo a elaboração de mapas e gráficos ilustrativos de valores de parâmetros que excedem o valor máximo tolerável para o consumo humano.

A análise dos parâmetros de qualidade de água cingiu dois períodos de tempo, especificamente, o primeiro entre os anos 1990 a 1999 e o segundo referente aos 10 anos seguintes, isto é, de 2000 a 2009, tendo sido posteriormente comparada a variação dos dados para as fontes localizados no campo de furos de Nhartanda e Matundo. Importa referir que no período entre 1990 a 1999, foi a época que apresentou com muito pouca informação e dados.

As análises foram maioritariamente referentes a parâmetros físicos, uma vez que estes são os que tiveram uma quantidade representativa de dados. Foram feitas tentativas de obtenção da informação de análise química e bacteriológica junto a entidade que actualmente gere o sistema de abastecimento de água à cidade, sem, no entanto, ter conseguido obter a informação suficiente.

#### ***4.5.5 Definição de Área de Protecção dos Aquíferos***

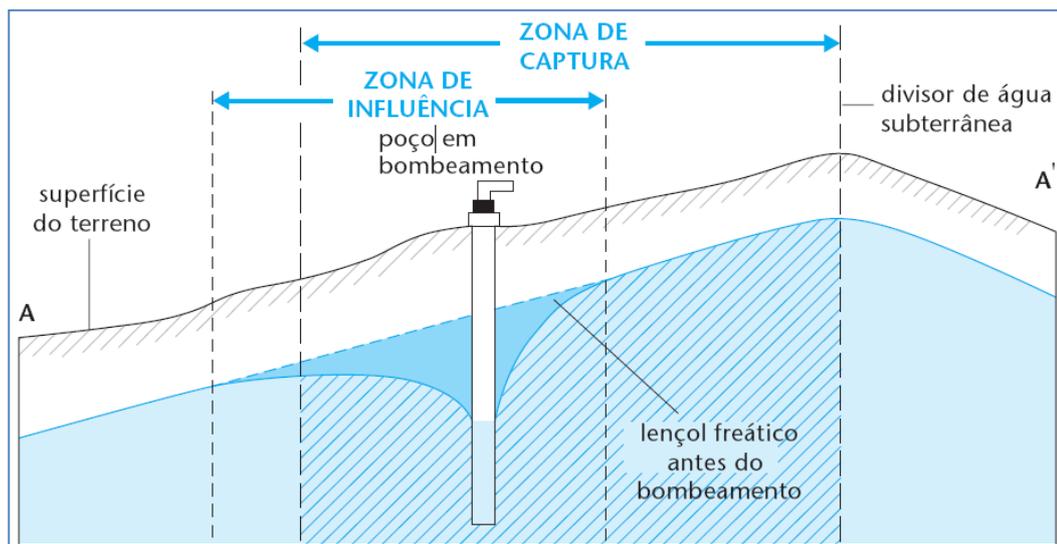
Cada paradigma científico tem o seu próprio sistema de valorização. Os cientistas de recursos hídricos definem zonas de protecção das águas subterrâneas, normalmente associadas a nascentes e furos, assumindo que estas áreas demonstram a relevância para a manutenção da qualidade e da quantidade da água.

Na verdade, a água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento económico e seguro de água potável no meio urbano e rural, e desempenha papel fundamental (embora frequentemente pouco valorizado) para o bem-estar tanto dos seres humanos como de muitos ecossistemas aquáticos.

A actividade humana tem sido um dos factores principais de contaminação das águas subterrâneas, relacionada com a sua proximidade de uma fonte de abastecimento subterrânea. A ameaça de contaminação depende especificamente dos seguintes factores:

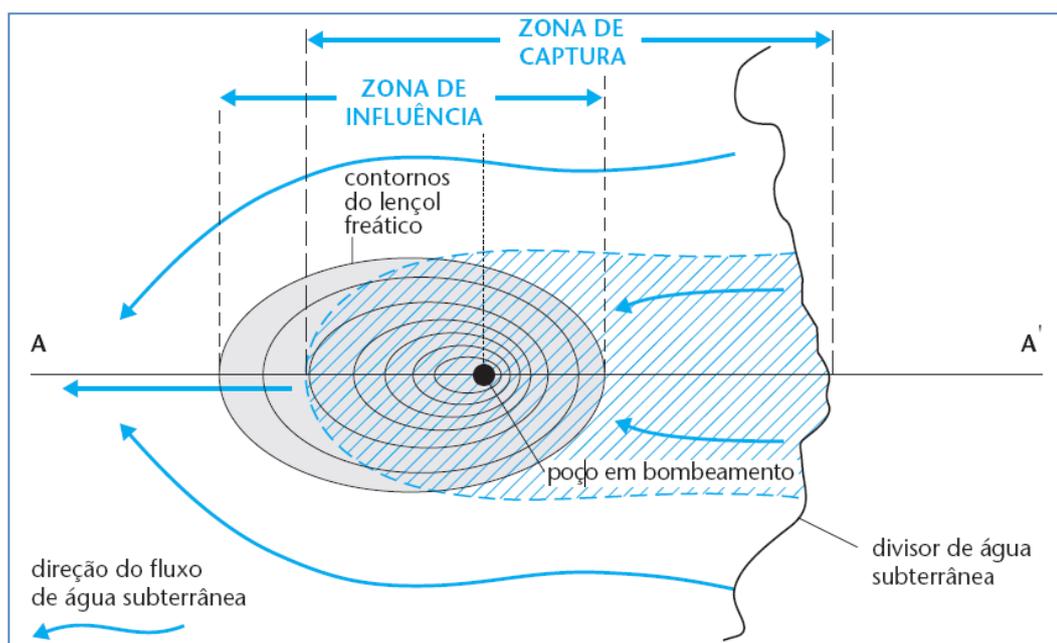
- Se a actividade desenvolvida está localizada dentro da zona de captação, ou seja, da área de recarga do aquífero;
- O tempo de trânsito horizontal da água subterrânea no aquífero, desde o local da actividade até ao ponto de extracção da fonte de abastecimento.

Abaixo apresenta-se a figura ilustrando a distinção entre uma zona de captação e uma de influência de um furo de produção.



**Figura 4-4: Perfil vertical (zona de captação e zona de influência)**  
*(World Bank, GW- MATE, 2006)*

As áreas de protecção das fontes de abastecimento de água, também conhecidas como perímetros de protecção, devem ser protegidas contra: contaminantes que se degradam com o tempo, caso em que o tempo de residência no subsolo é a melhor medida de protecção, e contaminantes não degradáveis, caso em que se deve providenciar uma diluição associada ao fluxo principal.

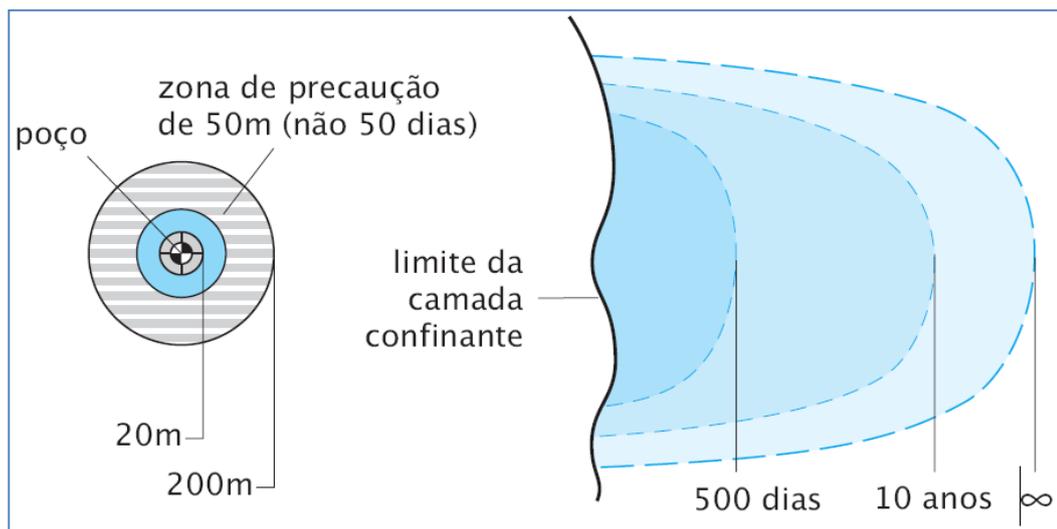


**Figura 4-5: Vista em planta (zona de captação e zona de influência)**  
*(World Bank, GW- MATE, 2006)*

As duas medidas são necessárias para uma protecção completa. A diluição dos contaminantes por meio dos mecanismos de advecção e dispersão associado com o fluxo de água subterrânea é geralmente a forma de atenuação predominante. Entretanto, alguns contaminantes podem ser afectados por processos de degradação (ou decaimento) e outros, como a absorção e a precipitação.

A fim de eliminar completamente o risco de contaminação inaceitável de uma fonte de abastecimento, todas as actividades potencialmente contaminantes teriam de ser proibidas (ou totalmente controladas) dentro de toda a sua zona de captura. No entanto, isso com frequência é impraticável ou economicamente inviável, em virtude das pressões sócio-económicas para o desenvolvimento. Assim, faz-se alguma divisão da zona de captura, de modo que as restrições mais rigorosas ao uso do solo sejam aplicadas somente nas áreas mais próximas da fonte. Essa subdivisão poderia basear-se em vários critérios, incluindo distância horizontal, tempo de trânsito horizontal, proporção da área de recarga, diluição na zona saturada e/ou capacidade de atenuação. Mas, para a aplicação geral, considera-se que o mais adequado é uma combinação dos critérios tempo de trânsito (horizontal) e distância até a fonte. A protecção especial de uma parcela da zona de captura seria (sob certas circunstâncias) a solução mais recomendada para reduzir a contaminação agrícola difusa, mas mesmo nesse caso há dúvidas sobre qual parte seria melhor proteger.

Por meio de dados (e hipóteses) sobre as condições hidrogeológicas locais e as características da própria fonte de abastecimento de água subterrânea, pode-se definir uma série de zonas geralmente concêntricas na superfície do terreno ao redor da fonte (Adams & Foster, 1992; Foster & Skinner, 1995). Tendo em vista a protecção do abastecimento de água, as actividades de uso do solo mais próximas das captações terão de ser submetidas a níveis cada vez maiores de controle, o que tende a variar de acordo com as condições e necessidades locais.



**Figura 4-6: Zonas de captação e perímetros do tempo de trânsito**  
*(World Bank, GW- MATE, 2006)*

## **5. CAPÍTULO V: RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Introdução**

Neste capítulo são apresentadas as discussões e resultados do presente estudo, procurando responder aos objectivos definidos. Assim, foram feitas várias análises das características e do material subterrâneo e de dados de furos existentes na cidade de Tete, com particular destaque para os furos localizados no vale de Nhartanda e na área de captação de Matundo. As principais constatações foram confrontadas com os resultados obtidos em outros estudos desenvolvidas na área da presente pesquisa. A determinação dos resultados teve em consideração com o impacto que a presente dissertação pode contribuir no conhecimento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos na área de estudo, tendo em conta que os aquíferos de Nhartanda e Matundo são principais fontes de abastecimento de água a cidade de Tete.

### **5.2 Situação Actual de Abastecimento de Água**

A cidade de Tete é abastecida de água subterrânea, pois, não dispõe de nenhum sistema de captação e abastecimento a partir das águas dos rios Zambeze e Révubuè. Para o consumo doméstico depende basicamente da água subterrânea extraída através de furos localizados nos aquíferos do vale de Nhartanda e de Matundo, com a excepção de alguma população que vive nas proximidades dos rios, as quais usam água não tratada extraída directamente dos rios.

A figura 5-1 mostra a distribuição espacial dos furos a nível da cidade de Tete. Neste mapa pode se ver a densidade dos furos no vale de Nhartanda e área de Matundo quando comparado com a restante área. Deve-se salientar que, a área que não possui furos é devido ao seu carácter hidrogeológico, o qual apresenta limitada ocorrência de águas subterrâneas. Pode-se afirmar que, a nível da cidade de Tete, existem poucos furos com uso individualizado. Como isso, a população é exclusivamente dependente da água subterrânea captada nos aluviões dos rios Zambeze e Révubuè.

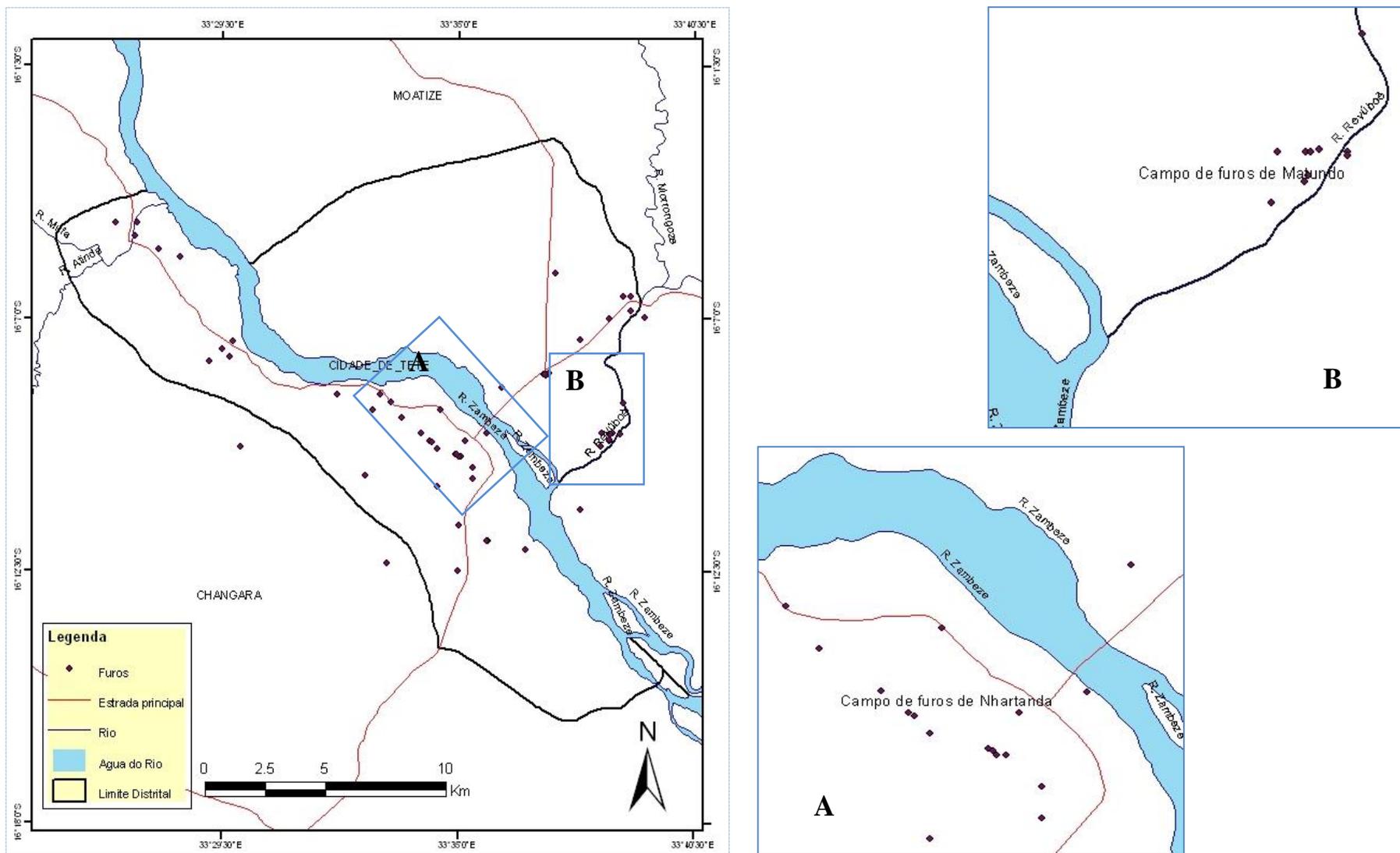


Figura 5-1: Distribuição espacial de furos no distrito de Tete

Os sistemas de abastecimento de água, quer na cidade de Tete (centro), quer do lado de Matundo/ Matema, são geridos pelo FIPAG<sup>9</sup> e a maioria dos furos em utilização foram abertos na década 70. O sistema contempla 15 fontes, sendo 9 localizados no campo de furos de Nhartanda e 6 do Révubuè (Matundo), as quais abastecem a através de uma rede de distribuição para a cidade cimento e pequenos sistemas para a área de Matundo/Chingodzi e os bairros de Deguè e M'paduè, como pode-se descrever a seguir:

### **Cidade de Tete (Cidade-centro)**

No centro da cidade, onde inclui os bairros Josina Machel, Mateus Sanção Mutemba, Francisco Manyanga, Filipe Samuel Magaia e Samora Moisés Machel, para o abastecimento doméstico, as populações têm como fonte a água captada nos furos localizados no vale de Nhartanda. Ao longo do vale de Nhartanda, foram identificados cerca de 24 furos, sendo 9 parte do campo de furos de abastecimento à cidade, o qual é gerido pelo FIPAG em coordenação com a ARA- Zambeze. Destes 9, apenas sete estão actualmente em funcionamento, e estão equipados com electrobombas. A água é bombeada deste colector para o centro principal de distribuição através de um grupo de três bombas. Do centro de distribuição a água é distribuída por graviticamente pela rede. Devido ao facto de a cidade ter sido edificada sobre um afloramento rochoso, em muitas artérias da cidade a tubagem de distribuição está à superfície e é susceptível à danificação, ligações clandestinas e até à contaminação. Segundos os dados constantes no BdD da ARA- Zambeze e da DNA, os furos apresentam caudais superiores a 90 m<sup>3</sup>/h.

Nas margens do vale encontram-se furos de produção equipados com bombas manuais, os quais estão completamente danificados e ou assoreados, estando deste modo inoperacionais. Importa referir que, a maioria dos furos abertos nas margens reportam a ocorrência de água ligeiramente salgada. Da figura 5-1, pode-se constatar que a nível da cidade existem poucas fontes dispersas com gestão privada

---

<sup>9</sup> Intidade responsável pela gestão do sistema e abastecimento de água a cidade de Tete e bairros arredores

ou singular. A população também se recorre a alguns poços abertos localmente e antigos sistemas de captação.

É importante referir que ao longo do vale de Nhartanda não existe nenhum furo operacional de observação ou piezómetro para o monitoramento dos níveis de água. Este exercício é feito através de furos de produção aí existentes.



**Figura 5-2: Sistema de abastecimento de água à cidade de Tete**  
(Foto pelo autor, Agosto de 2010)

### **Bairros de Matundo e Matema**

A área de Matundo/ Matema com uma superfície de 151 km<sup>2</sup>, com uma população cerca 37000 habitantes (INE, 2007), está situada a Nordeste (NE) da cidade de Tete, a jusante do rio Zambeze, e é atravessada pelo rio Révubuè. O campo de furos de Matundo está localizado a Noroeste do bairro, na margem esquerda do rio Révubuè, nas proximidades da confluência com o rio Zambeze, num banco de terra de depósitos aluvionares que ocupa uma área de cerca de 700x250m.

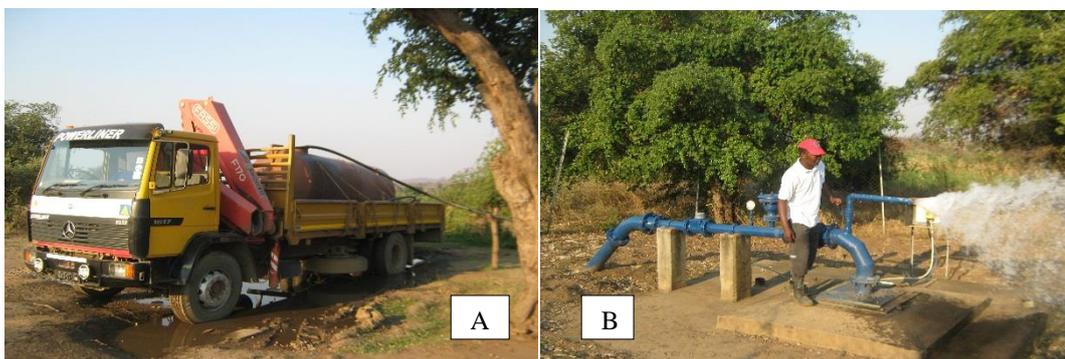
Na zona de Matundo, desde da década 90 notou-se um crescimento populacional bastante acelerado, aliás, é considerada actualmente como sendo a principal zona de expansão da cidade Tete, verificando-se nela uma massiva construção de residências habitacionais. A zona é abastecida por um pequeno sistema, cobrindo cerca de cinco bairros, nomeadamente: bairro de Matundo, Chingodzi, Matema, Azul e bairro de Cambinde.

O abastecimento de água no bairro é feito através de um sistema canalizado de água extraída em 6 furos sobre o aquífero localizado nas margens do rio Révubuè. Durante a execução do presente estudo, estavam em curso os trabalhos de

perfuração de mais dois furos localizados muito próximo dos furos então em exploração.

A população com acesso limitado à rede de distribuição convencional, maioritariamente a que vive perto do rio, usa água captada directamente deste e consomem-na sem nenhum tratamento, colocando em causa a sua saúde. Na zona de Matundo-Matema, contrariamente a de Tete cidade-centro, existem em número reduzido de furos e poços com aproveitamento privado (colectiva e singular).

Na área de Matundo, foram identificados um total de 29 furos (Anexo B, tabela A-9), dos quais apenas 6 fazem parte do sistema em funcionamento para o abastecimento de água a zona Norte da Cidade de Tete, designadamente, bairro de Matema. No campo de furos de Matundo, constatou-se a existência de um furo bastante produtivo (foto A, lado esquerdo), mas tudo indica este não é devidamente aproveitado, limitando-se a sua exploração exclusivamente a fins de obras de construção de residências no bairro de Matema. O referido furo (designadamente por furo velho) possui um contador de registo de volumes avariado, e nem se quer uma conduta adutora que o liga ao sistema de abastecimento, conforme pode ser visto nas imagens ilustradas na figura 5-3.



**Figura 5-3: Campo de furos de Matundo,**  
(Foto -pelo autor, Agosto 2010)

### **Bairros de Degué e M'paduè**

Com o intuito de conhecimento geral do estado de abastecimento de água à cidade de Tete, fez-se igualmente um trabalho de campo aos bairros de Déguè e M'paduè. Segundo a população residente, estes bairros foram confrontados com um aumento

populacional a partir da década noventa, provavelmente devido à situação sócio-económica que o País atravessou nesta época. A população afirmou que existia e funcionava nesta altura em ambos os bairros um pequeno sistema de tratamento de água extraída no rio Zambeze.

Actualmente, os bairros de Deguè e M'paduè possuem seus sistemas, tendo como fonte a água subterrânea, com recurso a seis furos. Em algum fontenário a água é elevada para uma torre e posteriormente lançada para a rede de distribuição. Água subterrânea nestes bairros é ligeiramente salobra, obrigando assim, as populações a recorrerem à água não tratada do rio Zambeze. Todavia, na época particularmente chuvosa é frequente a ocorrência de epidemias de cólera. Nestes bairros não existem sistemas de tratamento de água eficazes. Como medida de mitigação, o FIPAG periodicamente tem adiciona cloro nos reservatórios e directamente nos poços, com vista a tornar a água minimamente em condições de ser consumida.



**Figura 5-4: Sistema de abastecimento de água- M'paduè**  
(Foto: Pelo autor, Agosto 2010)

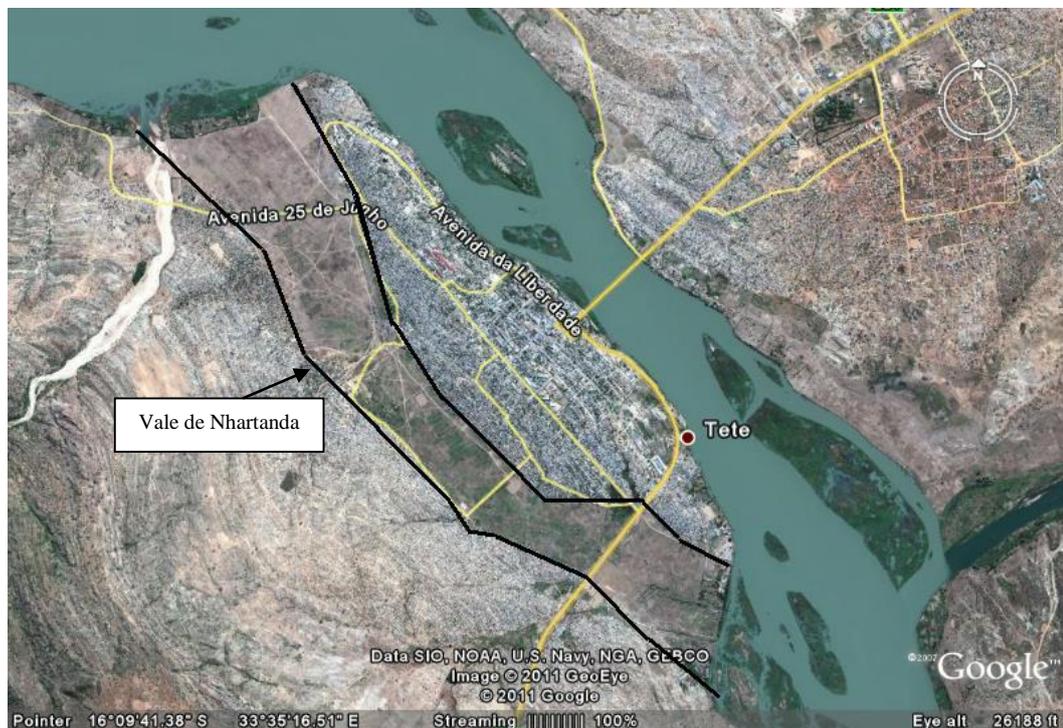
### **5.3 Vulnerabilidade de Contaminação dos Aquíferos**

#### **5.3.1 Caracterização do Sistema Geológico**

##### **Área de Nhartanda**

Pela forma geomorfológica da área (figura 5-5), nota-se claramente que durante um período considerável de tempo geológico, o vale de Nhartanda foi o leito principal do rio Zambeze. Portanto, a feição actual do vale insinua que trata-se de um antigo

braço do rio Zambeze. Segundo o perfil geológico do vale, sugere que nesse período foram depositadas areias grossas e areão num ambiente com grande corrente de água que não permitiu a deposição de material fino. As mudanças do regime do rio Zambeze e da posição do leito resultaram em depósitos não homogêneos que variam de areia média até areia grossa com pedregulhos e areão.



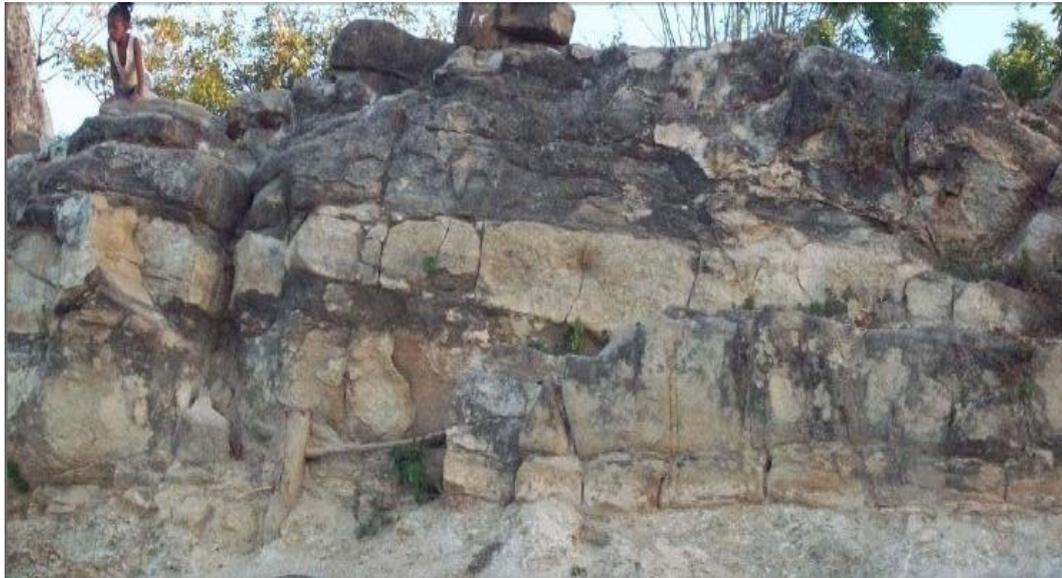
**Figura 5-5: Vale de Nhartanda**  
(google earth, Novembro 2010)

Admite-se igualmente, que posteriormente, formou-se uma camada de argila e areia fina, no ambiente de água estagnada ou com velocidade de corrente muito baixa, a qual cobre os depósitos grossos aluvionares. Estas características fazem com que durante a época chuvosa formem-se ao longo do vale lagoas temporárias.

### **Área de Matundo- Matema**

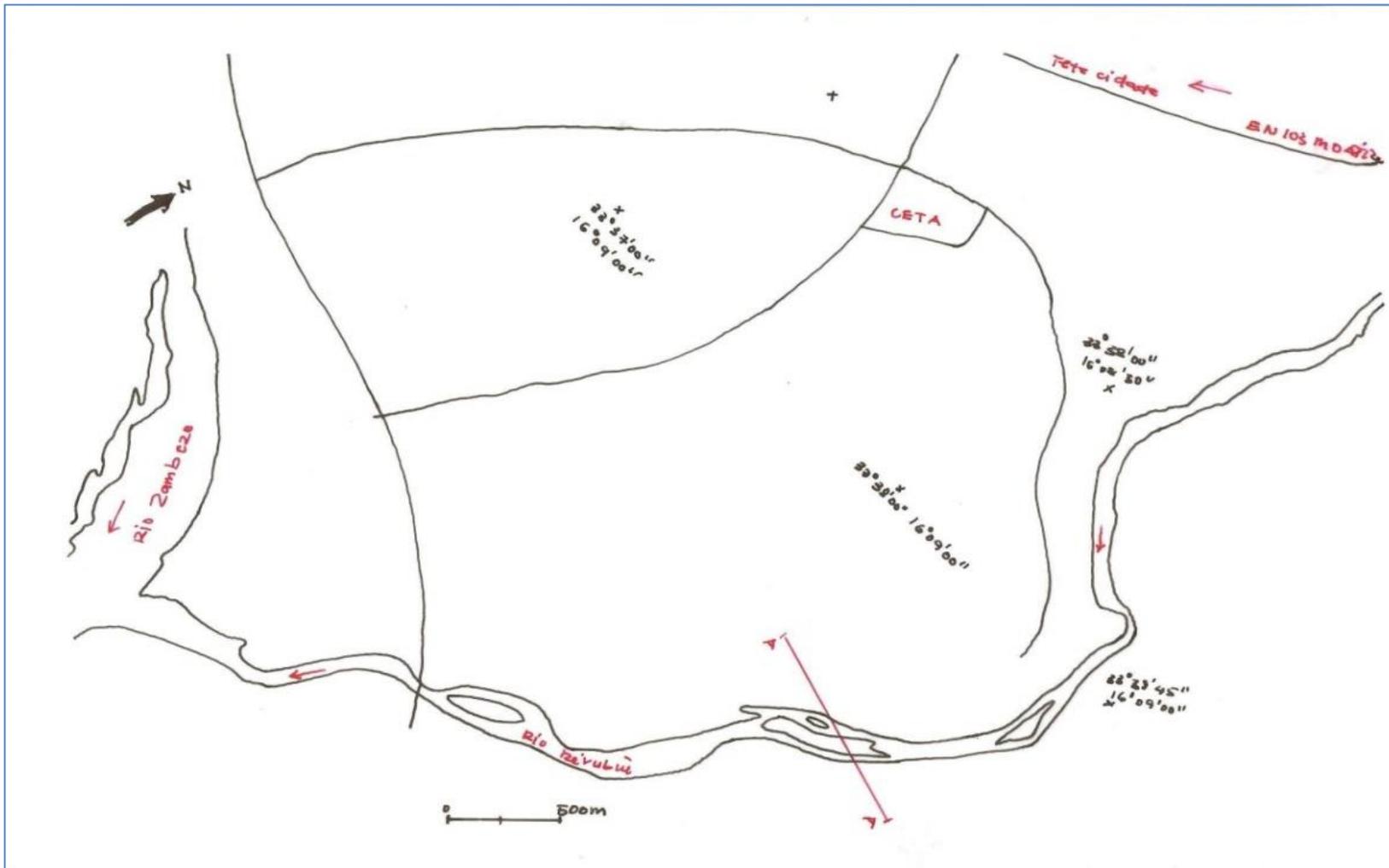
A Carta Geológica de Moçambique (DNG, 2007) dá indicação de ocorrência duma faixa de grés de origem continental, a qual abrange a cidade de Tete e a zona de Matundo, onde se localiza a área de captação de águas. Esta formação geológica tem uma textura que varia de argila, areia fina à conglomerática com intercalações

xistosas. A camada de cobertura é predominantemente siltosa e argilosa e, localmente pode corresponder a sedimentos aluvionares ou coluvião.



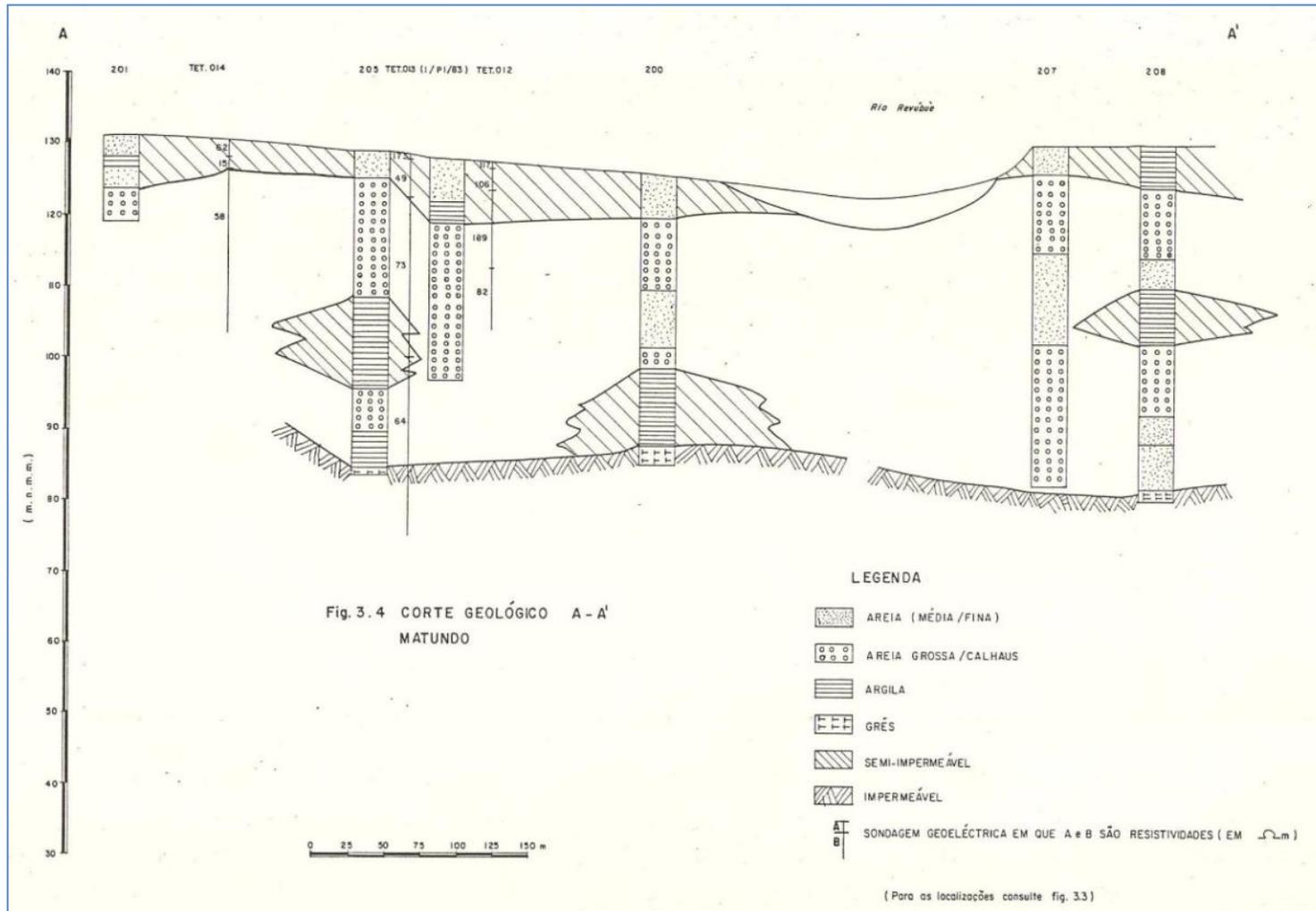
**Figura 5-6: Estratificação arenítica, área de Matundo**  
(Foto: pelo autor, Agosto 2010)

A área em que se desenvolve o aquífero é na sua totalidade coberta pelas depressões de colinas com cobertura de aluvião e pelas depressões com acumulação e terraços de erosão. As mudanças do leito do rio resultaram nas sequências em que a mesma área por vezes fazia parte do rio e as outras da margem. No leito do rio foi depositado areia grosseira e areão, ao passo que nas margens foram depositadas argila e areia fina. As mudanças do leito resultaram nos sedimentos pouco regulares que variam de argila compacta até areão.



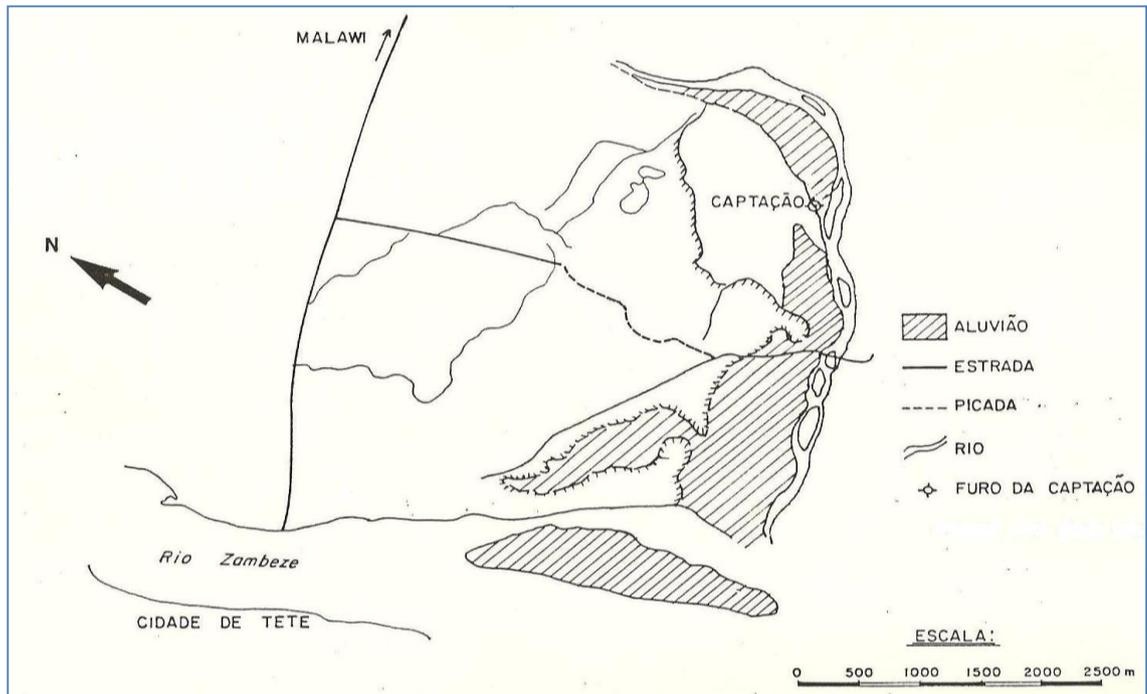
**Figura 5-7: Área de captação de Matundo**  
 (Modificado, DNA 1989)

Dos dados litológicos e de construção dos furos constantes no Anexo B (tabela A-11), suportado pelo corte geológico ilustrado na figura 5-7, constatou-se que a litologia na área de captação de Matundo é bastante heterogénea. A espessura máxima do aluvião é de 45 m perto do actual leito do rio, que reduz-se para as margens do vale. A composição varia de areão a argila e silte. No entanto, o areão apresenta-se mais em leitos isolados e não em camadas extensas. Mais para o interior predominam as camadas argilosas e, para o Norte ocorre intercalações de material fino.



**Figura 5-8: Corte geológico 'A-A', área de Matundo  
(DNA 1989)**

Na superfície encontra-se uma camada siltosa e argilosa cuja espessura varia de 2 a 10 metros. A figura 5-9 ilustra a extensão da faixa aluvial a qual foi determinada através da vista área (DNA, 1989).



**Figura 5-9: Extensão da faixa aluvial em Matundo**  
(Fonte: DNA 1989)

### 5.3.2 Caracterização do Sistema Hidrogeológico

Do ponto de vista hidrogeológico a área de estudo é dominada por dois tipos de aquíferos, correspondentes aos domínios<sup>10</sup> A e B, segundo a classificação na carta hidrogeológica de Moçambique. Quer o domínio A como o B são constituídos maioritariamente por aquíferos localmente produtivos relacionados com depósitos arenosos de origem aluvionar (ver figura 5-10), e com caudais que chegam a atingir 50 m<sup>3</sup>/h. Igualmente, distinguem-se duas unidades hidrogeológicas principais: o grés calcário do Karroo (B3) e depósitos aluvionares.

<sup>10</sup> Domínios hidrogeológicos são definidos com base na porosidade, extensão dos aquíferos, produtividade das formações e tempos máximos de bombagem, sendo domínio A representado pela cor azul e B pela cor verde (recomenda-se ver a carta hidrogeológica nacional e a respectiva notícia explicativa)

**Grés Calcário do Karroo (B3)** – este aquífero domina a totalidade da superfície da área de estudo, geralmente constituídos por grés grosseiro a médio, por vezes finos, compactos, xistóides margas e xistos carbonosos, incluindo carvão e intrusões dioríticas do Karroo, pertencente ao grupo hidrogeológico B3. (ver figura 5-10). Este aquífero, forma-se sobre rocha consolidada onde a circulação da água ocorre no meio de fracturas e fissuras (DNA, 1986). Por esta razão, possui uma baixa permeabilidade na ordem de  $10^{-1}$  m/d e porosidade menor que 20%, embora apresente alguma porosidade secundária que resulta das actividades tectónicas (falhas) e carsificação.

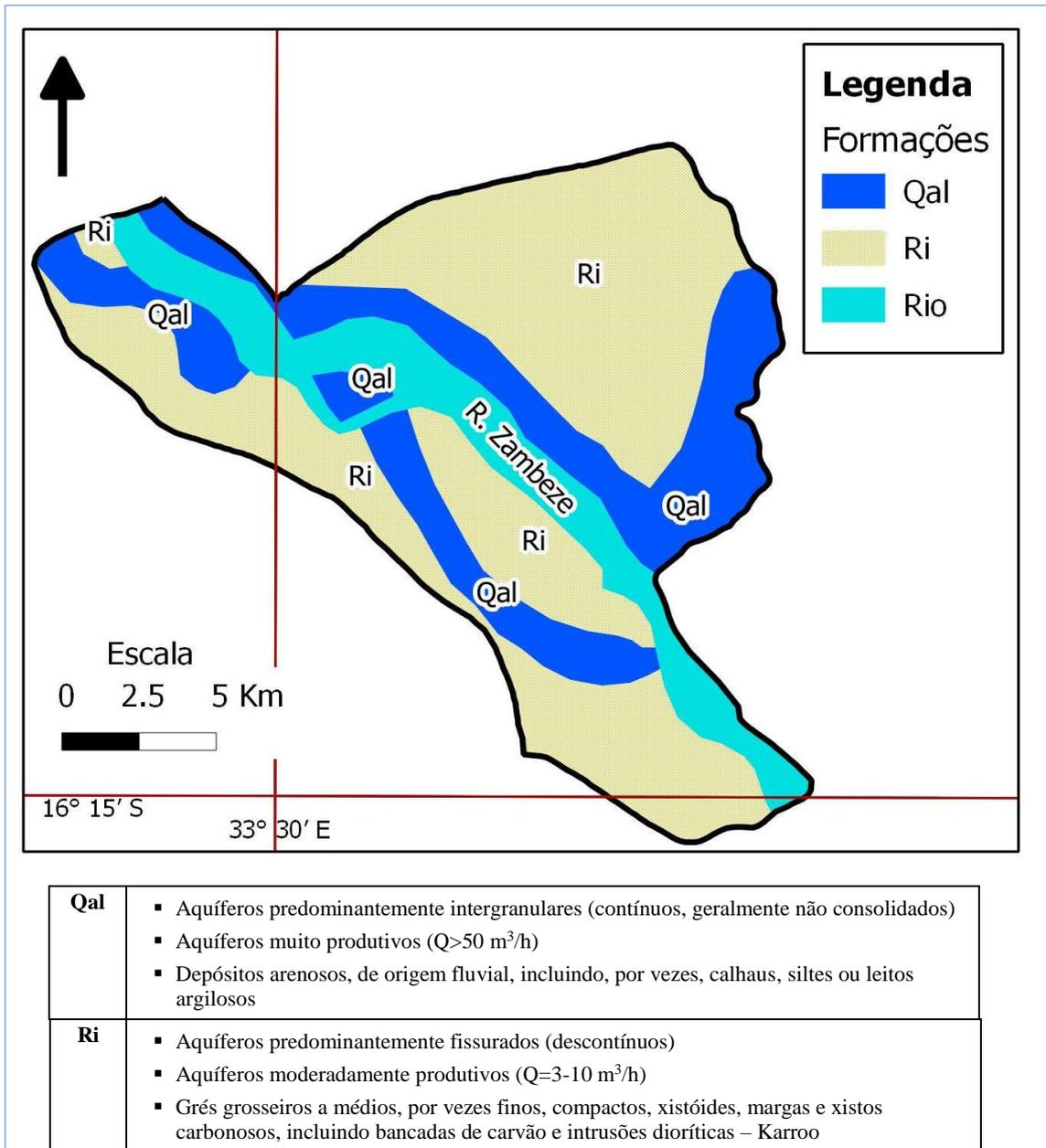
Este aquífero constitui a camada base da área de estudo, localizando-se a uma profundidade normalmente superior a 70m.

A qualidade da água nele contida é geralmente bastante mineralizada, não sendo por isso recomendável ao consumo humano, sobretudo no período seco onde se verifica um aumento da sua salinidade atingindo cerca de  $4000\mu\text{S/cm}$ , com pH entre 7.3 e 8.1. Os caudais específicos esperados nesta formação são de 0.15, 0.42 e  $1.2\text{ m}^3/\text{h/m}$  correspondentes a  $q^{20}$ ,  $q^{50}$  e  $q^{80}$  respectivamente. Os caudais de exploração esperados deste aquífero são de 3 a  $10\text{ m}^3/\text{h}$ .

**Depósitos Aluvionares (A1)** - estes aquíferos sobrepõem-se ao aquífero anteriormente descrito, localizando-se ao longo dos vales dos rios. Estes são geralmente constituídos de material granular não consolidado ou semi-consolidado, areias grossas e areão de alta permeabilidade na ordem de  $10^3$  m/d e porosidade entre 30-10% pertencente ao grupo hidrogeológico A1. A circulação da água é feita através de espaços intergranulares, os poros.

Estes aquíferos localizam-se desde 4 m até uma profundidade de cerca de 70 m, sendo por vezes cobertos por camadas impermeáveis, de argilas e argilito, formando assim um aquífero confinado.

A qualidade da água neles contida apresenta valores de condutividade eléctrica CE igual a 400 - 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sendo por isso recomendável para o consumo humano. Este é o tipo de aquífero que está sendo explorado no vale de Nhartanda e no campo de furos de Matundo. Os caudais específicos esperados nesta formação oscilam entre 130 a 480  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , e os caudais de exploração deste aquífero variam entre 120 a 260  $\text{m}^3/\text{h}$ .



**Figura 5-10: Extracto da carta hidrogeológica da área de estudo**

(DNA, 1986)

É também notória a predominância de aquíferos do domínio C, tipo C2 a C3 na parte Nordeste da área de estudo, os quais de modo geral apresentam limitada ocorrência de águas subterrâneas, com caudais de exploração inferiores a 3 m<sup>3</sup>/h.

Da informação litológica e de construção de furos na área de estudo, de forma discriminada pode-se caracterizar detalhadamente as características hidráulicas do material subterrâneo do vale de Nhartanda e de Matundo, no seguinte:

### **Vale de Nhartanda**

No vale de Nhartanda o sistema hidrogeológico consiste de um aquífero aluvionar, coberto por argila e areia argilosa que apresenta uma permeabilidade muito baixa. Nas margens e na base, este aquífero é limitado pelo grés de Karroo e, nos extremos, é limitado pelo rio Zambeze. Portanto, o aquífero pode ser considerado como semi-confinado. Importa referir que esta classificação está em concordância com alguns estudos realizados na área, como é o caso do estudo executado pela DNA/DRH-SdG (1989).

Da análise litológica feita a 11 dos 24 furos identificados no Vale de Nhartanda (Anexo B, tabela A-10) constatou-se existir uma certa constância do tipo de material depositado no aquífero, embora se note uma variabilidade de areias, as quais estarão relacionadas com os vários períodos de perturbação do equilíbrio do leito do rio Zambeze, durante a erosão e deposição de material. Pelo facto de os furos existentes e analisados estarem muito próximos uns dos outros, decidiu-se fazer uma análise global agrupando os materiais representativos da litologia dos furos em função das suas características principais, tendo-se constatado o seguinte:

**Argila:** branda castanha pouco arenosa de grão fino com calhaus rolados, localizada no topo (na superfície), que vai até uma profundidade máxima de 8 metros. A espessura média desta formação argilosa é de aproximadamente 6 metros. A disposição desta formação geológica de granulometria fina neste local poderá corresponder aos períodos de fraca capacidade do rio Zambeze de transportar material superficial, particularmente, durante o

período de cheias. A formação argilosa é caracterizada por uma porosidade entre 45 e 55%, resultante provavelmente da fracturação. O rendimento específico é de 3% e uma permeabilidade muito baixa a nula, na ordem de 0.0002 m/d constituindo um aquíclodo.

**Areia:** grossa a muito grosseira com abundante seixo fino a grosso, normalmente localizada nas profundidades de transição do material argiloso para o material mais grosseiro. Em algumas áreas do aquífero é possível identificar ocorrência de areias sobre a camada de argila, ou a inexistência da camada de argila permitindo assim que o aquífero receba recarga directa do escoamento superficial. A espessura desta camada é variável, tendo uma média de 4 a 6 m na parte superior do aquífero e cerca de 10 a 15 m na parte inferior do aquífero. A porosidade média é de 39%, rendimento específico de 27% e a permeabilidade deste material é da ordem de 12 a 45 m/d.

**Areão:** granulometria média a grosseira, cinzenta clara com muito seixo calhaus e pedras roladas, com uma espessura média de 50 m. A porosidade é de ordem de 32%, rendimento específico de 23% e a permeabilidade deste material é da ordem de 150 a 270 m/d.

Nestas condições o aquífero do Vale de Nhartanda pode ser classificado como sendo confinado, embora em alguns pontos da área possa-se encontrar características semi-confinantes devido à ocorrência de areias de granulometria média a fina na camada do topo, associadas à super-exploração da camada de cobertura argilosa. Devido a esta actividade, a segunda camada, largamente constituída por material de granulometria média já se apresenta quase à superfície.

A estratificação litológica do aquífero que ocorre no Vale de Nhartanda pode ser esquematizada, conforme apresentada na tabela 5-1, bem como na figura A-4 (perfil geológico típico do vale de Nhartanda) constante no Anexo A. Importa referir que para efeito de estimativa foram usados os valores médios das suas características hidrogeológicas. Para a zona produtiva do aquífero determinou-se também a

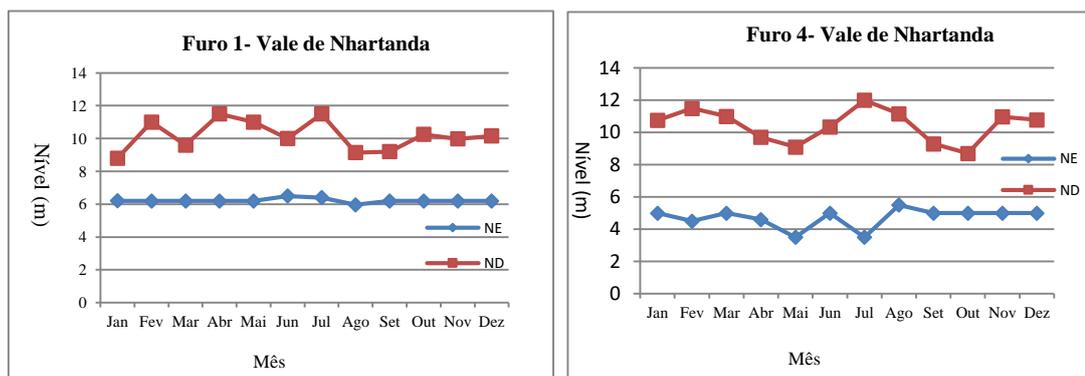
permeabilidade equivalente do aquífero considerando o fluxo horizontal apenas, com base no qual se pode determinar a produtividade do aquífero. Segundo a DNA (1989), a formação de argila e a rocha consolidada não fracturada que ocorre entre 1-7m e 70m tem uma permeabilidade bastante reduzida, quase nula.

**Tabela 5-1: Resumo litológico do aquífero, vale de Nhartanda**

Prof. (m)	Material geológico	Permeabilidade K (m/d)	Permeab. Equiv. K (m/d)
0 – 0.5	Solo argiloso de cor castanho	-	-
0.5 – 7	Argila	0,00024	0,00024
7 – 15	Areia grossa a muito grosseira	35	187
15 – 55	Areão com muito seixo calhau e pedras roladas	270	187
55 – 70	Areia grossa a muito grosseira	35	187
70 <	Rocha consolidada	0,0001	0,0001

Uma análise detalhada das profundidades dos furos e na litologia, permite concluir ainda que existe uma camada aquífera heterogénea e anisotrópica de baixo potencial de ocorrência de águas subterrâneas a uma profundidade média de 10 metros. Assim, da apreciação das características do material do aquífero, pode-se concluir que a melhor profundidade para exploração do aquífero está entre os 15 e 55 m.

Os níveis estáticos e dinâmicos ao longo do Vale Nhartanda variam entre 5 e 6,5 metros e de 5,5 a 11 metros, respectivamente. Através dos dados obtidos do levantamento e monitoramento mensal dos níveis nos anos 2007 a 2009, conduzido pela ARA- Zambeze, foi possível determinar que a diferença existente entre os furos é quase mínima.



**Figura 5-11: Níveis dinâmicos e estáticos médios mensais em 2007, Nhartanda**

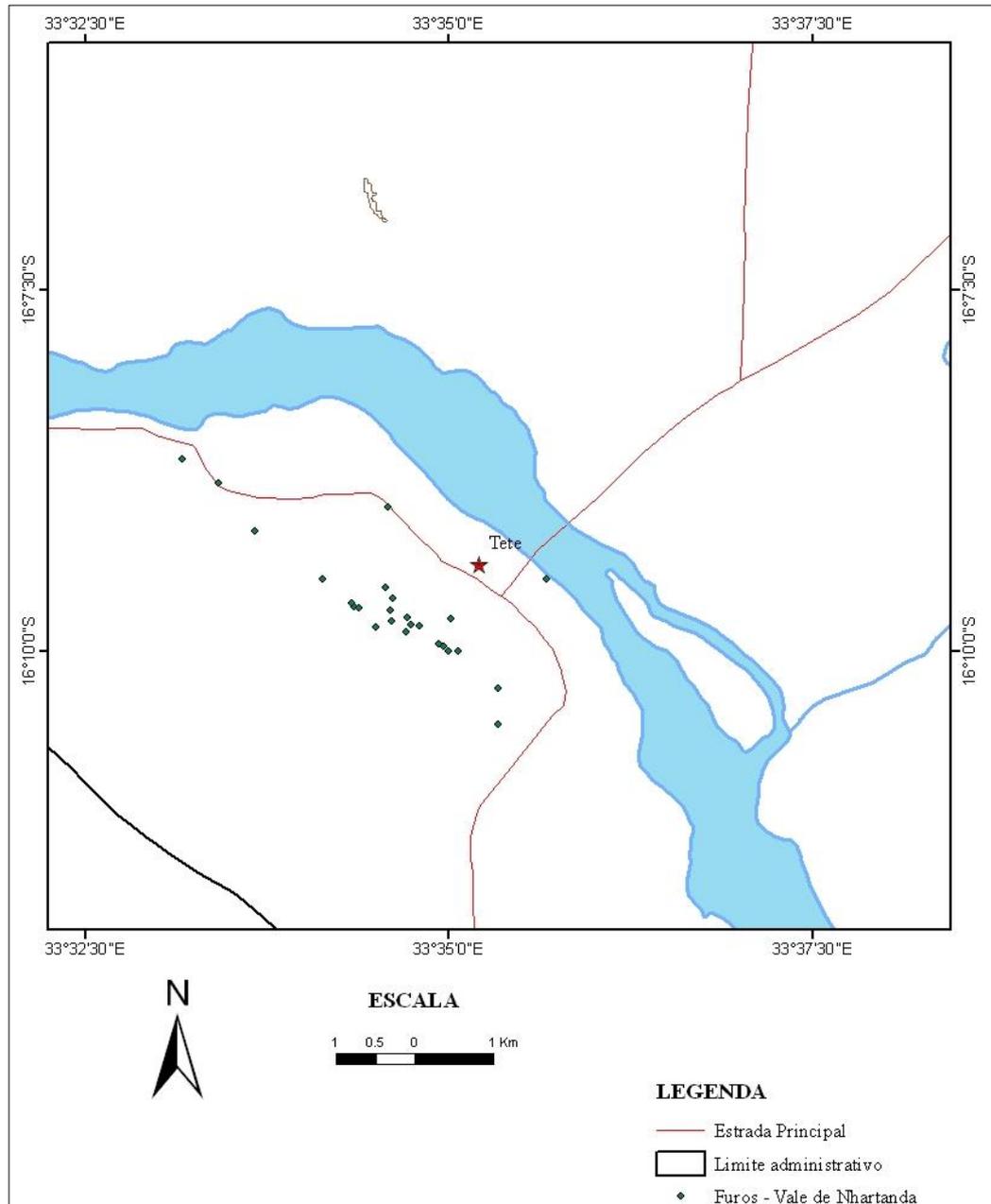
Apresentemente, a variação da profundidade do lençol freático em todos os furos apresenta um comportamento atípico. A variação sazonal da pluviosidade parece que não interfere na variação dos níveis estáticos ao longo do Vale de Nhartanda e área de Matundo, pese embora o facto de os furos localizados em Matundo apresentarem uma pequena diferença.

No geral, a produtividade dos furos é boa. A tabela 5-2 apresenta o quadro-resumo com informação sobre a profundidade, níveis de água, incluindo a produtividade dos furos. Importa referir que estes furos fazem parte do sistema de abastecimento a cidade de Tete. Neles constatou-se que nos furos com profundidades entre 27 e 47 metros, a produtividade média é de cerca de 50 m<sup>3</sup>/h, produzindo cerca de 500 m<sup>3</sup>/h de caudal, em 22 horas de bombagem, o que equivale a cerca de 10,870 m<sup>3</sup>/d.

**Tabela 5-2: Dados de furos na captação vale de Nhartanda**

Furos	Coordenadas			Profund. (m)	Nível (m)		Caudal do furo (m <sup>3</sup> /h)
	Long.	Latit.	Alt. (m)		Estático	Dinâmico	
<b>F1</b>	561446	8213151	114	47	6.5	11	108
<b>F2</b>	561537	8213017	120	43	6.5	7.5	48
<b>F3</b>	561514	8212865	118	37.5	5	7.4	95
<b>F4</b>	561614	8212728	126	36	5	6.6	50
<b>F5</b>	561715	8212770	123	43	5.25	6.4	50
<b>F6</b>	561702	8212583	121	47	5.1	7	45
<b>F7</b>	561757	8212671	124	46	5.36	7.5	48
<b>F8</b>	561864	8212668	134	17			0
<b>F9</b>	561861	8212656	125	27	5	5.5	50
<b>Caudal total</b>							<b>494</b>

A figura 5-12 apresenta a localização dos furos constantes na tabela 5-2. A informação dos furos de Nhartanda também pode ser vista na tabela sumarizada A-8 em Anexo B.



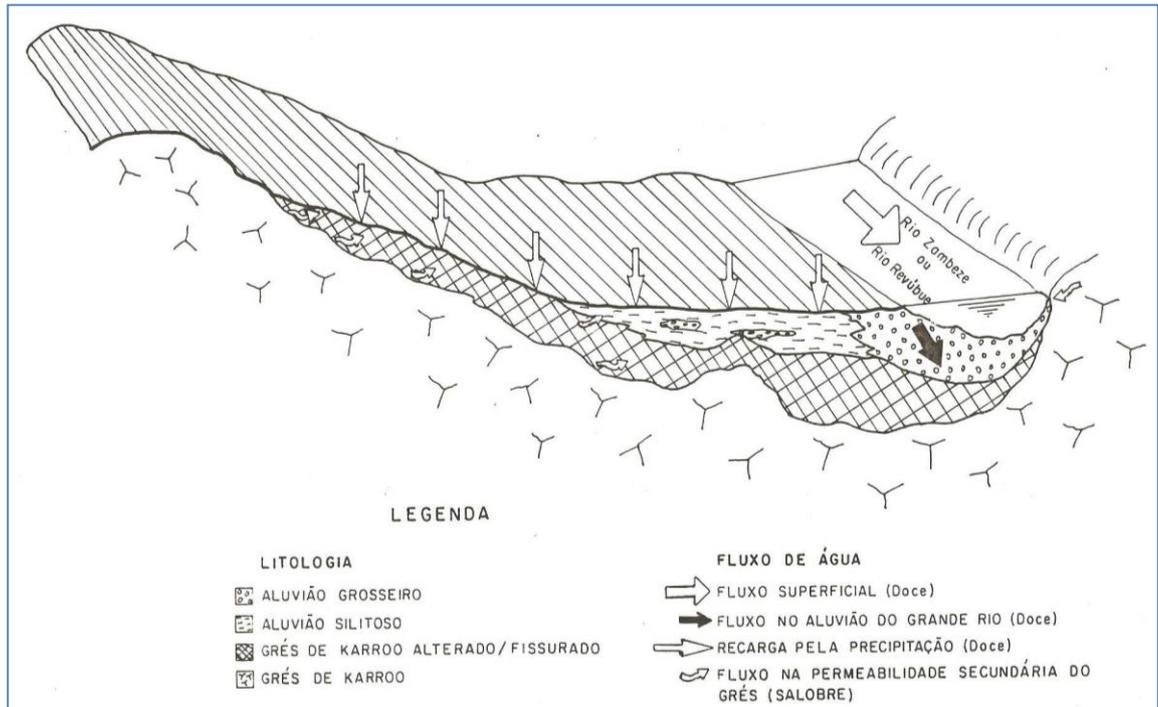
**Figura 5-12: Localização de fontes no campo de furos de Nhartanda**

Importa destacar que para profundidades inferiores a 25 m, os caudais recomendáveis para exploração estão entre 13 e 30 m<sup>3</sup>/h, para profundidades de 25 a 67 m os caudais estão entre 120 e 300 m<sup>3</sup>/h e para profundidades superiores a 67 m os caudais reduzem para cerca de 90 m<sup>3</sup>/h. Tendo como base esta informação nota-se que os furos que estão a ser explorados para o sistema de abastecimento de água estão com uma produção abaixo do que é a característica e potencial hidrogeológico local.

### **Área de Matundo**

Na área de Matundo, os furos indicam a ocorrência de uma litologia aluvionar bastante heterogénea, tornando o sistema hidrogeológico mais complexo. A partir dos dados litológicos pode-se constatar que a composição varia de areão a argila e silte, sendo o aquífero limitado pelo grés. Nesta área o aquífero não está coberto por uma camada argilosa contínua, portanto, tratando-se assim de um aquífero freático. Por outro lado, o comportamento dos dados dos furos relacionado com as características da geologia e hidrogeologia local distingue-se a ocorrência de aluvião grosseiro que atinge profundidades até 50 metros. Sobre o aluvião assentam também sedimentos siltosos e argilosos, e em algumas áreas arenitos, formando assim um aquífero semi-confinado, conforme pode-se ver no esquema simplificado ilustrado na figura 5-13.

O areão apresenta-se mais em leitos isolados e não em camadas extensas. Mais para o interior predominam as camadas argilosas. E, para a zona Norte o aluvião tem mais intercalações de material fino. Esta observação está em concordância com constatações feitas pela DNA (1992). Os depósitos aluviais têm espessuras de cerca de 40 metros no leito que reduzem-se até as margens do vale.

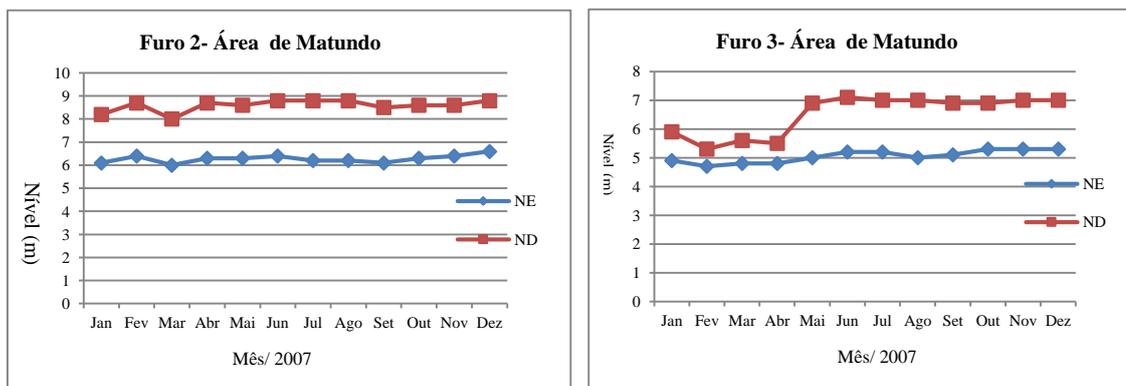


**Figura 5-13: Esquema hidrogeológico simplificado, área de Matundo**

(Fonte: DNA, 1992)

Os dados geo-hidrológicos da área de Matundo indicam ocorrência de uma camada grosseira com espessura máxima de 20 metros na faixa de 250 metros ao longo do rio, formando assim um aquífero freático. É de referir que esta faixa durante a época chuvosa fica frequentemente inundada.

Duma maneira geral, pode-se verificar que os níveis de água estão a uma profundidade não superior a 15 metros (ver dados de níveis de água apresentados no Anexo B, tabelas 15 & 16).



**Figura 5-14: Níveis dinâmicos e estáticos médios mensais em 2007 (Matundo)**

Através dos dados das estações pluviométricas localizadas dentro e próximo da área de estudo P-40, P-438, e P1287, análise feita num período de 10 anos (*ver o subcapítulo 3.3.2*), Dezembro a Março, são os meses que apresentam maiores precipitações a nível do ano, chegando a atingir 200 mm, com o pico em Janeiro. No furo 3, ilustrado com a figura 5-15, com dados de níveis apresentados na tabela A-15 do Anexo B, pode-se perceber a indicação da tendência de subida do nível dinâmico a partir do mês de Maio. O comportamento similar dos níveis apresentando pelos furos, sugere que os mesmos quer na zona de Nhartanda, como na área de Matundo, foram instalados provavelmente em um mesmo aquífero, onde pressupõe-se que os rios Zambeze e Révubuè representam a principal fonte de recarga do aquífero de Nhartanda e Matundo respectivamente.



**Figura 5-15: Medição do nível de água num furo, área de Matundo**  
(Foto: pelo autor, Agosto 2010)

O campo de furos de Matundo composto por 6 furos, presumivelmente recarregado pelo rio Révubuè tem uma produtividade total superior a 200 m<sup>3</sup>/h, conforme ilustra a tabela 5-3. Durante a prossecução da presente pesquisa, foi possível observar em Junho do ano de 2010, a abertura de mais duas fontes no campo de furos de

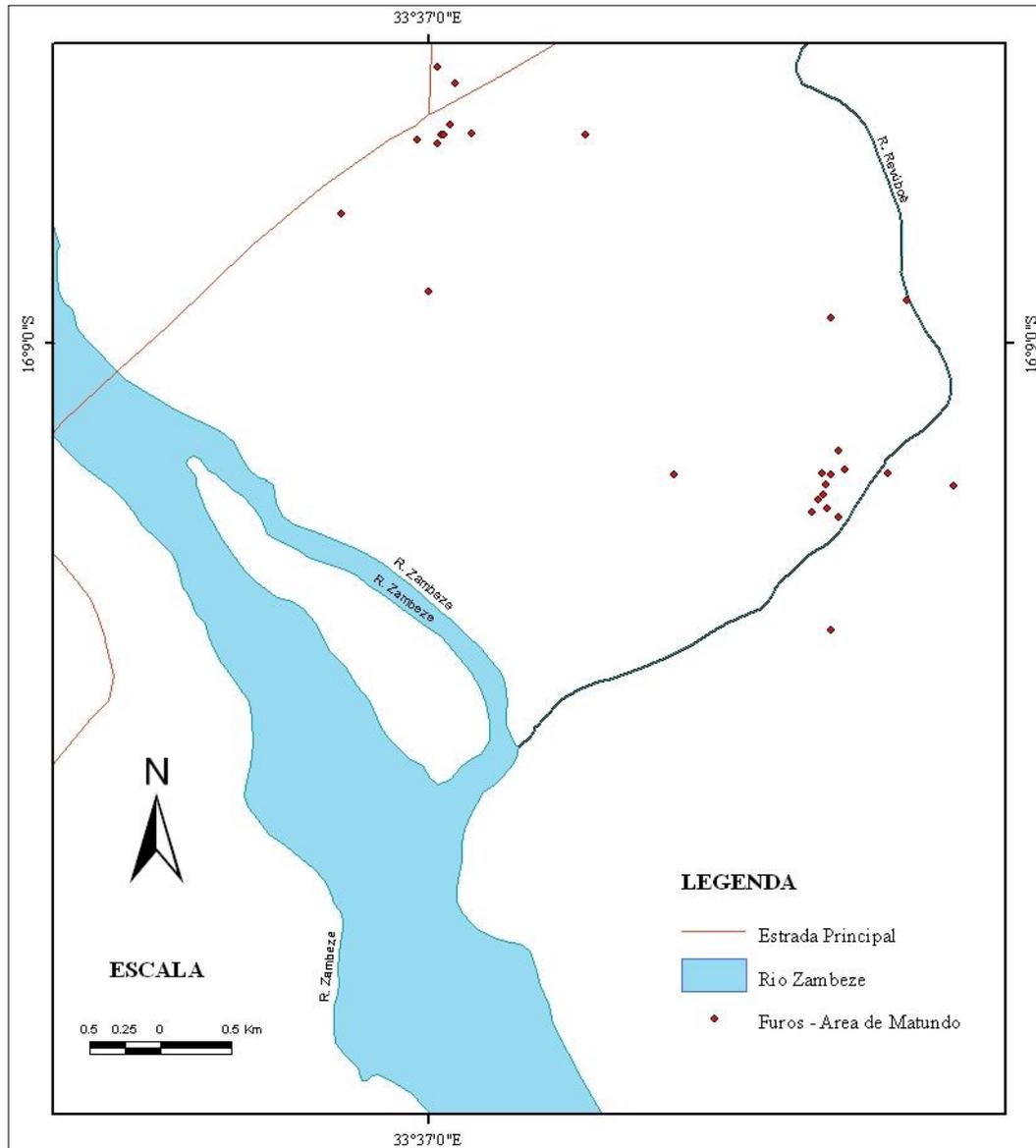
Nhartanda cuja profundidade é de cerca de 35 metros. A distância entre os estes furos não é superior a 100 metros e a nível de água nos dois furos encontra-se a uma profundidade de aproximadamente 12 metros. A figura 5-16, da ilustração de localização de todos os furos localizados na área de Matundo.

**Tabela 5-3: Dados de furos na captação de Matundo**

Furos	Coordenadas			Prof. (m)	Nível (m)		Caudal do furo (m <sup>3</sup> /h)
	Long.	Lat.	Alt.		Estático	Dinâmico	
<b>F1-velho</b>	568707	8213607	130	37	5.5	7.5	70
<b>F2</b>	568624	8213361	126	37	5.25	7.25	70
<b>F3</b>	568573	8213255	124	37	5	7.4	70
<b>F4</b>	568530	8213168	122	30	4.9	6.6	30
<b>F5-novo</b>	568607	8213298	120	37	5	7	
<b>F6-novo</b>	568658	8213435	120	37	5	7	4
<b>Total</b>							<b>244</b>

A profundidade dos furos é de 30 a 37 m, e a sua produtividade média é de cerca de 50 m<sup>3</sup>/h. Os dados de altitude obtidos no BdD da DNA e do Relatório sobre “*Estudo hidrogeológico no Vale de Nhartanda e na Área de Matundo, 1989*”, contrastam com as características da área em que os furos estão implantados, que é marcadamente plana, não se esperando encontrar diferenças de cotas na ordem de 6 m.

No geral é importante destacar que nota-se na área de estudo uma variação dos níveis de água subterrânea principalmente nos furos localizados na porção NW da área de estudo, onde o nível do lençol freático varia entre 5,0 e 20m. Importa referir ainda que a área é predominantemente constituída por aquífero confinado, embora em algumas áreas ao longo do Vale de Nhartanda, particularmente a zona a montante, tendo em conta as condições actuais, pode-se considerar uma formação semi-confinante. Na área de Matundo temos presumivelmente ocorrência de aquífero semi-confinante e freático.



**Figura 5-16: Localização de fontes na área de Matundo-Matema**

No geral, quer na área do Vale de Nhartanda, quer em Matundo, os dados litológicos indicam na parte da superfície da terra até aproximadamente 6 metros a ocorrência de formações com permeabilidade muito baixa, sendo a argila o material predominante. Infelizmente, não foram encontrados dados de ensaios do aquífero na área de estudo, os quais iriam auxiliar no conhecimento e caracterização da resistência hidráulica de uma maneira mais representativa. Contudo, para o cálculo da taxa de infiltração ou permeabilidade da camada do topo, foram realizados nove ensaios *in situ* e calculado com base na fórmula [4.2]. Na literatura, existem vários

factores que descrevem a relação entre a permeabilidade vertical e horizontal, a qual varia de 10 até 30. De referir que a metodologia e o cálculo para a determinação de permeabilidade foi apenas alternativo com vista obter informação indicativa sobre a facilidade que a formação que ocorre no topo (camada superficial) deixa passar e/ou infiltrar a água. Portanto, o resultado deste ensaio pode induz a muitas suposições e em alguns casos erros

Em adição, foram igualmente usados dados de seis ensaios executados pela DNA (1989), efectuados através de abertura de orifícios com trado manual, totalizando 15 pontos de amostragem, sendo 9 no vale de Nhartanda e 6 na área de Matundo, conforme a tabela 5-4.

**Tabela 5-4: Quadro- resumo de teste de infiltração**

Local	Cód.	Coordendas		R (m)	H[t <sub>1</sub> ] (m)	h[t <sub>2</sub> ] (m)	t <sub>1</sub> (d)	t <sub>n</sub> (d)	K (m/dia)
		Longit.	Latit.						
Vale de Nhartanda	IN1	33.588889	-16.175	0.3	0	1.0	0.0	9	0.0029256418
	IN2	33.588889	16.170833	0.25	0	0.9	0.0	9	0.002850614
	IN3	33.583333	-16.166667	0.25	0	1.0	0.0	5	0.0048986404
	IN4	33.582222	-16.165833	0.25	0	1.0	0.0	5	0.0048986404
	IN5	33.556944	-16.147222	0.25	0	0.8	0.0	5	0.0053874525
	IN6	33.576389	-16.15	0.27	0	1.0	0.0	5	0.005059103
	IN7	33.568889	-16.158333	0.25	0	1.0	0.0	5	0.0048986404
	IN8	33.561111	-16.152778	0.25	0	0.9	0.0	5	0.0051311052
	IN9	33.552778	-16.144444	0.25	0	0.9	0.0	5	0.051311052
Área de Matundo	IM1	33.638333	-16.163056	0.25	0	1.0	0.0	3	0.0081644007
	IM2	33.647222	-16.147222	0.26	0	1.0	0.0	2	0.0124530242
	IM3	33.638889	-16.158333	0.26	0	1.0	0.0	3	0.0083020161
	IM4	33.643056	-16.158056	0.25	0	0.7	0.0	3	0.009455262
	IM5	33.643056	-16.158056	0.25	0	0.9	0.0	2	0.012827763
	IM6	33.641667	-16.161111	0.25	0	1.0	0.0	7	0.0034990289

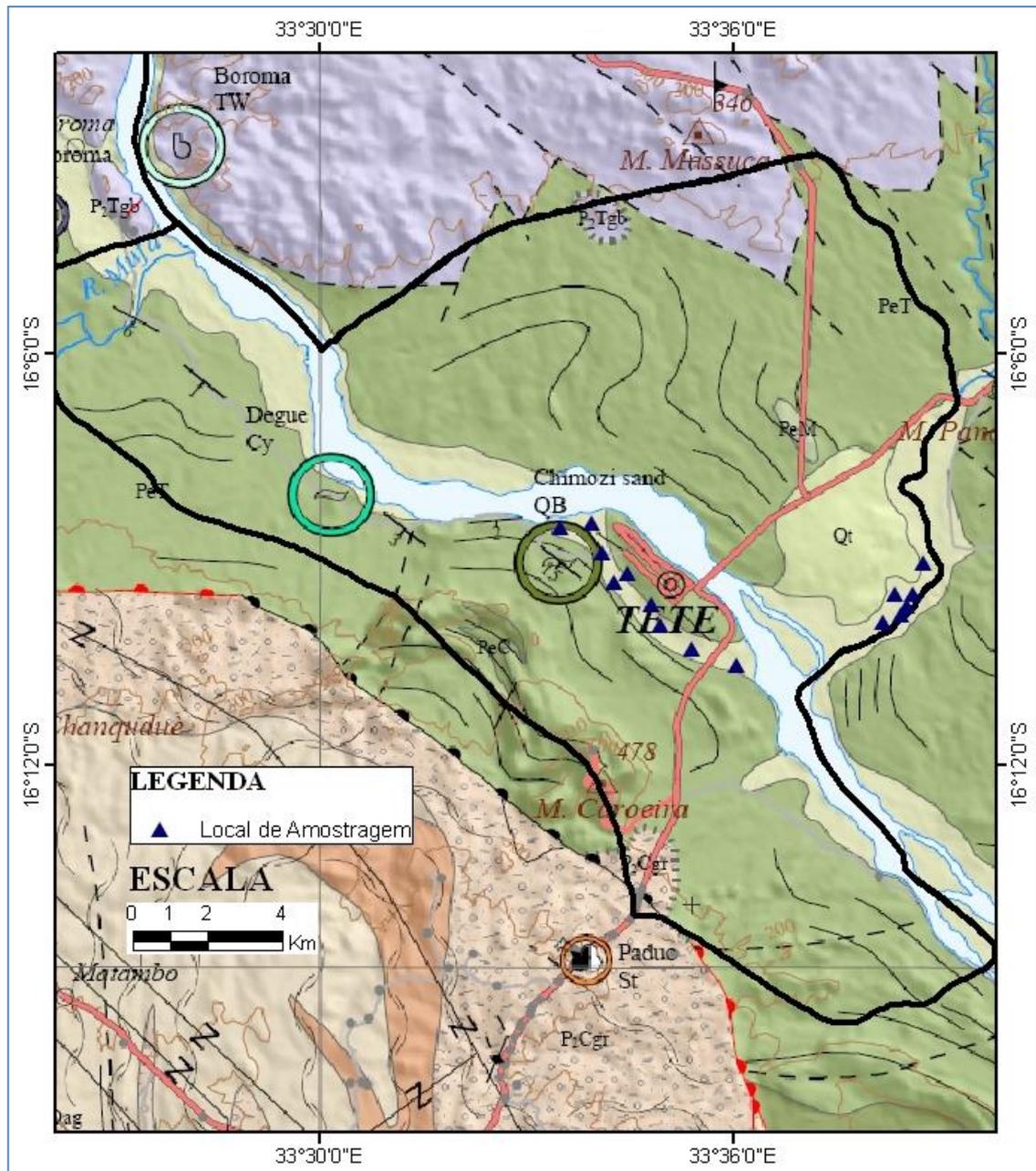
O teste simples de infiltração efectuado no Vale de Nhartanda e Matundo, com resultados na tabela 5-4, indica que a camada superficial tem uma permeabilidade baixa que varia de 0.002 a 0.005 m/dia e 0.008 a 0.01 m/dia para o Vale de

Nhartanda e Matundo, respectivamente. Importa lembrar que a camada do topo nestas áreas é constituída por formações argilosas a areia muito fina.

Estes resultados no seu todo são baixos, mas de alguma forma não estão em concordância com os resultados obtidos em alguns estudos efectuados na área de estudo, a título de exemplo o estudo de avaliação de permeabilidade desenvolvido em DNA (1992). Nestes estudos, foram obtidos valores de permeabilidade baseadas na adopção de um factor de 20 para a diferença entre a permeabilidade vertical e a do ensaio. A permeabilidade da camada aquífera foi estimada com base na granulometria usando os métodos de Hazen, Slichter, Kozeno e Terzaghi com  $D_{90} = 0.2\text{mm}$  e  $D_{10} = 0.4\text{mm}$ . o ensaio foi realizado com base em 8 amostras granulométricas feitas no actual campo de furos de Matundo e Nhartanda as quais indicaram permeabilidades na ordem de 0.0002 a 0.0008 m/dia para a área de Nhartanda e 0.0008 a 0.0012 m/dia para a área de Matundo.

Para o cálculo de transmissibilidade no estudo efectuado pela DNA (1998), foi usando o método de *Logan*, o qual revelou valores na ordem de 2000 até 1200  $\text{m}^2/\text{dia}$  para o vale de Nhartanda e de 800 a 1700  $\text{m}^2/\text{dia}$  para a área de Matundo. No mesmo estudo, o método de *Jacob* conduziu a valores na ordem de 3000 até 1300  $\text{m}^3/\text{dia}$  e 3000  $\text{m}^2/\text{dia}$  até 1400  $\text{m}^2/\text{dia}$  para o vale de Nhartanda e Matundo, respectivamente.

A diferença das taxas de infiltração na área de estudo, estará possivelmente associado à falta de homogeneidade das camadas no vale de Nhartanda e significativamente na área de Matundo, o que pressupõe que podem existir ao longo da área de estudo sítios mais permeáveis. A título de exemplo, na área de Matundo em algumas regiões há ocorrência de arenitos de granulometria média a fina que chega a apresentar uma permeabilidade de 3 m/dia. Assim, como se sabe que a resistência hidráulica depende da permeabilidade vertical, pode-se, neste caso, esperar que a permeabilidade horizontal seja superior do que a permeabilidade vertical por causa da ocorrência local de formações com granulometria grosseira nas camadas mais profundas.



**Figura 5-17: Mapa de localização amostragens de testes de infiltração**  
 (Fonte: Base\_Mapa geológico nacional, folha nr 1633 à escala 1:250 000)

É importante sublinhar que valores resultantes do teste de infiltração, constantes na tabela 5-4, devem ser considerados puramente indicativos, uma vez que a escolha do local para o teste não obedeceu a nenhum critério. Por outro lado, não se teve em consideração a influência da temperatura local, como foi referido no capítulo 3, subcapítulo 3.2, a região que abrange a cidade de Tete é a mais quente a nível do

país, esperando-se obviamente níveis de evaporação bastante altos. Contudo, o perfil geológico de Nhartanda e Matundo, figuras A-4 e A-5 apresentadas em anexo apontam ocorrência de camadas com permeabilidade baixa na superfície até a profundidades de 7 metros, e permeabilidade alta nas camadas do material aquífero.

### **5.3.3 Condições de Recarga dos Aquíferos**

Com relação as **Condições de Recarga** dos Aquíferos de Nhartanda e Matundo, a estrutura geomorfológica e topográfica da bacia hidrográfica, a qual se insere a cidade de Tete (área de estudo), conduzem a sugerir que a maior parte de água que atinge o solo através da precipitação, grande parte drena para os rios que cortam a região, nomeadamente, o rio Zambeze e Révubuè, uma vez que as características hidráulicas do material do topo, não facilitam a sua infiltração.

Estudos consultados na persecução da presente pesquisa, a título de exemplo, os estudos realizados pela DNA nos anos da década noventa (DNA, 1998 e 1992), indicam claramente a existência de um contacto dinâmico entre o vale de Nhartanda com o rio Zambeze e Matundo com o rio Révubuè, sendo estes rios a principal fonte de recarga dos aquíferos a partir de fluxos horizontais.

Houve tentativas para a determinação quantitativa de recarga dos aquíferos através do cálculo simples feito com base na equação (1). Para o efeito, identificou-se o período entre os anos 1990 e 2000 como sendo a época que apresentava existência de alguma informação que podia auxiliar no cálculo de recarga. Mesmo assim, verificou-se a falta da grande parte de dados e informação relevante para esta análise. A pouca informação encontrada apresentava descontinuidades e divergências, chegando mesmo a causar ambiguidade nos resultados encontrados. A deficiente qualidade de dados poderá provavelmente estar associados a erros de leitura humana durante a obtenção e/ou durante a inserção da informação na base de dados.

Contudo, várias suposições foram consideradas. Como se sabe, o valor quantitativo da recarga não é constante, pois esta varia geralmente em função da precipitação

pluviométrica, sua distribuição, intensidade, bem como, dos factores geológicos e topográficos da área. Qualquer variação de recarga em função de um desses factores, influencia significativamente a quantidade total de recarga na região. Nas condições naturais da área, em que não ocorre interferência humana, existe um valor médio constante da quantidade de recarga, limitado a uma faixa constante que é possível avaliar. Mesmo assim, os resultados obtidos ditavam valores bastante desajustados.

A área de estudo pressupõe-se que devido à intervenção humana na superfície do terreno, como é o caso da actividade relacionada com a remoção da camada superficial argilosa, pode admitir-se a possibilidade de ocorrência de modificações de valores de recarga. Isso por sua vez, poderá especialmente ter impacto nas áreas onde tenham sido construídas infra-estruturas ou removido o solo ou mesmo desenvolvido actividade agrícola, resultante da alteração da cobertura superior do solo.

Obviamente, antes da água proveniente da precipitação atingir o lençol freático, ela deve passar a camada do topo, e uma vez esta consistir de camada argilosa com a taxa de permeabilidade baixa impede a infiltração da água superficial para o subsolo. A água da chuva que cai sobre esta área escoar-se rapidamente sobre o solo para pequenos drenos de água em particularmente no lado Norte do vale de Nhartanda, pese embora alguma água fica estagnada ao longo do vale formando pequenas lagoas, mas esta por sua vez evapora devido às altas temperaturas verificadas na região que envolve a cidade de Tete.

As condições hidráulicas nestes aquíferos aluvionares de Nhartanda e Matundo possibilitam o movimento de água em maior proporção. A avaliação de quantidade dessa água é difícil de calcular, pois ela constitui parte do balanço hídrico dos rios. Além disso, como referido anteriormente, devido às actividades humanas, o carácter de cobertura superior da área de estudo, particularmente a de Nhartanda modificou-se bastante. As modificações representam na prática alterações na recarga dos aquíferos. Paralelamente a isso, segundo a ARA-Zambeze, há sinais de

exploração excessiva dos aquíferos e de forma descontrolada, uma vez que em alguns furos em exploração não dispõem de contadores o que dificultaria na determinação do valor de recarga desse. Nestes termos, e com base no levantamento de campo feito, auxiliado pelos estudos desenvolvidos na área de estudo pode-se concluir no seguinte:

- \* As águas dos rios Zambeze e Révubuè são provavelmente as principais fontes de recarga dos aquíferos aluvionares do Vale de Nhartanda e Matundo, respectivamente.
- \* A quantidade de recarga natural dos aquíferos é actualmente menor que a quantidade de água extraída do mesmo. Essa afirmação resulta do facto de que os níveis de água continuam baixando em quase toda a região quando comparada as medições feitas nos últimos anos com as dos anos passados;
- \* A quantidade de recarga poderá estar a variar a cada ano, devido às modificações significativas que se verificam na cobertura da superfície do terreno, derivadas da remoção da camada argilosa localizada na parte superior do aquífero.

#### **5.3.4 Índice de Vulnerabilidade (IV)**

No **Vale de Nhartanda** a ocorrência litológica no topo do Vale é constituída por argila com uma espessura média de 6 metros e por um arenito médio, formando aquífero confinado a semi-confinado, conforme se pode observar o perfil geológico típico do vale de Nhartanda (Anexo A, figura A-4). A montante do Vale por sinal a também margem do rio Zambeze, presumivelmente a área de grande recarga do aquífero, verifica-se a disposição das camadas do aquífero de forma semi-confinante.

Do método de GOD, o material geológico que ocorre no topo, que por sinal é argiloso, recebe nota ou valor menor no parâmetro de ocorrência litológica (O), ou seja, até 0.7, tendo em consideração a metodologia GOD. Portanto, os componentes

argilosos de baixa permeabilidade dificultam a circulação ou infiltração a partir de fluxo horizontal de um contaminante dissolvido. Os valores baixos verificam-se ao longo da área onde se localizam os furos em exploração.

Das isolinhas de níveis hidrostáticos (figura 5-18), e considerando-se o nível médio da água nos furos ao longo do vale, é de 6 metros, portanto, deve receber o valor de 0.9 a 1, uma vez que sua classe encontra-se no intervalo entre 2.70 e 6.87 metros, que apresenta a distância existente até o lençol freático ou teto do aquífero confinado.

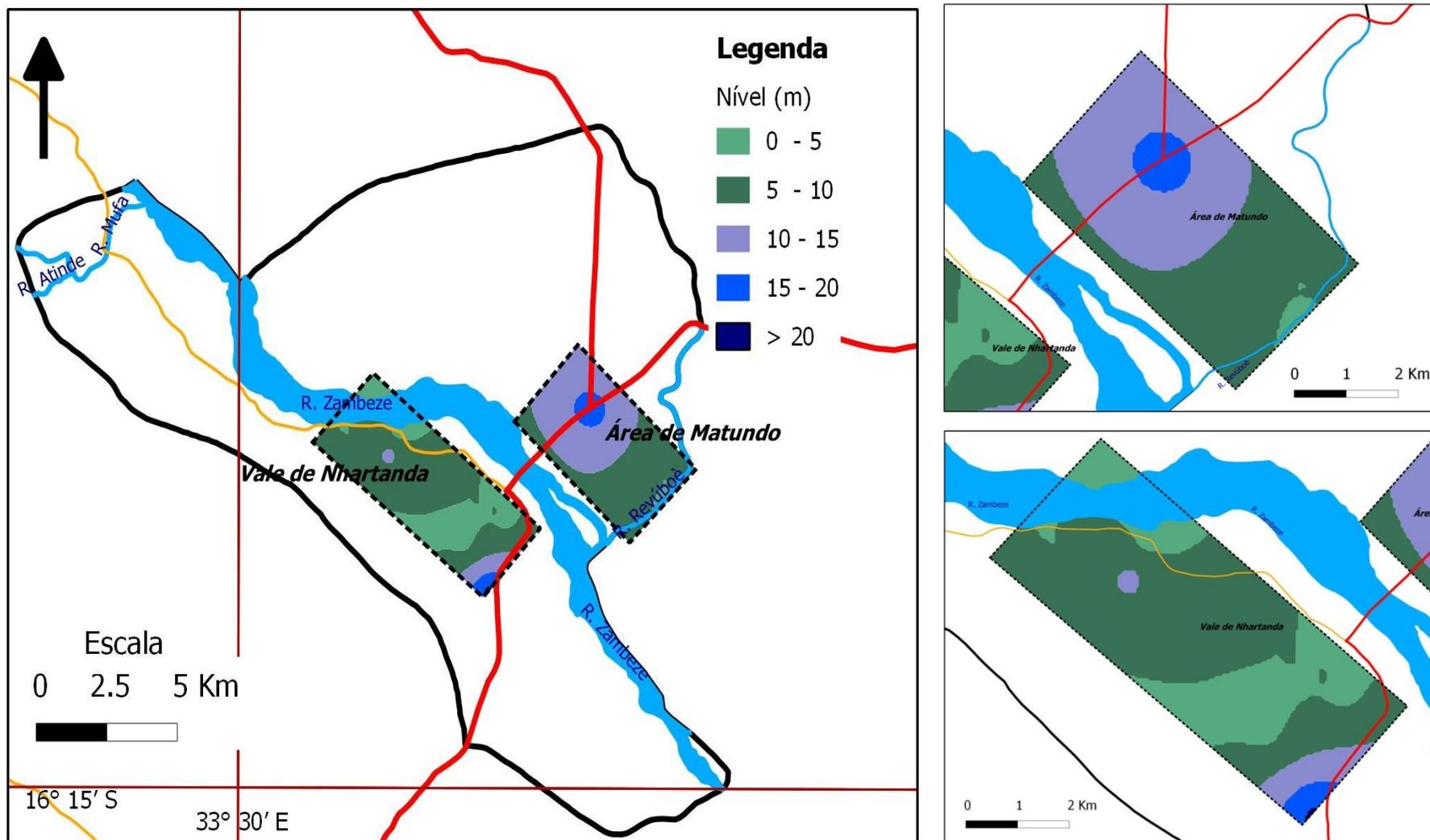


Figura 5-18: Isolinhas de níveis hidrostáticos

Pode-se observar ainda que a nota de 0,8 a 0,9 relaciona-se a valores de nível de água superiores a 5 metros, devido ao contaminante necessitar movimentar-se mais de 5 metros na vertical até atingir a camada saturada ou o topo da camada aquífera no referido ponto. Assim, os furos com nível de água menor do que 5 metros recebem nota 1, indicando a pior condição de acordo com o método GOD de Foster et al. (2006). Constatou-se que o nível do lençol freático ao longo do vale de Nhartanda apresenta menor índice vulnerabilidade de contaminação do aquífero, a partir de um foco localizado na parte superficial. Contudo, verificou-se a ocorrência de cerca de 20% de índice de vulnerabilidade médio a baixo, particularmente na zona a montante dos furos, por sinal área de considerada de recarga do aquífero. Nesta zona verifica-se igualmente a extracção massiva de argila e areia, necessitando, contudo atenção especial com vista preservar a qualidade natural do aquífero. Contudo, de uma maneira geral, pode-se afirmar que maior parte do vale apresenta valores de vulnerabilidade a contaminação insignificante.

Na **área de Matundo** as características hidrogeológicas aferidas permitem classificar a região com a ocorrência da água subterrânea de forma não confinada na maior parte da área. Portanto, a área de Matundo, é composta por aquíferos semi-confinados tendentes a livres mais para a zona de confluência com o rio Zambeze, com valores de Índice (G) variando de 0,3 a 0,7. Quanto à caracterização dos estratos de cobertura, constata-se a predominância de arenitos, sobrepostos por sedimentos não consolidados constituídos de argila, areia e cascalho, conferindo uma variação do índice (O) entre 0,6 e 0,8. A média de profundidade do nível de água é de 4.5 metros, semelhante com a de área de Nhartanda. Portanto, cerca de 30% dos furos de Matundo não apresentam dados de níveis estáticos, dificultando assim a avaliação alargada sobre a profundidade média de do lençol freático. Contudo, todos os furos que fazem parte do sistema de captação, a qual representam 20% dos registados, tem uma profundidade média de 5 metros, ordenando assim, os índices (D) iguais a 0,7 à 1. A combinação dos factores, que caracterizam o acesso à água subterrânea, permitiu classificar que aproximadamente, 58% da área de captação de Matundo apresenta vulnerabilidade à contaminação do aquífero de nível média. Importa referir que esta região quando comparada com a do vale de

Nhartanda, verifica-se parcialmente pouca existência de actividades humanas que perigam a qualidade natural do(s) aquífero(s) em exploração.



Neste contexto, no geral analisado de forma comparativa a vulnerabilidade natural dos aquíferos por acção atropogénica localmente, pode-se considerar que a área de Matundo se apresenta em situação mais desfavorável, susceptível à contaminação por infiltração vertical. Importa referir que na área de Matundo não se verifica até então o desenvolvimento ou existência de actividades nas proximidades das fontes de água ora em exploração que podem ameaçar o sistema hidrogeológico.

Torna-se importante enfatizar que em escala local, conforme aplicado no vale de Nhartanda, o método GOD apresenta resultados de índice de Vulnerabilidade (IV) satisfatórios, contudo, há necessidade de regular e monitorar as actividades aí desenvolvidas, as quais ameaçam seriamente a qualidade da água subterrânea. Dai, urge medidas de controle e protecção do aquífero e elaboração de medidas desencorajadoras para a prática de actividades que directa ou indirectamente podem levar a deteiorização da água subterrânea.

### ***5.3.5 Identificação de Possíveis Focos de Contaminação***

Na cidade de Tete, verifica-se nos últimos anos um aumento populacional de realce, que está associado ao desenvolvimento sócio-económico. Este desenvolvimento, está relacionado com o surgimento de empresas de pesquisa e exploração de recursos minerais, com destaque para o carvão mineral no distrito de Moatize que se localiza a cerca de 20km da cidade.

A nível da área de Nhartanda e área de Matundo, há potenciais fontes da contaminação das águas subterrâneas, como pode-se descrever de forma diferenciada:

#### **Vale de Nhartanda**

Como foi descrito no Capítulo 3 do presente estudo, o aquífero que ocorre no vale de Nhartanda está situado num lugar bastante vulnerável, associada à forma

geomorfológica da área. Este vale fica geralmente com água estagnada na época chuvosa e sofre inundação quando o nível de água é alto no rio Zambeze.



**Figura 5-20: Vista a jusante do vale de Nhartanda (Agosto 2010)**



**Figura 5-21: Vista parcial do vale de Nhartanda (Agosto 2010)**

O Vale é usado para a prática de actividades agrícolas. Segundo entrevistas e consultas feitas à população local, alguns agricultores usam agro-químicos para melhorar a sua produtividade embora esta prática tenha sido fortemente banida pelas autoridades locais, sob-coordenação da ARA- Zambeze. Como é sabido, a contaminação por nitratos através do uso de fertilizantes e pesticidas durante a actividade agrícola é um factor que influencia a qualidade de água subterrânea. Estes, geralmente contidos no solo são lixiviados pela água e infiltram até atingirem o lençol freático ou aquífero em questão. Sendo o Vale de Nhartanda a cintura verde da cidade de Tete há bastantes anos, a prática da agricultura foi sempre praticada por camponeses singulares e pequenas associações. Actualmente, devido ao empobrecimento cada vez crescente dos solos e para rentabilizar a actividade agrícola, o uso de agro-químicos torna-se necessário no enriquecimento dos solos. Infelizmente, por limitações, não foi possível recolher amostras e efectuar análises laboratoriais com vista à obtenção de teores actuais de nitratos ao longo do vale. Os dados constantes na tabela 5-5 indicam valores altos ao longo dos furos localizados na área de estudo.

A figura A-2 em Anexo ilustra as áreas cultivadas a nível do vale de Nhartanda, que de alguma maneira sempre se verificou esta prática com maior intensidade.



**Figura 5-22: Actividade agrícola ao longo do Vale de Nhartanda**  
(Agosto de 2010)

A superfície do vale é coberta por material argiloso e areais finas, o qual forma o topo do sistema hidrogeológico. Esta camada, é explorado de forma intensiva pela população como matéria-prima para o fabrico de tijolos para construção, bem como para o fabrico de objectos de barro, em olarias rudimentares, colocando a camada argilosa menos espessa, e conseqüentemente deixa o aquífero exposto à contaminação. Ao longo do vale, alargaram-se buracos que seriamente ameaçam a protecção do aquífero. A localização preferencial de extracção de argilas está ilustrada na figura A-3 em Anexo.

A espessura média da camada pouco permeável que ocorre no Vale de Nhartanda e Matundo é de 6 e 4 metros respectivamente. Em alguns sítios, com destaque para a montante do vale, esta camada é muito arenosa, e é o local onde mais se extrai a camada superficial. Os resultados de infiltração nestes locais indicaram permeabilidade ligeiramente altas quando comparadas com a restante área ao longo do vale.



**Figura 5-23: Remoção de camada de argila, vale do Nhartanda**  
(Agosto de 2010)

No sopé das montanhas que ladeiam o vale de Nhartanda verifica-se uma grande pressão habitacional, caracterizado por edificações precárias e sem nenhum sistema de esgoto. As actividades urbanas, a proliferação de latrinas e lixeiras, que devido à inexistência de sistemas de tratamento e recolha de dejectos nos bairros da cidade e próximos do vale, a utilização de fossas sépticas ou de outro tipo de solução para o saneamento básico, sem, contudo, tomar-se em conta o seu impacto sobre as águas subterrâneas, torna a situação no vale bastante deplorável. A figura A-1 em Anexo ilustra a localização de lixeiras e águas estagnadas ao longo do vale.



**Figura 5-24: Disposição do lixo nas proximidades do vale**  
(Agosto, 2010)

Por outro lado, ao longo do vale de Nhartanda na sua margem está localizado o grande centro comercial informal da cidade de Tete, o famoso mercado “*Kwachena Nhartanda*” onde há proliferação de diversos focos de contaminação de água subterrânea, tais como a existência de uma lixeira de dimensão considerável, de

latrinas maioritariamente não melhoradas para o uso de vendedores e frequentadores do mercado. Importa referir que neste mercado as condições de higiene-sanitárias são muito precárias, senão mesmo inexistentes, colocando deste modo um grande perigo à saúde pública. Uma antiga lixeira que se localizava à montante do vale foi encerrada.

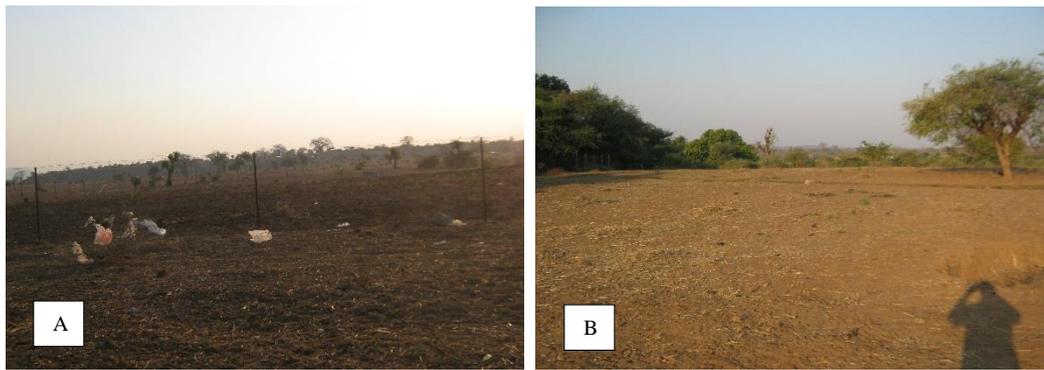


**Figura 5-25: Mercado Kwachena- Nhartanda**  
(Agosto de 2010)

### **Área de Matundo**

A semelhança do vale de Nhartanda, a área onde se localizam os furos de captação de Matundo, é frequentemente inundada no período chuvoso em casos de subida dos níveis do rio Révubuè. Assim, as águas arrastam os dejectos orgânicos na periferia do campo deixando-os dentro dos furos. Provavelmente, os problemas de contaminação dos aquíferos em Matundo, poderão estar relacionados com esta situação.

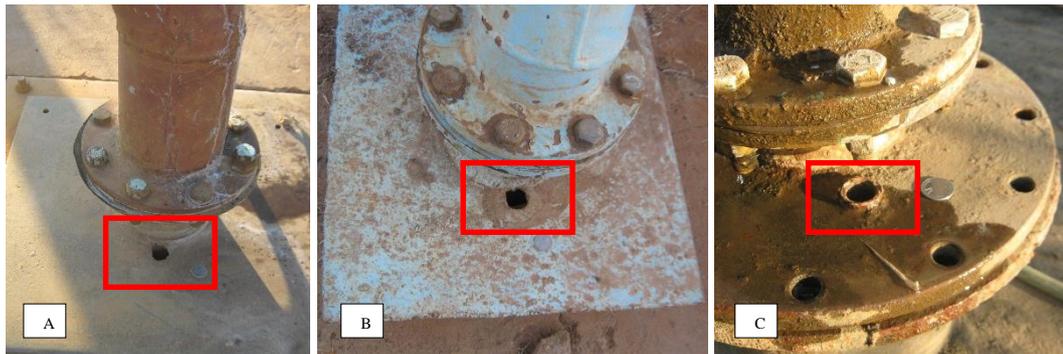
Convém ressaltar que devido à fertilidade das terras adjacentes ao rio, verifica-se igualmente na área, a prática da actividade agrícola, mas pouco intensiva quando comparada com a de Nhartanda. Contudo, nas proximidades dos furos, existem sinais fortes de intenções para o uso e aproveitamento da terra, particularmente para fins domiciliários.



**Figura 5-26: Futuras áreas para construções domiciliárias**  
(Setembro de 2010)

Embora não relatados exhaustivamente na consulta bibliográfica, quer nas conversas informais efectuadas no local durante a pesquisa, problemas de origem bacteriológica são provavelmente a causa principal da contaminação nas fontes. A existência de corrosão de equipamentos como electrobombas e outros materiais metálicos, as quais alteram a coloração da água em alguns furos são também factores que colocam em causa a qualidade de água. Estes fenómenos geralmente estão ligados á existência de bactérias de ferro, que provavelmente tenham sido causados pela exploração inadequada do aquífero.

Nas zonas periféricas da cidade de Tete o fecalismo a céu aberto é um facto. Esta situação infelizmente verifica-se com grande intensidade ao longo do vale de Nhartanda e área de captação de Matundo. Os furos não estão devidamente protegidos, uma vez existirem orifícios, os quais usados para a manutenção e monitoramento de níveis nas fontes, não se encontrarem selados conforme ilustrado nas imagens da figura 5-27. Isso faz com que muitas vezes dejectos poluentes entrem nas fontes, constituindo assim grande foco de contaminação. Uma vez que em ambas captações (Nhartanda e Matundo) na época chuvosa e principalmente com a ocorrência de cheias as fontes ficam inundadas, torna assim a situação cada vez mais preocupante.



**Figura 5-27: Ilustração de furos com protecção deficiente, Nhartanda e Matundo,**  
(Setembro de 2010)

Assim, conforme pode-se constatar, na área de estudo, os aquíferos actualmente em exploração contendo água subterrânea adequada para consumo, estão sob perigo cada vez maior de contaminação em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das actividades agrícolas, sem excluir a actividade mineira.

Em todas partes da cidade de Tete, são necessárias campanhas proactivas e desenvolvimento de acções práticas para proteger a qualidade natural (em geral excelente) da água subterrânea, o que se justifica tanto sob os critérios amplos da sustentabilidade ambiental como sob os critérios mais restritos do benefício económico. É também importante que a empresa responsável pela operação, gestão do sistema de abastecimento de água à cidade de Tete e bairros circunvizinhos (FIPAG) em forte coordenação com a ARA- Zambeze, na qualidade da instituição responsável pela gestão operacional e integrada dos recursos hídricos faça avaliação e exploração cuidadosa, com vista a preservar a qualidade deste importante recurso.

Medidas de protecção especial são realmente necessárias para as fontes, com especial atenção as localizadas no vale de Nhartanda e Matundo, as quais constituem a fonte principal de abastecimento de águas às populações de Tete, cuja desejo seja fornecer água de qualidade potável ou equivalente, não se esquecendo que o abastecimento público de água potável, é um pré-requisito que a qualidade da água bruta seja boa e constante, e as reservas de águas subterrâneas protegidas são as que melhor cumprem esse requisito. A utilização de processos de tratamento

(além da desinfecção preventiva) para atingir esse objectivo só deve ser considerada em último caso, em virtude de sua complexidade técnica, custo financeiro e pesado encargo operacional.

#### **5.4 Avaliação da Qualidade de Água**

A carta hidrogeológica de Moçambique na escala 1:1.000.000 e a respectiva notícia explicativa (1986) descreve de um modo geral que a água subterrânea nesta região que abrange a área de estudo é bastante mineralizada, atingindo cerca de 4 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de condutividade eléctrica (CE), particularmente em aquíferos cobertos por argilas e argilíto, cuja profundidade média dos furos é de cerca de 70 metros. Os aquíferos aluvionares são os que apresentam no geral, água com boa qualidade com valores de CE na ordem de 300 a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O Anexo B, tabelas A-5 e A-6 apresentam os dados de qualidade de água de furos existentes na cidade de Tete, os quais indicam que a qualidade natural de água no geral é variável.

Tendo em consideração as condições hidrogeológicas locais e, com vista a facilitação na análise de qualidade de água, pode dividir e distinguir *três tipos de água*, nomeadamente, (i) água dos rios Zambeze e Révubuè, (ii) água que ocorre nas formações de grés do Karroo, e finalmente (iii) água que ocorre nas formações aluvionares, nas quais se localizam as principais captações de águas para o abastecimento. Assim, a seguir apresenta-se a descrição pormenorizada destas águas conforme o tipo de ocorrência.

##### **5.4.1 Água Superficial do Rio Zambeze e Révubuè**

Muito pouca informação ou estudos existem sobre a avaliação da qualidade de água do rio Zambeze e Révubuè. Esta informação poderia auxiliar na apreciação e comparação das características físico-químicas com a da água subterrânea que ocorre na área de estudo e com especial atenção para a água do vale de Nhartanda e Matundo, admitindo a existência de um contacto dinâmico entre os rios Zambeze e Révubuè sobre o vale de Nhartanda e Matundo respectivamente, constituindo assim, a principal fonte de recarga dos aquíferos através de fluxos horizontais, bem como verticais. (DNA, 1986, 1978 e 1989).

O conhecimento sobre a qualidade de água dos rios Zambeze e Révubuè é fundamental. Contudo, esforço foi feito no sentido de encontrar dados adicionais, tendo sido colectados alguns, maioritariamente referentes ao período da década noventa conforme ilustrado na tabela 5-5.

**Tabela 5-5: Dados químicos da água**  
(Fonte: DNA & ARA- Zambeze)

#	Local	CE μS/cm	pH	Cl (mg/l)	Fe (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	C. Fecais (100ml)
1	Rio Zambeze	138.0	7.8	7.0	0.23	1.32	78	>47000
	Campo de furos de Nhartanda (2 furos)	720.0	7.0	46	0.02	0.88	311	>2400
		525.0	6.5	46	0.20	0.22	246	>2300
2	Rio Révubuè	143	8	5	0.10	1.1	98	>42000
	Campo de furos de Matundo (2 furos)	494	7.3	42	0.0	0.0	185	>790
		512	6.5	40	0.24	3.52	236	>720

A água superficial, biologicamente é muitas vezes considerada potencialmente contaminada, e quando entra num furo também contamina a água do furo. A água do rio, neste caso particular dos rios Zambeze e Révubuè, antes de atingir o furo, passa do ambiente subterrâneo, onde naturalmente é purificada, deixando a água com características que pode ser considerada apropriada para o consumo humano.

Da tabela 5-5, a água dos rios Zambeze e Révubuè é bacteriologicamente contaminada. De referir que segundo o MISAU/DNA (2004) no seu Regulamento sobre a qualidade de Qualidade de Água, define que a água para o consumo humano devesse estar ausente de coliformes fecais, conforme pode-se ver na tabela 5-6, uma vez que estes representam risco a saúde.

**Tabela 5-6: Parâmetros microbiológicos**

(Fonte: Regulamento sobre a Qualidade de Água para o Consumo Humano; MISAU/DNS; 2004)

Parâmetros	Limite Máx. Admissível	Unidades	Risco para a Saúde Pública
Coliformes totais	Ausente	NMP*/100 ml	Doenças gastrointestinais
		N <sup>o</sup> colónias/100ml	
Coliformes fecais	Ausente	NMP*/100 ml	Doenças gastrointestinais
		N <sup>o</sup> colónias/100ml	
Vibrio Cholerae	Ausente	1.000 ml	Doenças gastrointestinais
*(NMP): Número Mais Provável)			

A OMS indica que a água de um rio é considerada de boa qualidade quando apresenta menos de mil coliformes fecais e menos de dez micro-organismos patogénicos por litro (como aqueles causadores de doenças como a verminoses, cólera, esquistossomose, febre tifóide, hepatite, leptospirose, poliomielite etc.).

Importa referir que as amostras utilizadas para a análise bacteriológica nos Estudos anteriormente referidos, nos quais foram extraídos os dados apresentados na tabela 5-5, em grande número foram colhidos a jusante à cidade. Dai que admite-se que os valores altos de coliformes fecais, particularmente no rio Zambeze, poderão estar associados a contaminação por resíduos e esgotos, uma vez que o sistema de drenagem da cidade escoia para o rio.

A solução provável que deve ser tomada a fim de evitar esta contaminação dos rios é tratar o esgoto produzido antes de lançá-lo nos rios, se estes não suportarem a carga poluidora, diminuindo assim a matéria orgânica, as substâncias tóxicas e os agentes patogénicos.

Nestes termos, a partir dos dados constantes na tabela acima (tabela 5-5), pode-se concluir que:

- A qualidade de água do rio Révubuè é similar à do rio Zambeze. A água é pouco mineralizada, com teor de Cl<sup>-</sup> abaixo de 10mg/l e CE inferior a 150 µS/cm. A mesma apresenta-se com alto nível de contaminação bacteriológica;

- As águas dos furos de Nhartanda e Matundo apresentam alto teor de  $\text{Cl}^-$  e de nitratos, bem como de bicarbónico ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- O pH da água dos rios e água subterrânea é similar.

É importante referir também que nos bairros arredores da cidade de Tete, particularmente nos bairros onde se verifica o uso considerável da água dos rios para fins doméstico, durante a época chuvosa é frequente ocorrerem epidemias de cólera.

Igualmente, é importante fazer notar que a ARA-Zambeze possui um laboratório para análise de qualidade de água, estando actualmente limitada apenas a análises de qualidade de água aos parâmetros físicos.

#### **5.4.2 Água do Grés de Karroo**

A partir da distribuição espacial de furos da área de estudo (figura 5-1), percebe-se facilmente que a nível da cidade de Tete, a área que abrange a formação do grés, não foram feitas muitas perfurações, e conseqüentemente muito pouca informação existe sobre a qualidade de água subterrânea. Dos poucos dados e informação encontrada, e com o auxílio dos estudos efectuados pela DNA na década 80, foi possível apurar que a água nesta região é ligeiramente salobra, com teor de cloreto igual a 220 mg/l, tendo se registado o valor máximo de cloreto, particularmente nos depósitos de Karroo (valores superiores a 1100mg/l).

Esta região apresentou igualmente valores elevados de Magnésio, Sódio, Potássio e Sulfato, o que sugere uma influência de evaporites. Segundo DNA (1989), as análises de água indicaram que as amostras pouco profundas apresentaram teor de nitratos elevados. Contudo, para a determinação da composição da água de forma mais segura é necessário efectuar mais análises especialmente durante a época seca. O conhecimento físico-químico da água dos furos quer de Nhartanda como de Matundo depende sem dúvidas, do conhecimento da qualidade de água da formação do grés de Karroo.

### **5.4.3 Água dos Aquíferos Aluviais de Nhartanda e Matundo**

A água que abastece a cidade de Tete e bairros circunvizinhos é extraída nos aquíferos do aluvionares de Nhartanda e de Matundo. Por esta razão, fez-se uma avaliação geo-estatística extensiva e cuidadosa à 9 parâmetros, nomeadamente: CE, Cl, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH, Turbidez, OD, Fe, Dureza Total, incluindo a avaliação de contaminação a partir de Coliformes Fecais. A análise consistiu na verificação da variação dos teores e/ou valores destes parâmetros em duas épocas. Posteriormente, estes valores foram comparados aos valores máximos admissíveis estabelecidos pela MISAU/DNS e OMS apresentados na Tabela A-18 em Anexo B.

Os períodos analisados foram os anos de 1990 a 1999 e o segundo de 2000 a 2009, na qual se constatou o seguinte:

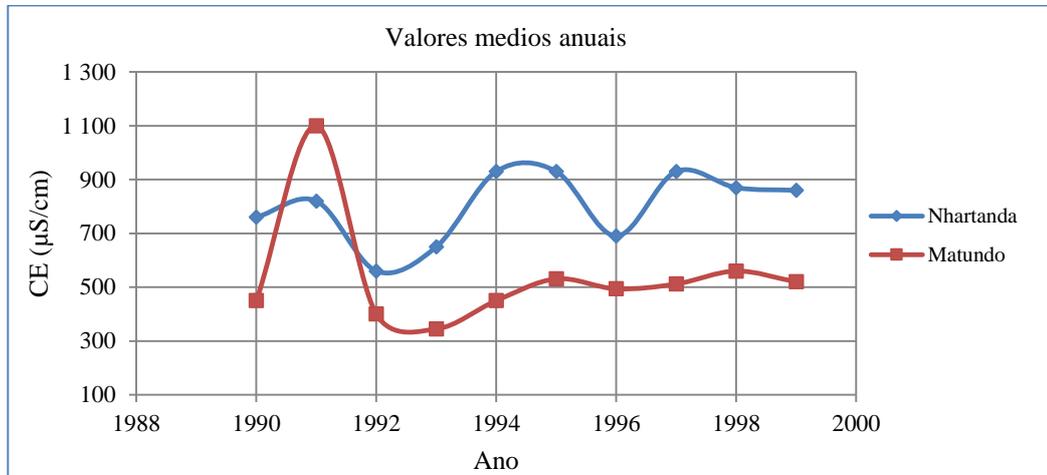
#### **Conductividade Eléctrica (CE)**

No período entre os anos 1990 e 1999, as fontes localizadas ao longo do vale de Nhartanda a água dos furos apresenta valores médios de CE entre 300 e 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e valores em média abaixo de 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a área de Matundo (na zona aluvionar).

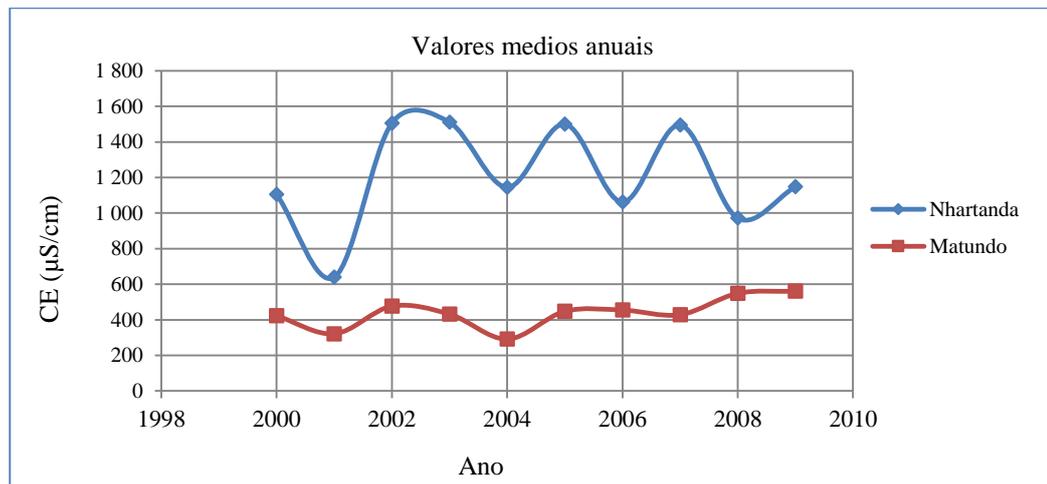
No ano de 1991 os valores médios de CE nos furos de Matundo elevam-se bastante que chega a atingir 1,100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ver a figura 5-28). Esta subida de CE poderá estar provavelmente associada as inundações ocorridas na área onde se localizam os furos de Matundo, durante a época chuvosa 1990/1991. Pode-se igualmente presumir que esta subida abismal poderá estar relacionada com um erro humano durante a digitalização e introdução de números no BdD.

Durante o período entre os anos 2000 e 2009, portanto, 10 anos seguintes, na área de Matundo os valores médios de CE da água dos furos mantêm-se (ver a figura 5-29), verificando-se valores relativamente altos ao longo do vale de Nhartanda e com tendências a subir nos furos localizados a jusante da área de captação.

Os valores de CE quer no campo de furos de Nhartanda como o de Matundo estão dentro do intervalo admissível para o consumo doméstico, uma vez que, segundo LNHA-MISAU (2004), o teor de CE na água não deverá exceder 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 5-28: Variação média de CE, vale de Nhartanda e Matundo (1990-1999)**



**Figura 5-29: Variação média de CE, vale de Nhartanda e Matundo (2000-2010)**

Na figura 5-29 pode-se constatar que os valores de CE entre os anos 2000 e 2010 na área de Nhartanda são altos quando comparados como os de Matundo. A origem desta acentuada elevação de valores médios anuais em Nhartanda neste período estará provavelmente as actividades agrícolas com recurso a agro-químicos associada a prática de remoção da camada argilosa que ocorre no topo do aquífero,

influenciado deste modo as características hidráulicas do material subterrâneo por sinal protector a contaminação do aquífero a partir da superfície.

No geral pode-se afirmar que o teor de CE na área de Nhartanda é alto na área de Matundo. A variação do CE na área de estudo poderá estar associada a presenças de iões como carbonatos, bicarbonatos associados as características litológicas da área, que é constituída maioritariamente por formações geológicas do Karroo na base do aquífero principal. Por outro lado, sabe-se que a temperatura é o parâmetro com uma enorme influência nos processos biológicos, nas reacções químicas e bioquímicas e na solubilidade dos gases e sais dissolvidos que ocorrem na água. Neste contexto, julga-se que a temperatura nesta região poderá ter influência na qualidade de água. A CE é tanto mais alta quanto mais elevada for o teor de sais em água.

Importa destacar que o consumo de água com o teor ligeiramente alto de CE não põe perigo a saúde humana, mas, tem influência no sabor.

### **Cloretos (Cl<sup>-</sup>)**

Não foram identificados dados suficientes de Cl<sup>-</sup>, especialmente referentes aos anos de 2000 a 2009. Os poucos dados compilados e analisados referem-se ao período entre 1990 e 1999. Os valores indicam teores de Cl<sup>-</sup> altos ao longo do vale de Nhartanda (~300 mg/l), entre os anos 1992 e 1995. Estes valores estão acima do limite máximo tolerável fixado pela LNHA - MISAU, que é de 250 mg/l.

Na área de captação de Matundo, os valores de Cl<sup>-</sup> estão na ordem 40 mg/l. Importa referir que a altas concentrações de ião Cl<sup>-</sup> nas águas podem afectar o sabor.

### **Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

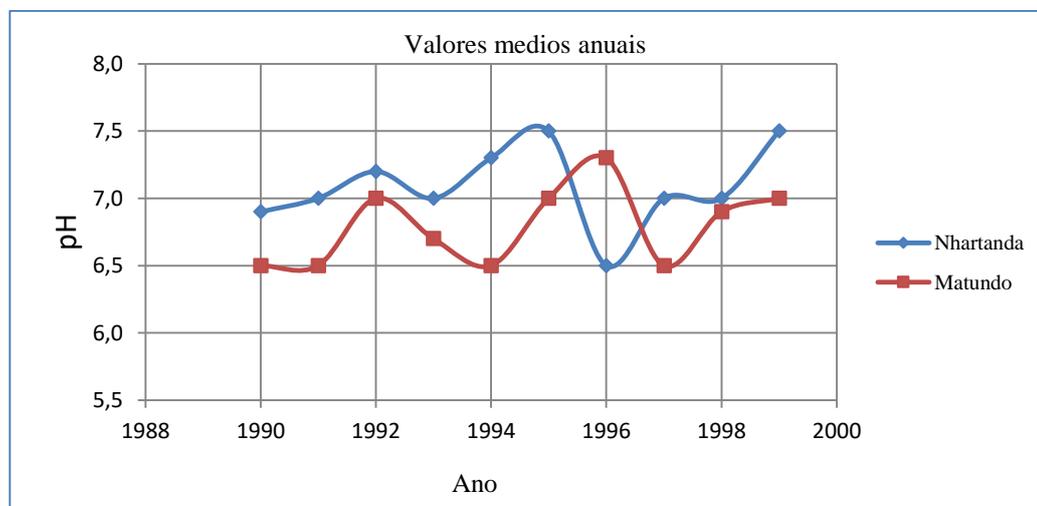
Á semelhança de Cl<sup>-</sup>, muito pouca informação existe sobre NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na área de estudo. Os dados e informação registada, indica que os furos localizados nas proximidades ou nas áreas de inserção do vale de Nhartanda apresentam teores elevados de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que chegam a atingir 52 a 63, constituindo assim, águas impróprias para o consumo humano, uma vez que o limite máximo nacional admissível do teor de

$\text{NO}_3^-$  é de 50 mg/l (LNHAA, 1996). Altos teores de nitratos nestas áreas poderão estar associados a existência de assentamentos populacionais com a deficiência na recolha de lixo e no tratamento de água de esgotos. Ao longo dos campos de furos, com particular destaque o de Nhartanda, os altos valores de  $\text{Cl}^-$  poderão estar fortemente associados à actividade agrícola usando agro-químicos. Na área de captação de Matundo os valores de  $\text{NO}_3^-$  são baixos.

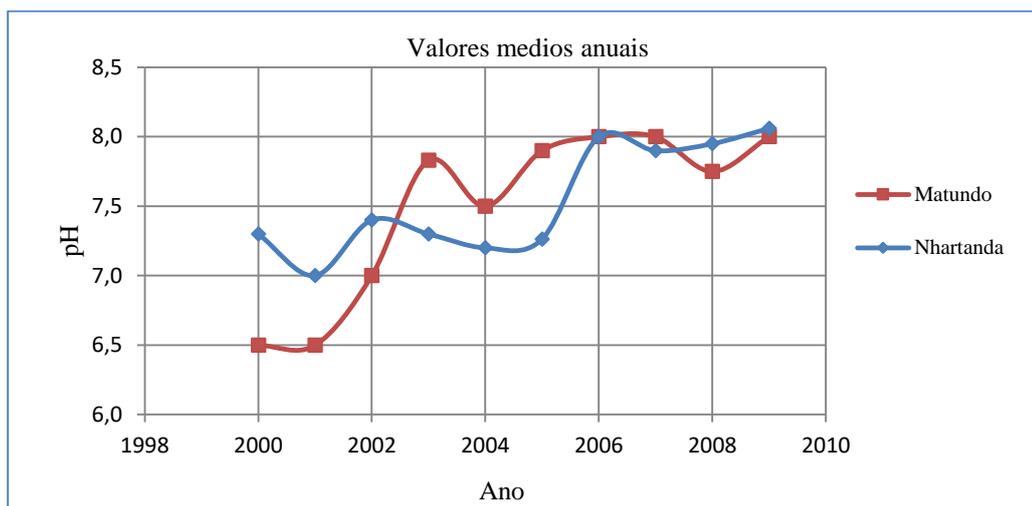
### **Potencial Hidrogénio-ionico (pH)**

Quer no campo de furos de Matundo como no de Nhartanda, o teor médio de pH na água dos furos varia de 6,0 a 7,5 no período entre 1990 e 1999 e nos anos de 2009 a 2009, o pH varia entre 7,3 e 14,0, com tendências a subir. A área de Nhartanda apresenta valores relativamente altos quando comparados com os valores de Matundo, conforme pode-se observar nas figuras 5-30 e 5-31. Importa referir que este parâmetro é usado para indicar a acidez ou alcalinidade da água, dado pertinente na análise de água para o consumo doméstico.

Segundo o LNHAA- MISAU (1996), o pH de água potável deve estar compreendida entre 6,5 e 8,5. Nestes termos, poder-se-á concluir que a água dos furos localizados na área de estudo apresenta o pH dentro dos limites admissíveis para o consumo humano.



**Figura 5-30: Variação média de pH no vale de Nhartanda e Matundo (1990-1999)**



**Figura 5-31: Variação média de pH no vale de Nhartanda e Matundo (2000-2010)**

### **Turbidez**

Turbidez na água é causada pela presença de materiais suspensos. Segundo a LNHAÁ- MISAU, a mesma na escala de classificação não deve exceder o intervalo de 0 a 5. A variação da turbidez das águas subterrâneas no vale de Nhartanda e Matundo, a partir da informação referente aos últimos anos, conforme disposto nas tabelas A-5 e A-6 em Anexo B, indica estar dentro do limite admissível, com valores que oscilam de 0.3 a 3.9 NTU.

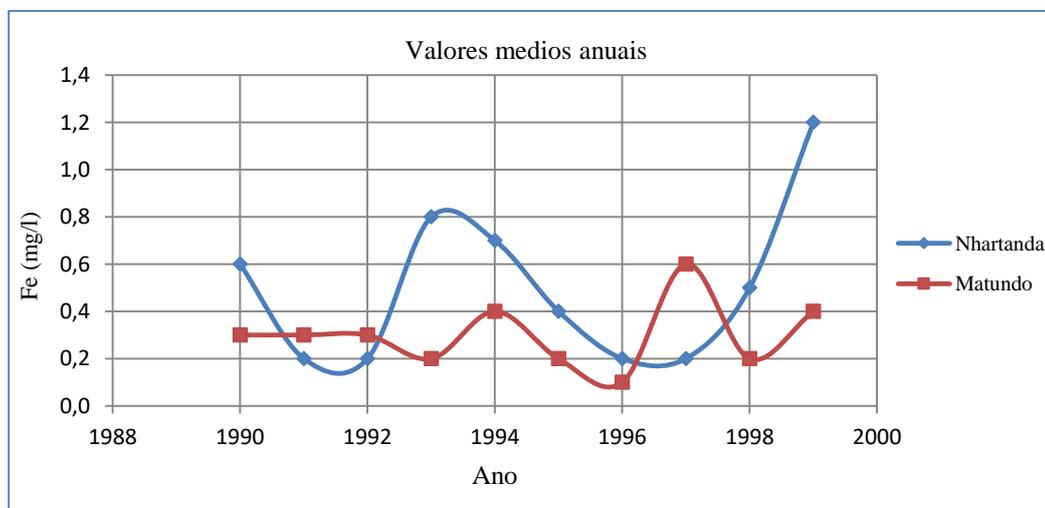
### **Oxigénio Dissolvido (OD)**

O OD a nível da área de estudo apresenta-se no limite recomendável para o consumo doméstico, isto é, a água apresenta percentagem de saturação aceitável para o consumo humano. Importa destacar que os níveis de oxigénio na água diminuem como consequência do aumento de actividades de microrganismos, usando a matéria orgânica como fonte de energia e consumindo o oxigénio durante o processo. O conteúdo do oxigénio dissolvido na água é influenciado pela a coluna de temperatura, composição de tratamento de todo processo químico e biológico que ocorre no sistema.

### **Ferro (Fe)**

O Fe nas águas subterrâneas encontra-se na forma de  $\text{Fe}^{2+}$  (solúvel) devido à ausência de oxigénio dissolvido. O  $\text{Fe}^{2+}$  quando exposto ao ar oxida-se facilmente para o  $\text{Fe}^{3+}$  insolúvel. A água dos furos que contêm o  $\text{Fe}^{2+}$  é limpa e não apresenta nenhuma cor, mas quando bombeada e exposta ao ar oxida-se para  $\text{Fe}^{3+}$ , tomando uma cor castanha avermelhada e precipita-se. O único inconveniente da elevada concentração de  $\text{Fe}^{3+}$  é o sabor desagradável, a cor e o aspecto turvo que água apresenta. O Fe na água para fins domésticos não deverá exceder à 0.3 mg/l (LNHAA, 1996).

Constatou-se que o Ferro no vale de Nhartanda constitui um dos grandes problemas de água conforme pode-se ver nos gráficos da figura 5-32. Uma vez que, maioritariamente das fontes existentes, para a sua construção usou-se tubos galvanizados, admite-se que o alto teor de Fe poderá estar associado a danificação e corrosão deste material, a título de exemplo, os filtros de ferro para o revestimento. Consequentemente, no campo de furos de Nhartanda existe um furo que suspendera a sua exploração pelo facto de apresentar teor de Fe bastante alto. Admite-se igualmente que os valores altos de Fe poderão estar associados a formação geológica que ocorre na região.



**Figura 5-32: Variação de Fe, vale de Nhartanda (1990-1999)**

### **-Dureza Total**

A dureza é a propriedade que indica o conteúdo de iões de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo a dureza total a soma das concentrações destes iões. A dureza de água é classificada segundo os intervalos mg/l indicados na tabela que segue.

**Tabela 5-7: Classificação da dureza da água**

(MISAU 1996)

<b>Tipo de água</b>	<b>Intervalo</b>
Águas muito macias	0 – 70mg/l
Água macia	70 – 150mg/l
Água semi-dura	150 – 220mg/l
Água bastante dura	220 – 320mg/l
Águas Dura	320 – 420mg/l
Água muito dura	> 420mg/l

Nos boletins consultados, apenas da década noventa, constatou-se incoerência e falta de alguns parâmetros químicos de água considerados importantes, o que foi provado pelo balanço de iões ilustrado na tabela 5-8, a qual apresenta um sumário dos dados extraídos de um dos boletins do furo de Nhartanda. Nestas condições não foi possível traçar o diagrama de Stiff.

**Tabela 5-8: Dados químicos de água, vale de Nhartanda**

<b>Aniões</b>				<b>Catiões</b>			
<b>ID</b>	<b>mg/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>%</b>	<b>ID</b>	<b>mg/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>%</b>
<b>Cl<sup>-</sup></b>	21.28	0.599	12.1	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0.05	0.003	0.1
<b>So<sub>4</sub></b>	23.40	0.488	9.9	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	21.64	1.053	30.5
<b>CO<sub>3</sub></b>	0.00		0.0	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	11.71	0.964	27.9
<b>HCO<sub>3</sub></b>	234.32	3.841	77.6	<b>Fe<sup>2+</sup></b>	0.06	0.002	0.1
<b>NO<sub>3</sub></b>	1.20	0.019	0.4	<b>Na<sup>+</sup></b>	33.04	1.436	41.5
<b>NO<sub>2</sub></b>	0.03	-	0.0	<b>K<sup>+</sup></b>		-	-
	-	-	0.0	<b>Mn<sup>2+</sup></b>		-	-
<b>Total</b>	<b>280.23</b>	<b>4.948</b>	<b>100.000</b>	<b>Total</b>	<b>66.84</b>	<b>3.458</b>	<b>100.000</b>

Nestas condições pode concluir que a nível do vale de Nhartanda a água subterrânea é moderadamente dura, uma vez que o balanço indica um valor entre 1 e 3 meq/l, uma vez que os catiões de Cálcio e Magnésios estão na ordem de 21,64 a 1.053 meq/l para o  $\text{Ca}^{2+}$  e 11.71 a 0.96 meq/l para  $\text{Mg}^{2+}$ .

### **Coliformes Fecais**

Um dos aspectos não menos importante na degradação das águas na área de estudo está relacionado com a contaminação por coliformes totais e fecais, e esta por sua vez está directamente ligado às doenças que tem como portador à água.

Os furos do vale de Nhartanda e de Matundo apresentam coliformes fecais acima de 2300 em cada 100 mg/l, sendo o vale de Nhartanda com valores mais altos (ver a tabela 5-5). Os índices bacteriológicos altos nestes locais podem estar associados ao estado de conservação das fontes. A maioria das fontes não está devidamente protegida, como pode-se ver na figura 5-27, o que permite a entrada de material contaminante no furo. Esta situação é mais grave na época chuvosa. Segundo a OMS, a água para o abastecimento público deve estar isenta de bactérias patogénicas, na pior situação, esta água não deverá exceder a 3 coliformes em 100ml de água.

Durante a realização do presente estudo não foram colhidas amostras para análise bacteriológica. Para o efeito, utilizou-se informação e dados constantes em vários relatórios consultados durante a pesquisa. É surpreendente o elevado grau de contaminação bacteriológica das águas subterrâneas em exploração para fins domésticos. Contudo, deve-se referir que há realmente muitas razões específicas detrás do que causa a contaminação bacteriológica a água na área de estudo, dentre os quais se pode destacar o baixo nível higiénico-sanitário que se verifica em quase toda a cidade de Tete.

## **5.5 Protecção de Águas Subterrâneas**

### **5.5.1 Avaliação do Comportamento Aquífero**

A ocorrência de águas subterrâneas na área de estudo pode ser avaliada tendo em conta a relação desta com a (i) estrutura geológica, (ii) a geomorfologia superficial e (iii) a geologia local. Assim, descreve-se:

#### **Relação de Água Subterrânea e Estrutura Geológica**

Geologicamente a região que se insere a área de estudo é caracterizada por grés grosseiro a médio, por vezes finos e compactos, margas e xistos carbonosos, formações calcárias, incluindo carvão e intrusões dioríticas do Karroo, formando-se sobre rocha consolidada e a circulação da água é feita por meio de fracturas e fissuras. As camadas são igualmente caracterizadas como tendo baixa permeabilidade (DNA, 1989). Segundo os testes de infiltração efectuados na área, secundados pelos dados de estudos anteriores, pode-se admitir que os valores de permeabilidade estão na ordem de 10 m/d e com uma porosidade menor que 20%, embora apresente alguma porosidade secundária provavelmente consequente de actividades tectónicas (falhas) e carsificação, resultando no alargamento das fissuras por acção de soluções aquosas ácidas actuando sobre as rochas calcárias.

Na zona de Nhartanda assim como a de Matundo, onde se localizam os campos de furos, predomina material granular não consolidado ou semi-consolidado, areias grossas e areão de alta permeabilidade na ordem de 10m/d e porosidade entre 30 e 10%, cuja produtividade é considerada alta em termos de caudais.

#### **Relação de Água Subterrânea e Geomorfologia Superficial**

A relação entre águas subterrâneas e a geomorfologia local é de algum modo, descrita no subcapítulo 3.2.1 (*Condições físicas e morfológicas*). No entanto, importa salientar que na parte Norte, Nordeste e Sudoeste algumas falhas interpretadas com orientação predominante Sudeste Noroeste e uma escarpa a sudeste da cidade de Tete num alinhamento paralelo ao alinhamento do rio Zambeze, Noroeste – Sudoeste (Carta Geológica Nacional, 2007). De um modo geral as depressões dão origem à formação de aquíferos bastante produtivos.

Presumindo-se que os rios Zambeze e Révubuè são a fonte principal de recarga dos aquíferos aluvionares de Nhartanda e Matundo respectivamente, embora a precipitação seja a principal entrada do sistema, ela não representa um indicador proporcional da recarga devido às perdas assim como devido ao tempo de percolação vertical, associados a formação geológica que ocorre na camada superficial argilosa, a qual possui uma permeabilidade muito baixa.

### **Relação Fluxo de Água e História Geológica da Área**

A forma actual do vale de Nhartanda mostra claramente que trata-se de um antigo braço do rio Zambeze. Ambos os extremos chegam até ao rio Zambeze. Durante um período considerável de tempo geológico, o vale foi o leito principal do rio. Nesse período foram depositadas areias grossas e areão num ambiente com grande corrente de água que não permitiu a deposição de material fino. As mudanças do regime do rio Zambeze e da posição do leito resultaram em depósitos não homogéneos que variam de areia média até areia grossa com pedregulhos e areão. O vale só fazia parte do rio durante as inundações (DNA, 1989b). Nesta camada desenvolveram-se alguns pequenos vales, particularmente no lado Norte do vale.

Neste período, depositou-se uma camada de argila e areia fina argilosa, no ambiente de água estagnada ou com velocidade de corrente muito baixa, a qual cobre os depósitos aluvionares. Nestas ocasiões, as características da área não permitiram que a água saísse facilmente para as zonas baixas ou para os rios e assim formou-se pequenas lagoas temporárias.

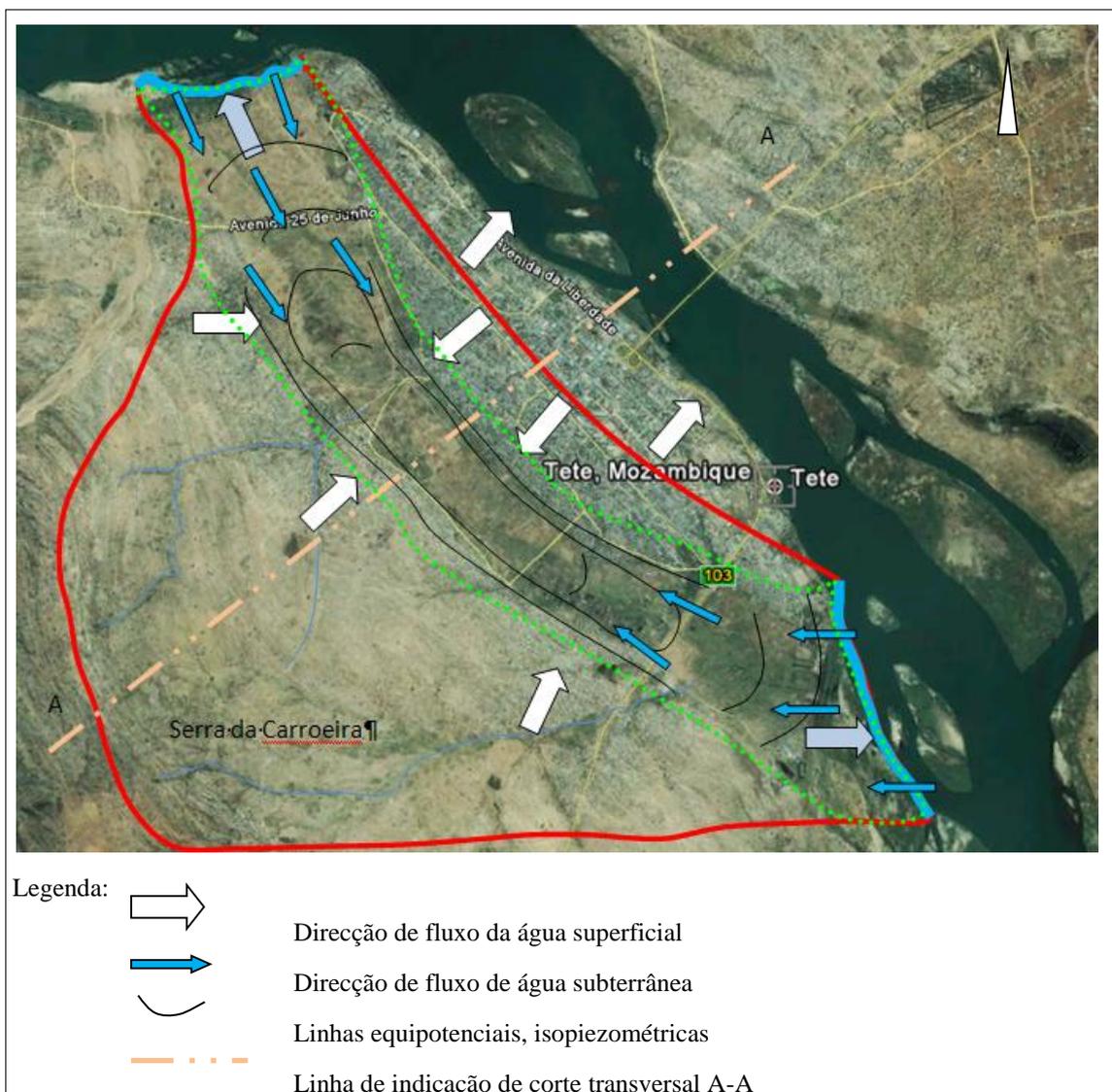
#### ***5.5.2 Áreas de Protecção do Sistema Hidrogeológico***

A delimitação ou definição de zonas de protecção dos aquíferos para a estabelecer e/ou apoiar na planificação e gestão de águas subterrâneas é um tema muitas vezes difícil de ser atendido, o que geralmente transcende os limites políticos e administrativos. Outros obstáculos para um enfoque integrado são a falta de capacidade institucional, a disponibilidade limitada de fundos, o saber, ou simplesmente, a falta de abrangência das políticas. Entretanto, torna-se visível que

as medidas legais e institucionais a nível nacional estão sendo consolidadas e harmonizadas com vista a melhorar cada vez mais a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Contudo, é importante referir que a mudança não depende apenas dos poderes constituídos, mas de todo um conjunto de acções e coordenação a nível de todos os sectores que directa ou indirectamente estão envolvidos no desenvolvimento de princípios aceitáveis para o uso e aproveitamento de água, bem como de procedimentos para a análise e avaliação de recursos hídricos subterrâneos, tanto em seus aspectos qualitativos como quantitativos.

### **A nível de Vale de Nhartanda**

O vale de Nhartanda desenvolve-se num antigo leito do rio Zambeze, que se separou do seu curso principal formando um lago em forma de ferradura que com o tempo secou. Com base nas condições topográficas da área em que o vale se desenvolve, os limites da sua bacia drenante nos extremos, Este e Oeste, são o curso actual do rio Zambeze, marcado a azul na figura 5-33, o limite Norte é a linha de cumeeira do monte no qual foi edificada a cidade de Tete e o limite sul é constituído pela linha de cumeeira da Serra da Carroeira, ambos marcados a vermelho na figura abaixo.



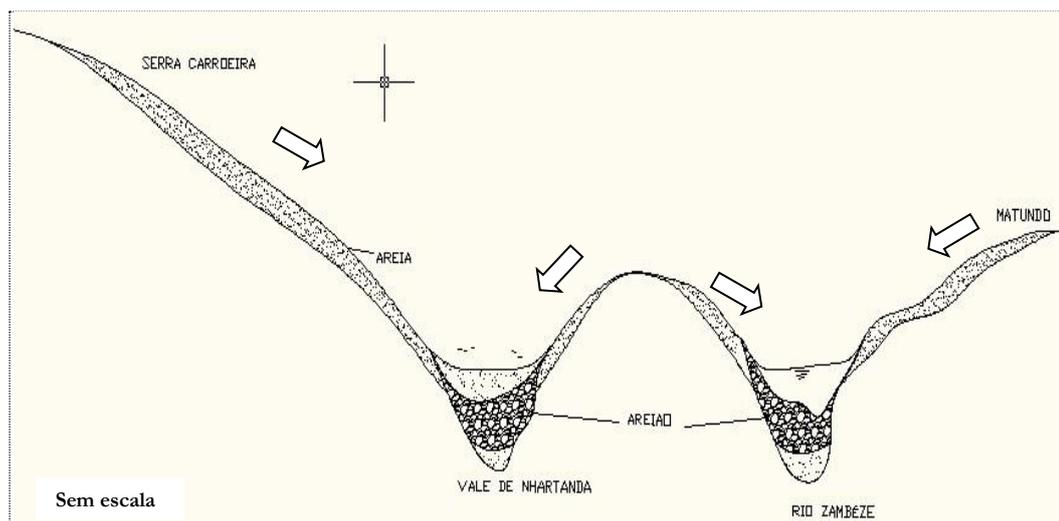
**Figura 5-33: Fluxo de água no Vale de Nhartanda**  
(base: google earth, Agosto 2010)

Segundo a carta hidrogeológica nacional, os limites laterais do aquífero não coincidem com os limites da área drenante para a bacia do vale de Nhartanda, partilhando o mesmo limite de comunicação com o rio. Os limites do aquífero, marcados a verde ponteados na figura 5-33, são compostos pelo contorno das linhas de sopé das montanhas que o ladeiam, Serra da Carroeira e o monte da cidade de Tete, e o seu contacto com o rio. Estes limites constituem condições de fronteira de funcionamento deste aquífero, sendo os limites com o curso actual do rio Zambeze classificado como condição de fronteira do tipo 2, onde o nível de água é conhecido embora variável ao longo do ano. Estes limites podem ser considerados especiais

pelo facto de constituírem um ponto de recarga do aquífero, por comunicação com o aquífero aluvionar na base do rio Zambeze. Os limites constituídos pelas linhas de sopé, da Serra Carroeira e do monte onde foi edificada a cidade central, constituem condições de fronteira do tipo 1, caracterizados por fluxo de água nulo, com excepção do tempo chuvoso.

Ainda com base na carta hidrogeológica nacional, a avaliação dos limites acima indicados, pode-se concluir que o aquífero possui duas fontes de recarga, a precipitação que cai sobre a área da bacia drenante em que esta está inserida, correspondente a recarga sobre a área de ocorrência do grés que entra nas margens do vale, e a recarga proveniente da comunicação com o aquífero do leito do rio Zambeze, que é a mais importante fonte de recarga para o aquífero. Em situações extremas de redução do nível hidrostático no aquífero ou dos níveis de água no rio, o aquífero do vale de Nhartanda poderá alimentar o rio Zambeze, como se de uma nascente se tratasse, indicado no mapa pelas linhas de fluxo de água subterrânea em azul.

Do corte geológico A-A, na figura 5-33, conjugado com o perfil apresentado na figura 5-32, pode-se notar que existem duas linhas de água superficial bem definidas, embora não possuam escoamento permanente ao longo do ano, chegando a secar. Não se vislumbram evidências de condições de controle especiais, como o caso de dobras diques etc.



**Figura 5-34: Perfil do corte transversal A-A'**  
(Fonte: DNA/SdG, relatório nr 18/89)

O sentido do fluxo do escoamento subterrâneo na área da bacia processa-se como é indicado nas figuras 5-33 e na figura 5-34. O fluxo natural do aquífero é de NO para SE. A jusante da captação existe uma situação onde os dois fluxos são opostos, o que resulta numa linha divisória do fluxo. Merece ser destacado que, de acordo com os estudos da DNA (1989b), a água a jusante da captação não entra nos furos a partir desta divisória.

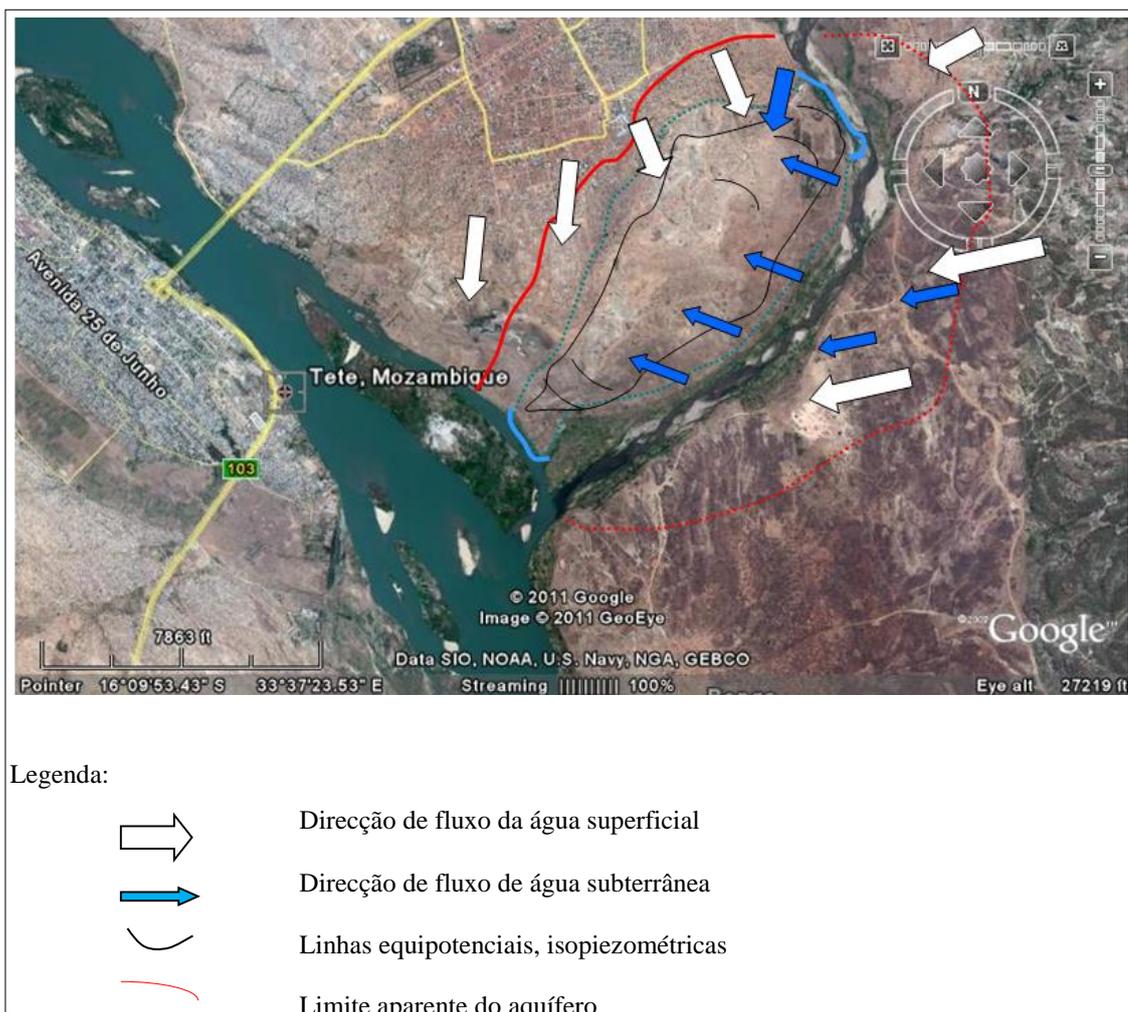
A partir do mapa hidrogeológico foi possível identificar a linha divisória das águas subterrâneas que drenam para o rio Zambeze, localizada à cerca de 20km da cidade de Tete, num alinhamento, que para efeito do presente estudo pode-se considerar paralelo ao rio Zambeze. Apesar de não estarem disponíveis dados litológicos e de níveis de água para toda essa área, pela localização desta linha divisória e pelo facto de antes da Serra de Carreira existirem outras linhas de água pertencentes a afluentes do rio Zambeze é pouco provável, que haja comunicação entre os aquíferos, pelo que se recomenda considerar para a avaliação do potencial de água subterrânea apenas a área que cabe dentro dos limites anteriormente definidos.

### **Área de Matundo**

A semelhança do vale de Nhartanda, a área de captação de Matundo, as condições topográficas locais, os limites da sua bacia drenante nos extremos é o curso actual

do rio Révubuè, onde os limites laterais do aquífero não coincidem com os limites da área drenante para a bacia do vale de Matundo, a qual partilha o mesmo limite de comunicação com o rio Révubuè. Os demonstráveis limites do aquífero, marcados a verde ponteados na figura 5-35, são compostos pelo contorno das linhas de sopé pequenas elevações que o ladeiam e o seu contacto com o rio Révubuè (Ferro & Bouman, 1987). A área de captação de Matundo, pelas condições geomorfológicas e hidroclimatológicas pode-se igualmente concluir que possui duas fontes de recarga, nomeadamente, a precipitação (recarga directa) e a recarga proveniente da comunicação entre o aquífero e rio Révubuè através do escoamento horizontal, sendo esta última a mais importante fonte de recarga para o aquífero.

O sentido do fluxo do escoamento subterrâneo na área da bacia processa-se como é indicado nas figuras 5-35, obtido tentativamente através do perfil geomorfológico da região. Tendo em conta as condições topográficas na área de captação de Matundo, conduz a interpretação de que o principal fluxo no aquífero é de direcção NE para SO. A jusante da área de captação localiza-se a confluência entre os rios Zambeze e Révubuè, na qual verifica-se quase uma perpendicularidade dos fluxos (DNA, 1987a).



**Figura 5-35: Fluxo de água na área de Matundo**  
(base: google earth, Agosto 2010)

Importa referir que houve tentativa de determinação de diferenciação do fluxo subterrâneo na área de estudo através de níveis de água, mas devido à insuficiência de dados, associado a péssima distribuição espacial dos furos limitou de grande modo a análise exaustiva, sujeitando-se assim a avaliação do fluxo por meios alternativos, como é o caso da disposição topográfica e geomorfológica da área.

### 5.5.3 Zonas de Protecção Legalmente Definidas

Dada a importância e sensibilidade desta matéria, vários artigos e documentos de carácter legislativo e regulamentares vigentes no sector de águas foram igualmente consultados, visando a harmonização das constatações técnicas com as obrigações legais a considerar nas zonas/áreas protegidas. Neste contexto, foi possível

constatar que a Lei nº 16/91, de 3 de Agosto – A Lei de Águas, procedeu ao enquadramento jurídico do regime de uso e aproveitamento de águas subterrâneas, quer brotem ou não, ficam sujeitos ao estabelecido para os benefícios públicos.

Segundo a Política de Águas (PA), os recursos hídricos serão geridos de forma integrada tendo como base a bacia hidrográfica como a unidade fundamental e indivisível. A gestão e o planeamento devem respeitar a ligação intrínseca entre água superficial e água subterrânea, os aspectos de quantidade e qualidade da água desde a nascente até à foz, a conservação ambiental e as necessidades de desenvolvimento. A avaliação da água subterrânea será efectuada com base no monitoramento da quantidade e qualidade nos principais aquíferos, com furos de observação, devendo ser dada prioridade aos aquíferos que servem os sistemas de abastecimento de água urbanos e os que forem identificados como sendo de elevado potencial.

A Lei de Águas, de forma clara e exhaustiva refere que “as potências locais” de ocorrência de águas, áreas de recarga dos aquíferos ou zonas definidas para a instalação de captações de água para abastecimento público, incluindo as respectivas áreas adjacentes ficarão sujeitos ao regime das zonas de protecção definido na Lei de Terras e seu Regulamento”, estando nesta zona interdita a:

- (i) Construção de habitações ou edifícios cuja utilização possa conduzir à degradação da qualidade da água;
- (ii) Instalação de estabelecimentos industriais ou comerciais, matadouros ou cercas de gado, bem como entalações de sepulturas;
- (iii) Escavações ou instalar entulharias ou escombreliras resultantes da actividade mineira;
- (iv) Introdução de animais depositar ou enterrar lixo ou imundícies de qualquer tipo;
- (v) Instalação de canalizações ou reservatórios de hidrocarbonetos ou de águas usadas de qualquer tipo;

- (vi) Estabelecer terrenos de culturas e espalhar estrumes, fertilizantes ou qualquer outro produto destinado à fertilização dos solos ou à protecção de culturas.

A Lei de Águas determina ainda que os requisitos técnicos a que se deve obedecer durante a pesquisa e exploração de águas subterrâneas serão fixados por um Regulamento ou Normas específicas. Actualmente, não existem Normas específicas de âmbito nacional que regulem o uso e aproveitamento das águas subterrâneas. Contudo, segundo a DNA, está em curso a elaboração de um Regulamento, o qual estabelecerá os requisitos e os critérios a adoptar nas actividades relacionadas, com vista a criar bases para um aproveitamento racional, ordenado e controlado.

Por outro lado, o Regulamento em elaboração, visa assegurar a recolha de dados hidrogeológicos, e fundamentalmente garantir a correcta forma de perfuração e prospecção, tendo em conta as questões ambientais, sanitárias e de segurança para as pessoas, criando igualmente uma base legal que possibilite disciplinar a prospecção, captação e aproveitamento de águas subterrâneas.

Os aquíferos em exploração para o abastecimento de água a cidade de Tete, localizados no vale de Nhartanda e Matundo tem características confinantes, pressupondo-se que a recarga significativa dos aquíferos não é directa, isto é, não é feita através do ponto de impacto ao longo dos vales. Portanto, para além da recarga dos aquíferos através de fluxos horizontais, pode-se admitir a possibilidade desta estar a ocorrer fora do perímetro da área de estudo. Assim, das constatações anteriormente descritos, conduzem mais uma vez a concluir sobre a necessidade de protecção das áreas adjacentes, incluindo os rios, e considerar rigorosamente a toda a área de captação de Matundo e de Nhartanda como sendo zona de protecção e interdita a qualquer actividade que ponha em risco o potencial hídrico subterrâneo.

Localmente, pode-se considerar os limites aparentes dos aquíferos de Nhartanda e Matundo delimitadas com as linhas com a cor vermelha nas figuras 5-33 e 5-35,

respectivamente, como sendo área de especial atenção para o monitoramento de águas subterrâneas.

Nestes termos, recomenda-se o vale de Nhartanda e área de captação de Matundo a serem consideradas zonas rigidamente interditas a realização de qualquer actividade antes de obter um parecer favorável para o efeito, pelas autoridades competentes.

#### **5.5.4 Avaliação do Caudal de Exploração e Demanda do Aquífero**

Com vista a perceber o potencial de águas subterrâneas local, tendo em conta a demanda de água na cidade de Tete (área de estudo), fez-se o esforço de avaliar o consumo de água pelo menos em dois anos, 2009 e 2010.

Assim, foi possível estimar a exploração adequada para o aquífero, conhecidas as características dos aquíferos, considerando uma cota da superfície de 126 m (dados obtidos a partir *google earth* em 2010), o nível médio da água no rio a cota de 122 m correspondente a ponte do rio Zambeze, a espessura do aquífero de 40 m e permeabilidade de 193 m/d, e considerando um escoamento nulo nas laterais do aquífero. Usou-se uma folha de cálculo em *Excel*, com a localização do aquífero e as condições de fronteira e recurso ao método das diferenças finitas para a sua modelação. Para este efeito decidiu-se negligenciar a contribuição da precipitação local, não só pelo seu tamanho pequeno, mas também pelo facto de o aquífero estar protegido pela camada superficial argilosa, com um grau de infiltração baixa.

Igualmente, considerando escoamento unidimensional num aquífero semi-confinado com permeabilidade de 187m/dia, altura  $h_1$  igual a 122 metros e altura  $h_2$  igual a 119.5 metros, comprimento total do aquífero de 7.000 metros, largura e espessura de 600 e 40 metros respectivamente, e considerando cota do terreno 126 metros e rebaixamento médio de 6.5 metros, como indicado nos dados de furos localizados no vale de Nhartanda. Pela equação de Darcy e analisando metade do aquífero, temos:

$$Vd = -K \times \frac{\Delta h}{\Delta X} = K \times i \quad [5.1]$$

$$i = \frac{h_2 - h_1}{L} = \frac{\Delta h}{\Delta X} \quad [5.2]$$

Onde:

I	=	gradiente hidráulico	[-]
K	=	permeabilidade	[m/dia]
V <sub>d</sub>	=	velocidade de Darcy	[m/dia]
L	=	ΔX = cumprimento do aquífero	[m]

Neste caso, Vd é igual a:

$$Vd = -187 \times \frac{(119.5 - 122)}{600} = K \times i$$

$$V = \frac{0.134m}{d}$$

$$q_0 = v \times H = \frac{5.34m^2}{d}$$

$$Q_{parcial} = B \times q_0 = \frac{3.204m^3}{d}$$

$$Q_{total} = 2 \times Q_{parcial} = \frac{6.408m^3}{d}$$

Considerando um rebaixamento máximo até 2 metros como reportado nos dados de variação dos níveis, a título de exemplo, o furo nr 1 constante no Anexo B, tabela A-8), localizado no vale de Nhartanda teremos:

$$h_2 = 115 \text{ m};$$

$$V = 0.0374 \text{ m/d}$$

$$q_0 = v \times H = 14.96m^2/d$$

$$Q_{parcial} = B \times q_0 = 8.976m^3/d$$

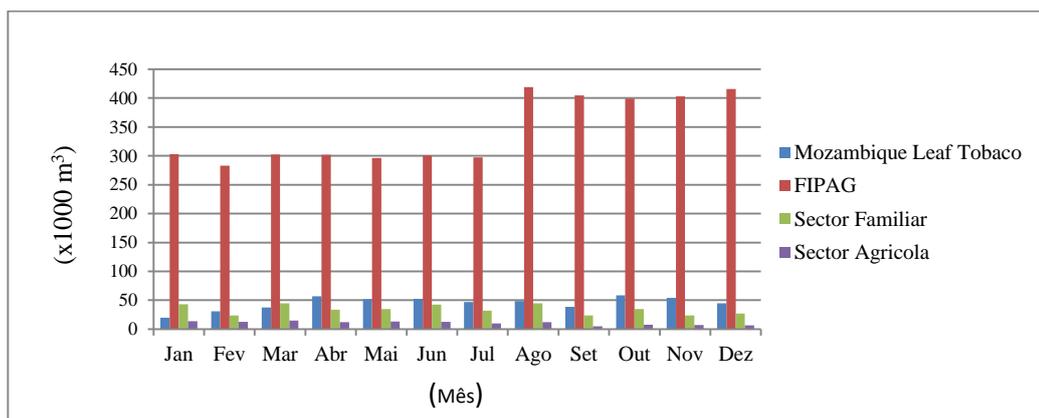
$$Q_{\text{total}} = 2 \times Q_{\text{parcial}} = 17.952\text{m}^3/\text{d}$$

Considerando que o campo de furos do vale de Nhartanda abastece actualmente um total de cerca de 256,811 habitantes e assumindo que a captação média diária é de 125 litros por dia. O volume necessário para satisfazer as necessidades hídricas da população, seria:

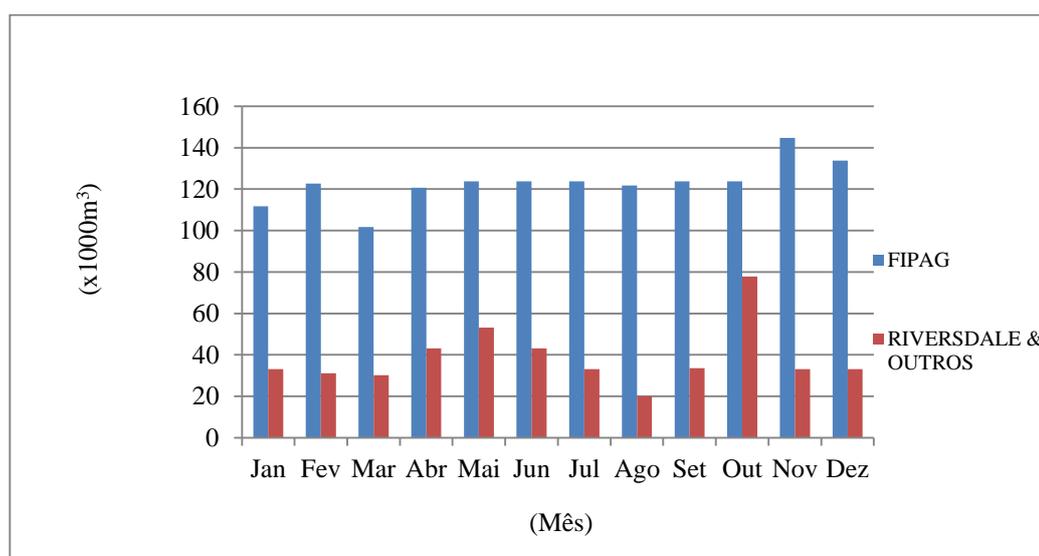
$$V = 256.811 \text{ habitantes} \times 125 \text{ litros/dia} = 32.101.375 \text{ litros/dia}$$

O caudal médio actual explorado é de 140 m<sup>3</sup>/h num furo, totalizando 23.520.000 litros por dia nos 7 furos actualmente em funcionamento. Dos cálculos acima efectuados, pode-se concluir que o caudal actualmente explorado não satisfaz a demanda actual da cidade de Tete. Importa referir que, neste cálculo embora em escala reduzida, não inclui aproveitamento de água de Nhartanda e Matundo para fins agrícolas e indústrias. A título de exemplo a *Mozambique Leaf Tobacco* (MLT) chega a atingir um pouco mais de 50 mil m<sup>3</sup>/mês, equivalente a 600 m<sup>3</sup>/ano.

As figuras 5-36 e 5-37 apresentam a distribuição do consumo de água a nível da captação de água de Nhartanda e Matundo pelas principais empresas utilizadoras de água da cidade de Tete. Importa ressaltar que os valores de consumo apresentados nestas figuras são apenas ilustrativos e não representam, rigorosamente, a realidade de toda e qualquer aproveitamento quer seja colectivo ou singular.

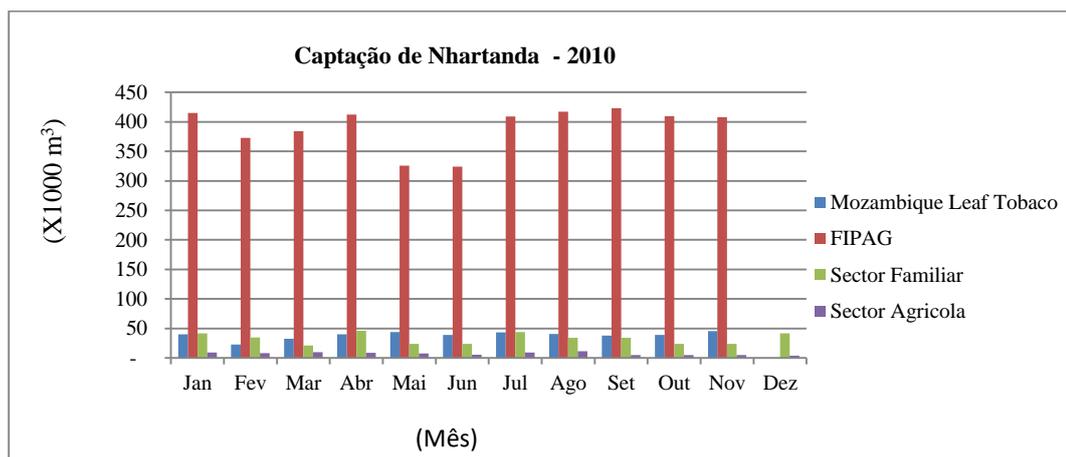


**Figura 5-36: Consumo médio de água no aquífero de Nhartanda (2009)**

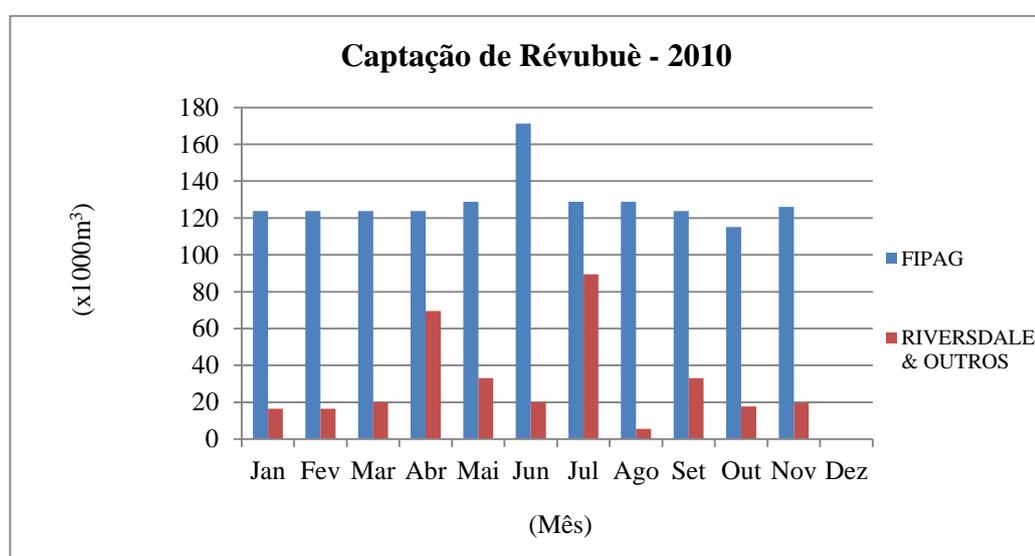


**Figura 5-37: Consumo médio de água no aquífero de Matundo (2009)**

A partir das figuras (5-36, 5-37, 5-38 e 5-39), pode-se perceber que a necessidade de água para os diversos usos, aumentaram em 2010. Igualmente, percebe-se que o principal uso de água na área de estudo é o consumo doméstico, qual é feito a partir da rede de distribuição gerida pela Empresa FIPAG. A tabela 5-9, apresenta a projecção da população da cidade residente na zona centro de Tete para os anos 2015 e 2020 e a respectiva demanda de água, tendo em conta os dados do Censo (2007), e rápido crescimento populacional na área devido ao surgimento de empresas de exploração mineira, com particular destaque o carvão mineral.



**Figura 5-38: Consumo médio de água no aquífero de Nhartanda (2010)**



**Figura 5-39: Consumo médio de água no aquífero de Matundo (2010)**

Desta tabela (5-9), pode-se notar que enquanto não se encontrar fontes alternativas para o aumento da capacidade de abastecimento de água à cidade de Tete e bairros arredores, a actual capacidade de fornecimento estará aquém de satisfazer as necessidades de abastecimento de água aos munícipes no período acima em análise.

**Tabela 5-9: Projecção da população e demanda de água**

Projecção	Ano	
	2015	2020
Projecção da população (habitantes)	321,568	402,653
Demanda (litros por dia)	40,196,000	50,331,625

.....//.....

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 Introdução

A cidade de Tete é uma das regiões do País com alguns estudos hidrogeológicos realizados, mas os mesmos não estão organizados de forma sistemática o que dificulta o seu acesso.

O Banco de Dados (BdD) de águas subterrâneas existentes na DNA não é alimentado de informação desde o ano 2000. O BdD apenas serve para consulta de informações introduzidas nos primeiros estágios da sua existência. Importa referir que este BdD foi concebido em plataforma de programação *MS-Access*, um Sistema de Gestão de Banco de Dados Relacionais (*SGBDR*), que faz parte do *MS-Office*, e tinha como finalidade armazenar informação hidrogeológica de fontes de abastecimento de água. Os dados deveriam conter informação sobre a perfuração e os inventários sistemáticos a que as fontes são submetidas com vista a facilitar na monitoria dos parâmetros variáveis em função do tempo.

Assim, durante a realização do presente estudo foram encontradas várias limitações que não influenciaram muito os resultados esperados e alcançados. A ausência e o delicado acesso à informação existente foi a principal dificuldade transposta durante o estudo.

É lógico e coerente avaliar a vulnerabilidade para cada contaminante ou classe de contaminante individualmente ou cada grupo de actividade separadamente. Contudo, importa referir que não há informação e/ou dados suficientes e adequados para alcançar esse nível. Assim, a realização deste trabalho foi possível graças à utilização de informação integrada (mapas, dados e relatórios), tomando as devidas cautelas das limitações dos métodos. Dos resultados obtidos no âmbito deste estudo, mesmo reconhecendo a necessidade de uma avaliação mais detalhada, especialmente sobre a qualidade de água subterrânea, pode-se concluir o seguinte:

## 6.2 Conclusões

- (i) A cidade de Tete localiza-se numa área geologicamente caracterizada por grés grosseiro a médio, por vezes fino, compacto, xistóides margas e xistos carbonáticos, incluindo bancada de carvão e intrusões dioríticas do Karroo, formando-se sobre rocha consolidada;
- (ii) Os vales de Nhartanda e Matundo/Matema são caracterizadas pela ocorrência de aquíferos de depósitos arenosos de origem aluvionar bastante produtivos, com permeabilidades na ordem de 150 a 270 m/d e caudais na ordem de 10 a 90 m<sup>3</sup>/h e de 10 a 50 m<sup>3</sup>/h, respectivamente;
- (iii) O índice de precipitação média anual na região é de 550 mm/ano e, tomando em consideração o carácter argiloso do material de cobertura, não existem condições favoráveis para a recarga do aquífero a partir da precipitação, sendo, os rios Zambeze e Révubuè as principais fontes de recarga dos mesmos através de fluxos horizontais;
- (iv) Os rios existentes no distrito de Tete são de regime permanente, correm mesmo perto da cidade. Contudo, o alto grau de contaminação bacteriológica, faz com que os mesmos não sejam viáveis para a utilização como fontes de abastecimento de água à população;
- (v) Os limites laterais do aquífero não coincidem com os limites da área drenante para a bacia do vale de Nhartanda. Estes limites podem ser considerados especiais decorrentes do facto de constituírem um ponto de recarga do aquífero, por comunicação com o aquífero aluvionar na base do rio Zambeze;
- (vi) A principal fonte de água é subterrânea captada através dos campos de furos localizados no vale de Nhartanda e Matundo. Os furos aí existentes apresentam normalmente água com menor grau de salinidade;

- (vii) Pode-se concluir ainda que a situação hidrogeológica, particularmente no aquífero do grés do Karroo, não é favorável á captação de água numa grande escala, devido a vários factores como p. e. ocorrência de água com alto índice de mineralização;
- (viii) Da aplicação do método GOD para a avaliação de vulnerabilidade ao sistema aquífero aluvionar conclui-se que o vale de Nhartanda apresenta menor índice de vulnerabilidade (IV) à contaminação do aquífero por um fluxo vertical a partir da superfície da terra, contudo verificou-se a ocorrência de cerca de 20% de IV médio a baixo particularmente na zona a montante do campo de furos, por sinal a área de recarga do aquífero. A área de captação de Matundo apresenta cerca de 58% da área com vulnerabilidade a contaminação de nível médio;
- (ix) Embora seja reportado como tendo problemas de degradação dos filtros nos furos e, conseqüentemente, provocar problemas de entrada de material fino no furo, pode-se concluir que estes apresentam uma produtividade alta e estimada em cerca de 500 m<sup>3</sup>/h para o campo de furos de Nhartanda e de 300 m<sup>3</sup>/h para Matundo;
- (x) No que respeita à qualidade de água, pode-se concluir que quer no vale de Nhartanda, como na área de Matundo, a qualidade natural de água subterrânea é boa, embora alguns furos apresentem teor de mineralização alta que chega a atingir 4.000µS/cm em aquíferos cobertos por camadas impermeáveis, de argilas e argilito, cuja profundidade dos furos localiza-se a cerca de 70 metros. Em aquíferos aluvionares a condutividade eléctrica (CE) varia entre 400 e 600µS/cm;
- (xi) São apontados como principais ameaças e focos de contaminação do aquífero por um fluxo vertical a partir da superfície da terra os seguintes aspectos: (i) à escavação de argilas para o fabrico de blocos, (ii)

proliferação de latrinas e lixeiras, bem como, (iii) prática da actividade agrícola com uso de produtos agro-químicos ao longo da zona de captação;

- (xii) Assumindo que a captação média diária no aquífero do vale de Nhartanda é de 125 l/d para um total de cerca de 256.811 hab, pode-se concluir que este volume explorado não irá satisfazer as necessidades hídricas da população nos próximos 10 anos, caso não se estudem outras alternativas para o aumento da capacidade de abastecimento de água a cidade;
- (xiii) Os resultados práticos e constatações no terreno demonstram de alguma maneira a fraca coordenação das autoridades locais na conservação das áreas consideradas de protecção, como é o caso do Vale Nhartanda. Neste contexto, pode-se concluir que o sistema hidrogeológico do Vale de Nhartanda e de Matundo estão ameaçados devido às actividades desenvolvidas que não são ambientalmente aceitáveis, as quais poderão tornar a água subterrânea imprópria para o consumo humano;
- (xiv) O método GOD demonstrou vantagens na sua aplicação para a avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos de Nhartanda e Matundo, perante a insuficiência de dados na área de estudo, bem como de limitados recursos financeiros então existentes para a realização da presente pesquisa;
- (xv) Ao longo do Vale de Nhartanda e Matundo, as características do material do aquífero, permitem concluir que a melhor profundidade para exploração do aquífero está entre os 15 e 55 m e 10 e 45, respectivamente;
- (xvi) Pode-se concluir que enquanto não se encontrar fontes alternativas para o aumento da capacidade de abastecimento de água à cidade de Tete e bairros arredores, a actual capacidade de fornecimento estará aquém de satisfazer as necessidades de abastecimento de água aos munícipes no futuro próximo.

### 6.3 Recomendações

A cidade de Tete encontra-se localizada numa região com ocorrência de recursos hídricos superficiais com altos índices de poluição. Por isso, a água subterrânea apresenta-se como uma das principais fontes para as necessidades básicas. Para o presente estudo, são em seguida apresentadas as principais recomendações:

- (i) Os resultados do estudo indicam vulnerabilidades baixas por contaminação através da superfície da terra. Sendo que o índice de vulnerabilidade aumenta com a diminuição da camada argilosa de cobertura, a recomendação geral é que seja rigorosamente controlada a extracção de argilas ao longo das áreas de captação e de recarga dos aquíferos em exploração.
- (ii) Embora a poluição das águas superficiais provenha muitas vezes de actividades a montante, mas uma vez conhecida que os rios Zambeze e Révubuè são a principal fonte de recarga dos aquíferos de Nhartanda e Matundo, tem-se igualmente como recomendação geral a consciencialização pública sobre a necessidade de preservar ou melhorar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde pública. E, dadas as condições da água superficial do rio Zambeze e Révubuè, tratar ou ferver água retirada nestes rios antes do seu consumo deve ser uma prática obrigatória.
- (iii) No caso particular da área de captação de Matundo, onde o índice de vulnerabilidade é ligeiramente significativo (em algumas áreas com valores de IV baixo a médio), recomenda-se optar pela restrição de construção de residências domiciliárias próximo da zona de captação. Caso contrário, para o saneamento, as latrinas precárias a serem construídas não deverão ser muito profundas com vista a evitar a contaminação do aquífero que se pressupõe estar a pequenas profundidades. Contudo, um estudo hidrogeológico detalhado da área

deverá ser realizado para indicação da extensão e profundidade efectiva do aquífero.

- (iv) As áreas de protecção das fontes de abastecimento de água subterrânea devem ser devidamente vedadas a fim de proporcionar especial vigilância contra a contaminação das fontes de água destinadas ao abastecimento público. A mesma recomendação é válida no caso de fontes desenvolvidas para outros usos potencialmente susceptíveis.
- (v) Recomenda-se às estruturas locais (o FIPAG) para colocação de tampas ou fechos para os orifícios existentes nas fontes com vista a reduzir o risco de contaminação das fontes a partir de dejectos provenientes das inundações verificadas na época chuvosa, assim como evitar a introdução de qualquer contaminante por intenção humana. Dever-se-á igualmente, promover esta prática nas comunidades que tenham fontes próprias.
- (vi) Na área de estudo não há programas consistentes de monitoramento da qualidade e quantidade de água subterrânea. A medição dos níveis é feita apenas de forma esporádica nos furos de produção. Nestes termos, recomenda-se a instalação e em pontos estratégicos a curto prazo piezómetros para o monitoramento da qualidade de água. O monitoramento deverá ser realizado em todas épocas do ano, sendo com frequência na época chuvosa, de modo a apurar o estado químico, físico e microbiológico da água no local.
- (vii) Recomenda-se a transferência do mercado Kwachena Nhartanda, pois, deste local proliferam diversos focos de contaminação da água subterrânea. Esta proliferação é derivada da inexistência de condições de sanidade básicas. Dada a ocorrência ao longo das margens do vale de Nhartanda de condições de higiene e sanitárias precárias recomenda-se o uso de latrinas ecológicas e fossas sépticas, bem como a construção de

lixeiros de dimensões consideráveis nos locais onde as condições permitam.

- (viii) A atribuição de índices menores para classificação da vulnerabilidade na área de estudo não deverá se configurar em uma isenção de responsabilidades ambientais sobre esta área, pois os processos de contaminação são resultado de uma interacção de diversos factores, como as características físicas, químicas e microbiológicas, fontes de origem da carga, entre outros factores para definição do seu potencial de contaminação.
- (ix) A vulnerabilidade de aquíferos à poluição deve, portanto, ser considerada na implementação de projectos e ou actividades referentes ao uso e aproveitamento de águas, bem como ser observado o perímetro de protecção das fontes de águas subterrâneas em exploração.
- (x) Sendo o nitrato o poluente de ocorrência mais frequente nas águas subterrâneas, recomenda-se um estudo detalhado sobre a sua contaminação nas águas da área de estudo, uma vez que nas áreas periféricas do vale de Nhartanda, com incidência à jusante do vale onde a espessura da camada impermeável é espessa, onde há grande densidade populacional com fraco saneamento básico, ocorre uma concentração de fossas e latrinas precárias.
- (xi) Recomenda-se a realização de campanhas de sensibilização junto as comunidades por forma a evitarem a retirada das argilas no vale de Nhartanda bem como a utilização de fertilizantes na agricultura e da necessidade de conservação dos espaços adjacentes a estas áreas.
- (xii) Recomenda-se a adopção de políticas integradas de zoneamento para ocupação ordenada dos espaços próximo das áreas protegidas. A preocupação com a contaminação faz-se explicada, considerando a

deficiência na infra-estrutura de colecta de esgoto e o depósito de resíduos sólidos, evidentes na área de estudo.

- (xiii) Na área de estudo, o fecalismo a céu aberto é um facto. O substrato geológico na região indica ocorrência nas primeiras camadas de argilas e, por conseguinte, com baixa permeabilidade. Contudo, esta camada está sendo intensivamente removida. Assim, recomenda-se o cancelamento de extracção da argila de forma descontrolada. A ter que fazer, dever-se-á obter autorização para o efeito através de uma entidade competente.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Drastic, A. L. (1997).** *A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting.* United States: EPA, 600/2-87035; 622;
- Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J. H. & Petty, R. J. (1987).** - *Drastic: a standardized system for evaluation groundwater pollution using hydrogeologic settings.* United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Ada, Oklahoma, EPA 600/2-85/018.
- Amaral, S. (2004).** *Avaliação do impacto do uso de pesticidas na qualidade de água superficial da Reserva Natural do Paul de Boquilobo e de áreas agrícolas envolventes,* Relatório Final Eng. Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, 49pp;
- Andersen, L. J. e Gosk. J (1987).** “*Applicability of vulnerability maps.*” TNO Committee for Hydrological Research: Proceedings and Information 38: 321–332. Delft, Países Baixos;
- Cap-Net, (2010).** *Information Management in Integrated Water Resources Management for River Basin Organisation Training Manual.* <http://www.cap-net.org/node/1494>;
- Carter, A. D., Palmer, R. C., e Monkhouse, R. A., (1987).** “*Mapping the vulnerability of groundwater to pollution from agricultural practice particularly with respect to nitrate.*” TNO Committee for Hydrological Research: Proceedings and Information 38: 382–390. Delft, Países Baixos;
- Departamento Nacional De Produção Mineral - DNPN, (1996).** *Programa nacional de estudos dos distritos mineiros: projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe.* Recife, 101 p;
- Direcção Nacional de Águas - DNA, (1986a).** *Abastecimento de Água as Zonas Rurais de Tete;* Direcção Nacional de Águas, Moçambique;

- \_\_\_\_\_. (1986b). *Gestão de Qualidade das Águas em Moçambique*; Maputo;
- \_\_\_\_\_. - (1987a). *Carta Hidrogeológica de Moçambique & Notícia Explicativa*, escala 1:100 000; Direcção Nacional de Águas, 1-50, Maputo, Moçambique;
- \_\_\_\_\_. (1987b). *Hidrogeologia de Moçambique- Conhecimento do Estado Actual*, Secção de Geohidrologia (SdG); B. Ferro e D. Bouman, Maputo;
- \_\_\_\_\_. (1989a). *Carta de Potencial de Exploração de Água Subterrânea*. escala 1:1.000.000, Maputo, Moçambique;
- \_\_\_\_\_. (1989b). *Estudo Hidrogeológico no Vale de Nhartanda e na Área de Matundo (Tete)*. Relatório 18/89, Secção de Geohidrologia (SdG); D. Kern e J. Bahane, Maputo;
- \_\_\_\_\_. (1990a). *Critérios para Construção de Furos*; Secção de Geohidrologia (SdG); Relatório 21/89; E.H. Smidt; Maputo;
- \_\_\_\_\_. (1990b). *Gestão da Água Subterrânea na área de Grande Maputo*, Relatório nº 2/90, Secção de Geohidrologia/ Departamento de Recursos Hídricos (SdG - DRH)/ DNA, Maputo, Smidt, E. H.;
- \_\_\_\_\_. (1990c). *Tete Urban Water Supply, Aspects of Hydrogeology*, Moçambique, Maputo;
- \_\_\_\_\_. (1992a). *Estudo Hidrogeológico em Matundu, M'Paduè e Deguè*; Relatório nr 12/92, Secção de Geohidrologia, Maputo;
- \_\_\_\_\_. (1992b). *Seminário, abastecimento de água a Tete/Matundo e a Gestão do Vale de Nhartanda: Documentos e Comunicações*: Maputo;
- \_\_\_\_\_. (1993). *O sistema de Banco de Dados dos furos, Estado actual* -Secção de Geohidrologia (SdG). Relatório nr 63/93, Sdg 31/93, Maputo;
- \_\_\_\_\_. (1996a). *Águas Subterrâneas, (TOMO 1 e 2)*. Moçambique, Maputo: Smith E. H. & Sonnevillle J. L.;

\_\_\_\_\_. (1996b). *Reconhecimento Hidrogeológico em Manje, Furancungo e Nsadzu*; DNA, Departamento de Recursos Hídricos/ Secção de Geohidrologia, Relatório nº 36/96;

\_\_\_\_\_. (1997). *Situação actual do vale de Nhartanda e do Campo de Furos de Matundo*. Moçambique, Maputo;

\_\_\_\_\_. (2000). *Análise da exploração do campo de furos do sistema de abastecimento de água à Tete*. Moçambique, Maputo;

\_\_\_\_\_. (2007). *Política Nacional de Águas*; Moçambique;

**Direcção Nacional de Geologia – DNG. (1983).** *Mapa Geomorfológico de Moçambique*. escala 1:2.000.000, Maputo, Moçambique;

\_\_\_\_\_. (2000). *Carta de Jazigos e Ocorrência de Minerais*. escala 1:1.000.000, Maputo, Moçambique;

\_\_\_\_\_. (2007). *Carta Geológica de Moçambique*. (Notícia Explicativa da Carta), escala 1:250.000, folha 1633,

**Dolf, K., Bahane, J. (1989).** *Estudo Hidrogeológico no Vale de Nhartanda e na Área de Matundo- Tete*; Direcção Nacional de Águas, Departamento de Recursos Hídricos/ Secção de Geohidrologia, Relatório nº 18/89;

**Fetter, C. W., (1998).** *Applied Hydrogeology*, 2<sup>nd</sup> Edition, University of Wisconsin-Oshkosh;

\_\_\_\_\_. (1994). *Applied Hydrogeology*. 3<sup>ed</sup>. New Jersey: University of Wisconsin – Oshkosh, 691p;

\_\_\_\_\_. (1988). *Applied Hydrogeology*, 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: PrenticeHall, 1988.

**Foster S., Hirata, R., D. Gomes, M. D'Elía & Paris M. (2002).** *Groundwater Quality Protection A guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies*; The World Bank. ISBN 0-8213-4951-1. 103 p.

- Foster S. D.; Hirata Gomes R.; D., Elia D., Paris, M. (2002).** *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de água, autoridades municipales y agencias ambientales;* Groundwater Management Advisory Team (GW MATE), WHO-PAHO-CEPIS e UNESCO-ROSTLAC-PHI. Banco Mundial, Washinton, D.C. 2002.115p;
- Foster, S. 2006).** *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais;* São Paulo: SERVIMAR, 2006. 114 p;
- Foster, S. S. D. (1987).** *Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy.* In: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, 38. 1987, Noordwijk. Proceedings and Information of the International Conference held in the Netherlands. Noordwijk: TNO Committee on Hydrological Research, 1987. p. 69-86;
- \_\_\_\_\_. (1993). *In: Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas;* Um método baseado em dados existentes; Instituto Geológico;
- Foster, S. S. D. e Hirata, R. (1991).** *Determinacion del Riesgo de Contaminacion de Águas Subterráneas-* una metodologia basada en datos existentes. 2ª Edição. Peru: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organizacion Mundial de la Salud, 1991, 81p;
- Foster, S. S. D. e R. Hirata. (1988).** “*Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.*” WHOPAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru;
- Foster, S. S. D.; Hirata, R. C. A. (1987).** *Contaminacion de las aguas subterraneas.* Organizacao Mundial de la Salud. Organizacao Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. Lima, Peru;

- Foster, S. S. D.; Hirata, R. C. A.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M. (2002).** *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and agencies.* Washinton: The Word Bank;
- Foster, S. S. D.; Hirata, R. C. A.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M. (2006).** *Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, orgaos municipais e agências ambientais.* Groundwater Management Advisory GW-MATE World Bank;
- Foster, S. S. D.; Hirita, R. (1988).** *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.* Lima: Pan American center for sanitary engineering and environmental sciences. (CEPIS), 1988. 88 p;
- Foster, S. S. D.; Hirita, R. C. A.; Gomes, D.; D'ella, M.; Paris, M. (2001).** *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and agencies;* Washinton: The Word Bank;
- Foster, S.S. & Hirita, R.C.A. (1993).** *Determinação do risco de contaminação das águas subterrânea: um método baseado em dados existentes.* São Paulo, Instituto Geológico. (Boletim, 10);
- Foster, S.S.D. & Hirita, R.C.A. (1988).** *Groundwater polution risk evaluation: the methodology using available data.* Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 78 p;
- Governo de Moçambique. (2007a).** *Política de Águas,* Direcção Nacional de Águas, Imprensa Nacional, Maputo;
- \_\_\_\_\_. **(2007b).** *National Integrated Water Resources Management Strategy',* Direcção Nacional de Águas, Imprensa Nacional, Maputo
- \_\_\_\_\_. **(1991).** *Lei de Águas no 61/91,* Decreto de 3 de Agosto de 1991, Ia Serie No 31, Imprensa Nacional de Moçambique, Maputo;
- \_\_\_\_\_. **(2007c).** *Regulamento de Licenças e Concessões de Águas,* Direcção Nacional de Águas, Imprensa Nacional, Maputo;

- Heath, R. C. (1983).** *Hidrologia basica de águas subterraneas*, Denver: 1983, 86p. USGS Paper nr 20. Wrege M. e Potter P (Trad), Instituto de Pesquisas Hidraulicas UFRGS;
- \_\_\_\_\_. (1989); *Basic Ground-Water Hydrology*. North Carolina., United States Geological Survey Water-Supply Paper 2220. 84p;
- \_\_\_\_\_. (1989). *Basic Ground-Water Hydrology*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220;
- Hirita, (2000); R. Recursos Hídricos.** In: TEIXEIRA et al. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap. 20;
- Hirita, R.; Reboucas, A. (1999).** *La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetro de protección de pozos y vulnerabilidade de acuíferos.* Boletín Geológico y Minero. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. v.110. 1999, 79-92p;
- Laboratório Nacional de Higiene de Alimentos e Águas- LNHA (1997).** *Métodos de Análise de Água*; Ministerio de Saúde;
- Lemore, B., Amaral, I., Jorge, J. (1995).** *Estudo Hidrogeológico em Magoé*; Direção Nacional de Águas, Departamento de Recursos Hídricos/ Secção de Geohidrologia, Relatório nº 48/95;
- Leonidas, L.V. D. (2009).** *Subsídios para Gestão das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/Rs.* Dissertação de Mestrado não publicada, Santa Maria, RS, Brasil;
- Loague, K. (1994).** “Regional scale groundwater vulnerability estimates: impact of reducing data uncertainties for assessments in Hawaii.” *Ground Water* 32: 605–616;
- Margat, J. (1968).** *Groundwater vulnerability to tamination.* BRGM, 68 sgl 198, HYD, Orleans, France;

- NRC- National Research Council, (1993).** *Groundwater vulnerability assessment: contamination potential under conditions of uncertainty.* Washington, D.C.: National Academy Press;
- Ray I. A, Odell, P. W. (1993).** DIVERSITY: *a new method for evaluating sensitivity of groundwater to contamination.* Environ Geol 22:344–352;
- Ribeiro L. & Paralta E. (2002).** *Stochastic Modelling of Space-Time Variability of Nitrate Pollution Using Indicator Geostatistics and Transition Probability.* Acta Universitatis Carolinae – Geologica 2002 46, (2/3): 163-166.
- Ribeiro L., Pina P. & Muge F. (1997).** *Contribution of Indicator Geostatistics and Mathematical Morphology to the Characterization of Aquifer Heterogeneities in the Vicinities of Waste Disposal Sites.* In: Marinós P.G., Koukis G.C., Tsiambaos G.C. & Stournaras G.C. (Eds). Engineering Geology and the Environment. A.A, Balkema, Rotterdam, vol.2, pp. 2127-2132;
- Ribeiro, L. (1998).** *Application of Non-Parametric Geostatistical Methods in Saline Groundwater Pollution Study due to Evaporite Domes Leaching.* In: Herbert M. & Kovar K. (Eds.). Proc. of the GQ98 International Conference on Groundwater Quality: Remediation and Protection. Tubingen, Germany, TGA, C36, pp. 141-143;
- Ribeiro, L. (2005).** *Um Novo Índice de Vulnerabilidade Específico de Aquíferos à Contaminação: Formulação e Aplicações.* Actas do 7º SILUSBAAPRH, Évora, 15pp;
- Ribeiro L., SerraE., Paralta E. & Nascimento, J. (2003).** *Nitrate Pollution in Hardrock Formations: Vulnerability and Risk Evaluation by Geomathematical Methods in Serpa-Brinches Aquifer (South Portugal).* In: Krázný, J.; Hrkal, Z.& Bruthans, J. (Eds.) Proc of IAH International Conference on ‘Groundwater in Fractured Rocks’. Prague, Czech Republic, pp. 377-378;

- Sokol, G.; Leiburgit, C.; Schulz, K. P; Weinzierl, W. (1993).** “Mapping procedures for assessing groundwater vulnerability to nitrates and pesticides in Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources Management.” *International Association of Hydrological Sciences* 211: 80–92;
- Stempvoort V.; Ewert, D.; Wassenaar, L. (1993).** *Aquifer Vulnerability Index: A GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping.*
- Vrba, J.; Zoporozec, A. (1994).** *Guidebook on mapping groundwater vulnerability.* IAH International Contribution for Hydrogeology, vol. 16. Hannover7 Heise; p. 131;
- Waller, R. M. (2006).** *Ground Water and the Rural Homeowner.* U.S. Geological Survey General Interest Publication;
- WaterNet (2010).** *Integrate Water Resource Management.* In: XI Waternet Symposium, Victoria Falls, Zimbabwe, CD-ROM;
- We Consult, (2009).** *Groundwater Assessment Study for the Extension of the Wellfield for the Town Water Supply of Tete;* Report nr 2009-07, Mozambique, Maputo;
- World Bank (2006).** *Briefing Note Series, The World Bank- Groundwater Management Advisory Team, GW•MATE;*
- World Health Organization- WHO. (1993).** *Guidelines for drinking-water quality.* Draft Manuscript, v. 1-2, p.1-8;

## 8. ANEXOS

## ANEXO A: LISTA DE FIGURAS

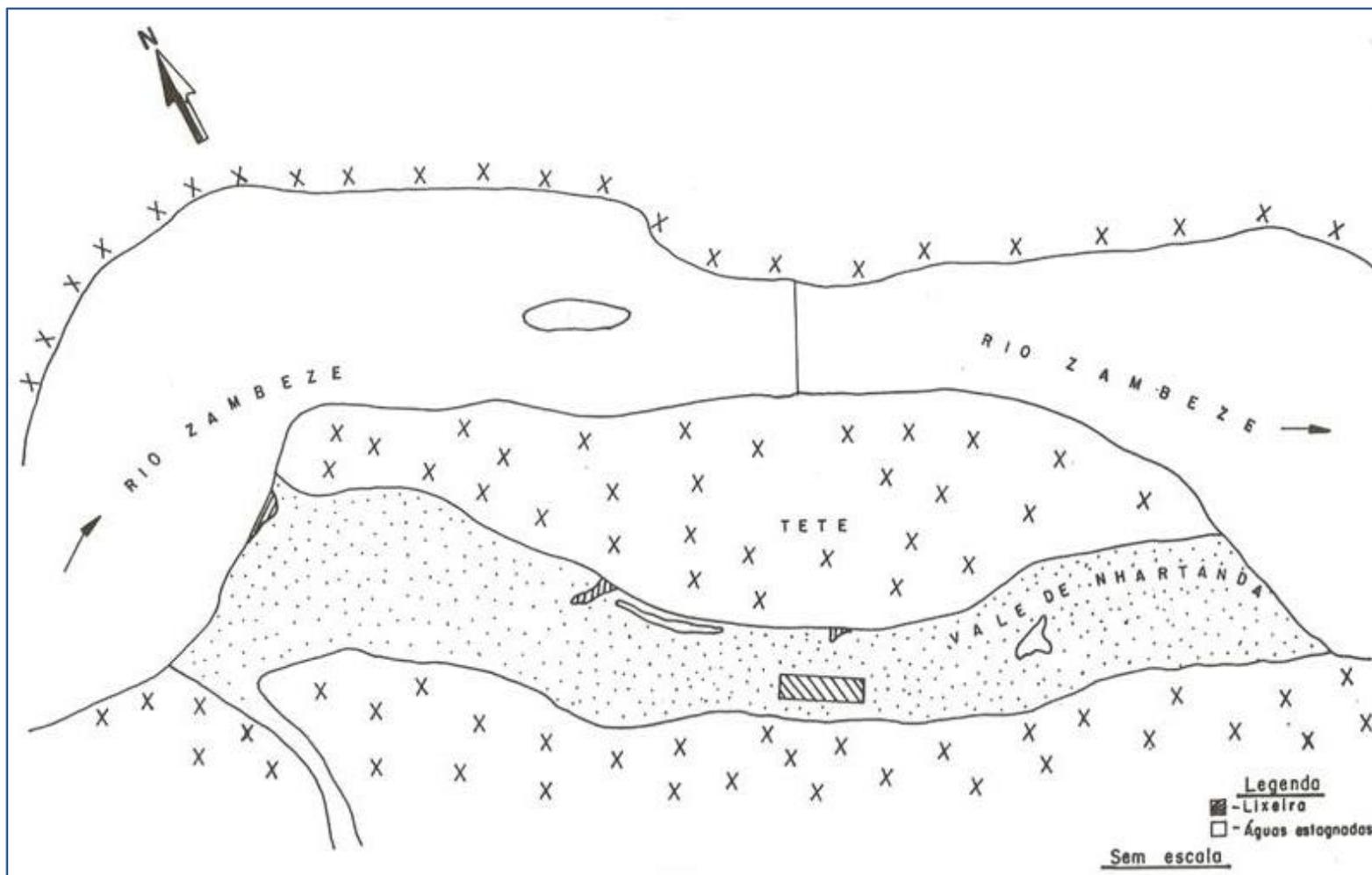
**Figura A-1:** Localização de lixeiras e águas estagnadas - vale de Nhartanda.

**Figura A-2:** Localização das áreas cultivadas - vale de Nhartanda.

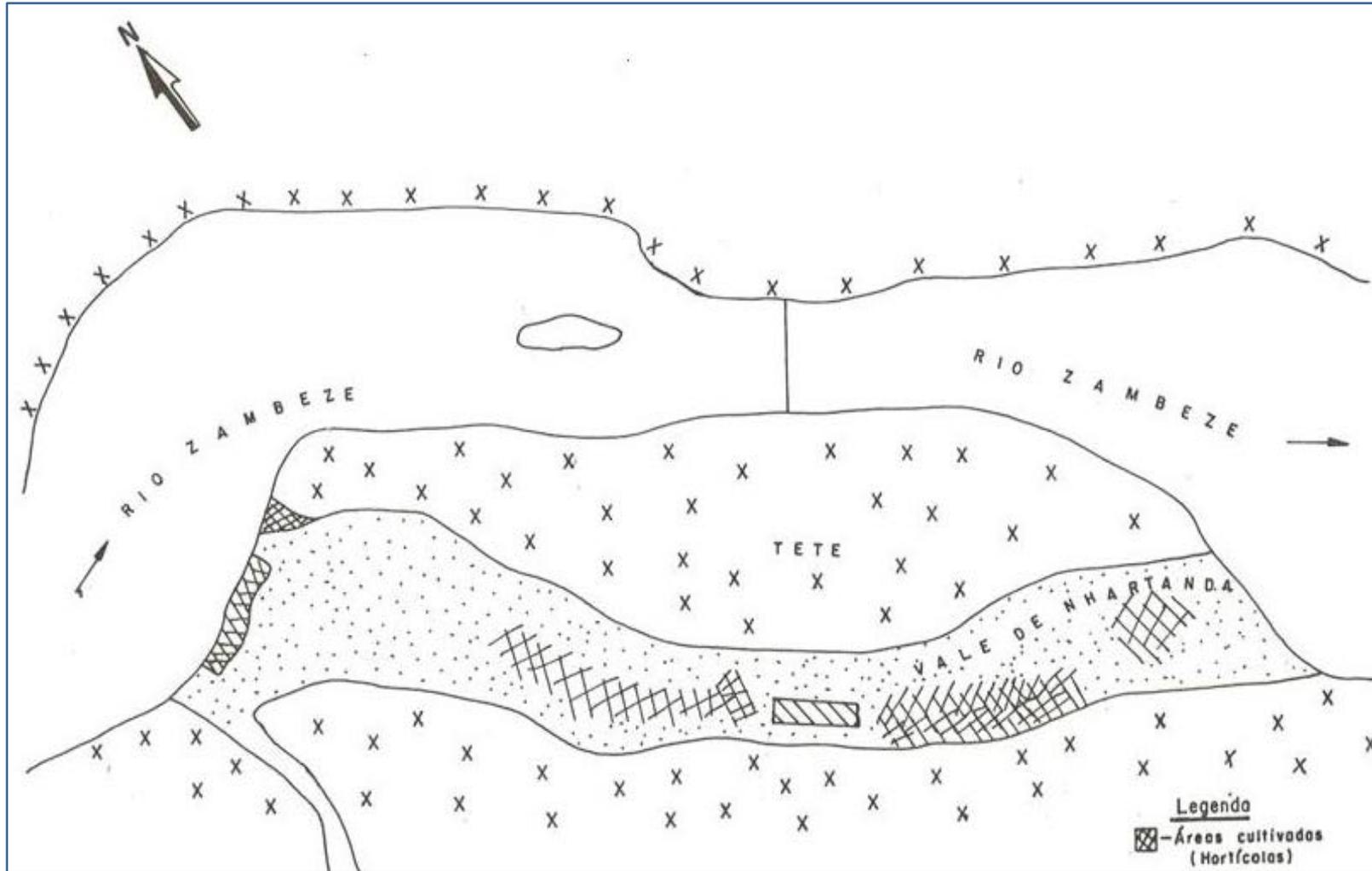
**Figura A-3:** Localização das áreas de extracção de argilas - vale de Nhartanda

**Figura A-4:** Perfil geológico típico do vale de Nhartanda.

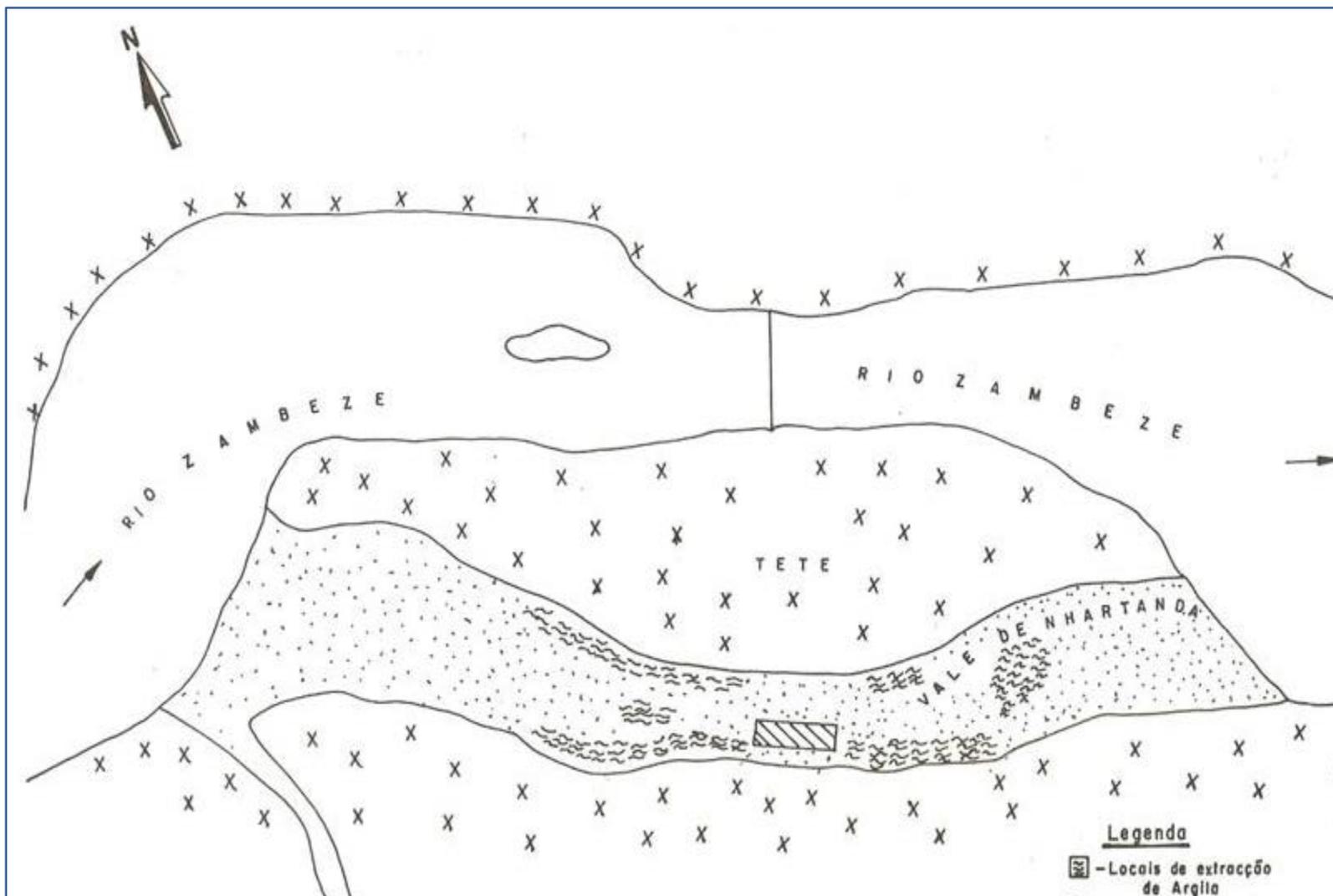
**Figura A-5:** Perfil geológico típico da área de Matundo



**Figura A-1: Localização de lixeiras e águas estagnadas - vale de Nhartanda**  
 (Fonte: Adaptação DNA)



**Figura A-2: Localização das áreas cultivadas - vale de Nhartanda**  
*(Fonte: Adaptação DNA)*



**Figura A-3: Localização das áreas de extracção de argilas - vale de Nhartanda**  
*(Fonte: Adaptação DNA)*

## **ANEXO B: LISTA DE TABELAS**

- Tabela A-1:** Cálculo de Índice de Vulnerabilidade - vale de Nhartanda.
- Tabela A-2:** Cálculo de Índice de Vulnerabilidade – área de Matundo.
- Tabela A-3:** Dados de caudais - vale de Nhartanda
- Tabela A-4:** Dados de caudais – área de Matundo
- Tabela A-5:** Dados de qualidade de água, Nhartanda & Matundo (1990 – 1999)
- Tabela A-6:** Dados de qualidade de água, Nhartanda & Matundo (2000–20009)
- Tabela A-7:** Dados gerais de furos, cidade de Tete
- Tabela A-8:** Dados de furos do vale de Nhartanda
- Tabela A-9:** Dados de furos de Matundo
- Tabela A-10:** Dados litológicos de Nhartanda
- Tabela A-11:** Dados litológicos de Matundo
- Tabela A-12:** Dados de precipitação média mensal (2000 – 2010)
- Tabela A-13:** Quadro da população segundo idade e sexo (cidade de Tete)
- Tabela A-14:** Cálculo de Permeabilidade\_ a partir de Teste Simples de Infiltração
- Tabela A-15:** Níveis Hidrostáticos e Hidrodinâmicos de Nhartanda
- Tabela A-16:** Níveis Hidrostáticos e Hidrodinâmicos de Matundo
- Tabela A-17:** Consumos de Água, Captação de Nhartanda e Matundo
- Tabela A-18:** Parâmetros de Qualidade de Água