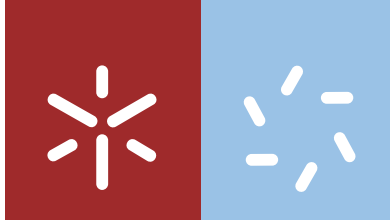




Universidade do Minho
Escola de Ciências

Luís Joaquim Maloa

**Identificação de dispositivos de infiltração
e drenagem nas planícies de Marromeu
- Unidades elementares na zonografia
de cheias do baixo Zambeze – Moçambique**



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Luís Joaquim Maloa

**Identificação de dispositivos de infiltração
e drenagem nas planícies de Marromeu
- Unidades elementares na zonografia
de cheias do baixo Zambeze – Moçambique**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Geociências
Área de especialização em Dinâmica Externa e Mudanças Globais

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Carlos Augusto Leal Gomes
e do
Professor Renato Filipe Henriques

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos:

À Deus, pelo seu imenso amor.

Aos meus familiares, em especial minha esposa Ana Bela Rêgo, minha Filha Kézia de Ana Luís Maloa, que crescendo possa se interessar desde cedo por ciências geológicas, com o objetivo de aprofundar os conhecimentos de métodos e técnicas usadas para caracterizar objetos geológicos e suas finalidades.

Ao orientador Professor Carlos Augusto Leal Gomes e o Professor Renato Filipe Henriques pela aceitação, dedicação, paciência e motivação no decorrer do curso bem como na realização deste trabalho. Ao Professor Carlos Augusto Leal Gomes vai um especial agradecimento por tudo quanto fez para a concretização deste objetivo.

Aos demais docentes e colegas da Escola de Ciências, Departamento de Ciências da Terra, com especial atenção ao colega Luís Fernandes, Juliana Barros, Jorge Correia, Leco Fonseca, Ana Sofia, Leonardo Maria Santana Barroso pelo companheirismo e bom convívio.

Aos colegas da residência, Luís Ramos, Marco Rodrigues, Ricardo Ribeiro, Zé Miguel e Sérgio Gomes pela força e ânimo que deram na longa caminhada do curso.

Ao Senhor António Saúl e a Senhora Maria Elisabete pela ajuda no laboratório e nas separações mineralógicas.

E a todos que mostraram o quanto é importante lutar por um objetivo.

*Nada é mais suave ou flexível que a água, contudo, nada lhe consegue resistir.
Lao Tzu, Filósofo.*

A todos vai o meu:

Muito Obrigado...

Menção ao apoio financeiro

Especial agradecimento ao Banco Mundial através do Projeto do Ensino Superior, Ciência e Tecnologia (HEST), pelo apoio financeiro e logístico.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Identificação de dispositivos de infiltração e drenagem nas planícies de Marromeu-Unidades elementares na zonografia de cheias do baixo Zambeze–Moçambique

Resumo:

Os ecossistemas da Bacia do rio Zambeze, em Moçambique prestam serviços vários e desempenham um papel fundamental na regularização de cheias e atenuação de inundações recorrentes. O estudo presente dedica uma maior atenção ao Complexo de Marromeu e à geologia que sustenta esses ecossistemas na margem direita do rio. Aí foram identificados dois grupos de dispositivos de retenção e escoamento fluvial com influência no regime de cheias. Os dispositivos alveolares, prevalecem no domínio de cotas, 75 a 42m, com um volume de armazenamento global de água de $800000\text{m}^3/\text{km}^2$. Os dispositivos poligonais predominam a cotas mais baixas, 5 a 2m, com um volume de armazenamento global de $400000\text{m}^3/\text{km}^2$. A preservação e conservação destes dispositivos e dos domínios em que proliferam é essencial para a regularização do escoamento pré-deltaico em regimes de cheia, atenuando picos de inundação.

Palavras-chave: análise distanciada, cheias, dispositivos, unidades geomorfológicas, zonografia.

Identification of infiltration and drainage devices on Marromeu plains – Elementary units in flood zonography of the lower Zambezi – Mozambique

Abstract:

In Mozambique, the Zambezi River Basin ecosystems, provide several services and play a key role in flood regularization and recurrent flood mitigation. The present study pays greater attention to the Marromeu Complex and the geology that supports these ecosystems on the right bank of the river. During the research, two groups of river retention and flow devices with influence on the flood regime were identified. Alveolar devices prevail in the domain of quotas between 42 and 75m, with a global water storage volume of 800000m³/km². Polygonal devices predominate at lower heights, ranging from 2 to 5m, with a global storage volume of 400000m³/km². However, the preservation and conservation of these devices and the domains in which they proliferate is essential for the regularization of pre-deltaic runoff in flood regimes, attenuating flood peaks.

Keywords: devices, distanced analysis, floods, geomorphological units, zonography.

ÍNDICE GERAL

DECLARAÇÃO RELATIVA ÀS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS.....	i
AGRADECIMENTOS E MENÇÃO AO APOIO FINANCEIRO.....	ii
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
Índice Geral.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Métodos de estudos.	3
1.3. Breve descrição do trabalho.....	3
1.3.1. Estrutura da Dissertação.....	4
1.4. Condicionantes naturais e antrópicos da Bacia do Zambeze na Área de Marromeu.....	4
1.5. Enquadramento geográfico do distrito de Marromeu (área de estudo).....	5
1.5.1. Caracteres socio–culturais de Marromeu	7
1.5.2 Fisiografia e clima	8
1.5.3. Estatutos ambientais no distrito	8
1.5.4. Geologia e Recursos Minerais	9
1.5.6. Zona Costeira e Delta do Zambeze.....	9
1.5.7. Zonas de Mangal.....	9
1.5.8 Agricultura e Desenvolvimento Rural	9
1.5.9. A Sena Sugar Estates em Marromeu.....	10
2. Caracterização da Bacia do ponto de vista dos tributários e cursos principais.....	12
2.1. Determinação da área da Bacia no espaço africano	12
2.2. Determinação da área da Bacia no espaço moçambicano	14

2.3. Caracterização da rede de tributários e cursos principais no espaço moçambicano	15
2.4. Caracterização dos regimes de retenção e distribuição dos recursos energéticos na Bacia.....	16
2.5. Fisiografia e Clima da Bacia no espaço moçambicano.....	18
2.6. Geomorfologia da Bacia	18
3. Materiais e Metodologias	20
3.1. Amostragem de Sedimentos e de Matérias de “Bed-Rock”	20
3.2. Observações feitas em campo	24
3.3. Tratamento de amostras em sedimentologia, mineralogia e mineralometria aplicada nos laboratórios	26
3.3.1. Homogeneização e Quartilha	27
3.3.2. Análise granulométrica de sedimentos	28
3.3.3. Análise Microgranulométrica de Sedimentos (SediGraph)	30
3.3.4. Análise mineralométrica de sedimentos.	32
3.4. Análise geométrica da zona dos alvéolos.....	34
3.4.1. Diagnóstico da retenção alveolar (alvéolo com infiltração prevalente).....	34
3.4.2. Diagnóstico da retenção alveolar (domínio da rede anastomosada).....	38
3.4.3. Diagnóstico de armazenamento da Zona 4 com domínio da rede anastomosada.	38
4. Resultados e Discussão	39
4.1. Massa medida por cada amostra.	39
5. Conclusões	47
5.1. Recomendações:.....	48
6. Bibliografia	49
ANEXOS:	52

Lista de abreviaturas e siglas

ADVZ – Agência de Desenvolvimento do Vale do Zambeze

ASTM - American Society for Testing Material

ArcGIS - Geographic Information System

AutoCAD - Computer aided design

BG - Batoka Gorge

CPC - Climate Prediction Center

DCT – Departamento de Ciências da Terra

ECMWF - European Center for Medium Range Weather Forecast

GPS - Sistema de Posicionamento Global

GPZ - Gabinete do Planeamento do Zambeze

GTK - Síntese Geológica Geral

HIV - Vírus da Imunodeficiência Humana

INE – Instituto Nacional de Estatísticas de Moçambique

INGC – Instituto Nacional de Gestão de Calamidades de Moçambique

IUCN - União Mundial para Natureza

KG - Kafue Gorge

Ltd - Sociedade de Responsabilidade Limitada

LUM - Laboratórios da Universidade do Minho

MAE – Ministério da Administração Estatal de Moçambique

MFPZ - Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze

MN - Mphanda Nkuwa

MW – Megawatts

NWS - National Weather Service

PR - Reservatórios de Panhane

QGIS - Quantum GIS, multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG)

SARCOF - Southern Africa Regional Climate Outlook Forum

SIDA - Síndrome da Imunodeficiência Adquirida

SR - Reservatórios de Sanyati

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZRA - Zambezi River Authority

Lista de Figuras

Capítulo 1. Enquadramento geográfico da área em estudo

Figura 1 - Localização geográfica do distrito de Marromeu em Moçambique.....6

Capítulo 2. Caracterização da Bacia

Figura 2 - Bacia hidrográfica do rio Zambeze.....12

Figura 3 - Localização geográfica da Bacia no espaço moçambicano.....15

Capítulo 3: Materiais e ações ao solo desenvolvidas em Marromeu e trabalhos laboratoriais

Figura 4 - Localização das áreas para a recolha das amostras e análise estrutural distanciada.....20

Figura 5 - Matriz cartográfica usada para a amostragem seletiva de sedimentos superficiais.....21

Figura 6 - Zona 1 usada para amostragem seletiva de sedimentos superficiais.....22

Figura 7 - Zona 3 usada para amostragem seletiva de sedimentos superficiais.....	22
Figura 8 – Imagens identificativas e representativas dos locais onde foram retiradas as amostras.....	23
Figura 9 - Local onde foram armazenadas as amostras depois de coletadas.....	24
Figura 10 - Amostragem ao solo e análise granulométrica de sedimentos.....	25
Figura 11 - Litologias recetoras da infiltração e retenção.....	25
Figura 12 - Preparação e secagem das amostras no Laboratório.....	26
Figura 13 - Processo de quartilha das amostras.....	27
Figura 14 - Amostras em sacos de plástico quartilhadas e respetivos testemunhos.....	28
Figura 15 - Conjunto de crivos e o respetivo agitador utilizado para análise granulométrica.....	29
Figura 16 - SediGraph e seus acessórios.....	31
Figura 17 - Amostras preparadas para separação dos líquidos densos.....	33
Figura 18 - Domínio alveolar da Zona 3 onde se ensaia uma previsão de armazenamento.....	35
Figura 19 - Principais linhas atenuadoras de caudal de ponta de cheia da Zona 3.....	36
Figura 20 - Profundidade e locais de maior infiltração nos dispositivos.....	37
Figura 21 - Rede anastomosada poligonal da Zona 4 - Voo rasante em Marromeu.....	38

Capítulo 4: Resultados e discussão

Figura 22 - Zonografia de distribuição dos domínios de drenagem diferenciada na margem esquerda do baixo Zambeze com a localização das áreas sujeitas a um estudo mais detalhado.....	42
Figura 23 - Exemplo da compartimentação e funcionalidade de volumes de armazenamento de água até às cotas de descarga de dispositivos alveolares individuais e conjuntos de dispositivos, em domínios alveolares.....	43

Figura 24 - Tipos distintos e extremos de alvéolos diferenciados pela estrutura subjacente e pelo escoamento subterrâneo no seu volume de influência - representações em planta e em bloco diagrama conceptual de unidades individualizadas.....44

Figura 25 - Tipo de drenagem anostomosada poligonal (reconstituição 3D a partir de imagem de satélite e planta de análise geométrica) veiculada por canais definidos à superfície e em subsuperfície, por sua vez e ocasionalmente, controlados por acidentes tectónicos antigos.....45

Figura 26 - Representações em planta e em bloco diagrama conceptual de uma unidade poligonal individualizada.....46

Lista de Símbolos

$V_{1,2}$ [m³] - Volume de armazenamento entre a elevação 1 e 2

A_1 [m²] - Área da superfície da elevação 1

A_2 [m²] - Área da superfície da elevação 2

d [m] - Distância na vertical medida entre os dois planos

V [m³] - Volume de armazenamento

n , m e d - fatores de declive dos taludes

c - fatores de declive da linha de água

h [m] - Profundidade da bacia.

L_b [m] - Comprimento da base da bacia;

b [m] - Largura da base da bacia;

z - fatores de declive dos taludes.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Afluentes do Zambeze em Moçambique. Peterson (2012)16

Tabela 2 – Designação das frações granulométricas. Alveirinho Dias (2004)30

Tabela 3 – Massa medida por cada uma das amostras com relação as Zonas em estudos.....39

Tabela 4: Resultados da análise das dimensões dos sedimentos. Zona 0 (Amostra 1)40

Tabela 5: Resultados da análise das dimensões dos sedimentos. Zona 1 (Amostra 1)	41
--	----

Lista de Tabelas de anexos

Tabela A1: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 0 (Amostra 2).....	53
Tabela A2: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 1 (Amostra 2).....	54
Tabela A3: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 2 (Amostra 1).....	55
Tabela A4: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 2 (Amostra 2).....	56
Tabela A5: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 3 (Amostra 1).....	57
Tabela A6: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 3 (Amostra 2).....	58
Tabela A7: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 4 (Amostra 1).....	59
Tabela A8: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 4 (Amostra 2).....	60
Tabela A9: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 5 (Amostra 1).....	61
Tabela A10: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 5 (Amostra 2).....	62
Tabela A11: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 6 (Amostra 1).....	63
Tabela A12: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 6 (Amostra 2).....	64
Tabela A13: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 7 (Amostra 1).....	65
Tabela A14: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 7 (Amostra 2).....	66
Tabela A15: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 7 (Amostra 3).....	67
Tabela A16: Resultados da análise Microgranulométrica de sedimentos – SediGraph. Amostra 1.....	68
Tabela A17: Resultados da análise Microgranulométrica de sedimentos – SediGraph. Amostra 2.....	71

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Curva granulométrica da Zona 0 (amostra 1).....	40
Gráfico 2 – Curva granulométrica da Zona 1 (amostra 1).....	41

Lista de gráficos de anexos

Gráfico A1: Curva granulométrica da Zona 0 (Amostra 2).....	53
Gráfico A2: Curva granulométrica da Zona 1 (Amostra 2).....	54
Tabela A3: Curva granulométrica da Zona 2 (Amostra 1).....	55
Gráfico A4: Curva granulométrica da Zona 2 (Amostra 2).....	56
Gráfico A5: Curva granulométrica da Zona 3 (Amostra 1).....	57
Gráfico A6: Curva granulométrica da Zona 3 (Amostra 2).....	58
Gráfico A7: Curva granulométrica da Zona 4 (Amostra 1).....	59
Gráfico A8: Curva granulométrica da Zona 4 (Amostra 2).....	60
Gráfico A9: Curva granulométrica da Zona 5 (Amostra 1).....	61
Gráfico A10: Curva granulométrica da Zona 5 (Amostra 2).....	62
Gráfico A11: Curva granulométrica da Zona 6 (Amostra 1).....	63
Gráfico A12: Curva granulométrica da Zona 6 (Amostra 2).....	64
Gráfico A13: Curva granulométrica da Zona 7 (Amostra 1).....	65
Gráfico A14: Curva granulométrica da Zona 7 (Amostra 2).....	66
Gráfico A15: Curva granulométrica da Zona 7 (Amostra 3).....	67
Gráfico A16 & A17: Curva microgranulométrica 1 resultante do SediGraph.....	69
Gráfico A18 & A19: Curva microgranulométrica 2 resultante do SediGraph.....	72

Gráfico A20: Temperaturas máximas, médias e mínimas registadas no ano de 2018 em Marromeu.....	74
Gráfico A21: Dados de precipitação registados em 2018 no distrito de Marromeu.....	74
Gráfico A22: Percentagem de tempo passada em cada faixa de nebulosidade.....	75
Gráfico A23: Níveis de umidade observada no Distrito de Marromeu.....	75
Gráfico A24: Velocidade média horária do vento.....	76

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas da Bacia do rio Zambeze, em Moçambique, têm-se revelado importantes, tanto pelos principais ecosserviços que prestam, como pelo papel que desempenham na regularização de fluxos de água que condicionam ou atenuam inundações recorrentes, as quais têm sido atribuídas a surtos de combinação peculiar entre eventos climatológicos extremos e a evolução geomorfológica progressiva e abrupta, em resposta a atividades antrópicas (Beilfuss & Santos, 2001). Os principais ecosserviços prestados pela bacia baixa têm incidência especial na exploração agrossilvipastoril, ecoturística e cinegética.

Os aproveitamentos antrópicos e a dinâmica dos assentamentos populacionais são afetados e também influenciam os registos históricos das cotas máximas de inundação (Silva, 2007).

O presente trabalho estuda alguns dispositivos de infiltração e drenagem existentes nas planícies do distrito de Marromeu e procura compreender a sua influência no quadro das inter-relações entre o escoamento natural do rio Zambeze e a ocupação e utilização dos recursos marginais dos rios doravante referidos como Bacia, especialmente a área onde se verificou maior diversidade de dispositivos naturais e de intervenção antrópica. Escolhem-se como elementos estratégicos, proeminentes em Marromeu, os dispositivos de infiltração e drenagem em alvéolos circulares e a organização anastomosada da rede de talwegues pouco profundos, para os quais se ensaia uma previsão da influência sobre a escorrência e inundação.

Começam a estar disponíveis dados que permitem produzir sínteses das características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas relativas à Bacia, permitindo também uma aproximação fidedigna à caracterização dos regimes de retenção e descarga das principais barragens.

Por sua vez, esta abordagem ocupando elementos de síntese geral sobre a dinâmica deltaica e litoral até porque com base nos trabalhos de síntese geológica geral (GTK) é já volumosa a base de dados geológica estrutural sobre o soco da Bacia e as suas unidades de cobertura, tornando possíveis apreciações fundamentadas sobre a evolução geológica da Bacia e da porção terminal.

Também existem elementos suficientes para uma apreciação holística sobre seus recursos naturais. Para os objetivos em vista, esta apreciação inclui e incorre à:

- Hidrologia de superfície e subsuperfície e síntese de dados de hidrogeologia incluindo a disponibilidade e qualidade da água;
- Classificação de McKelvey dos recursos minerais e sua distribuição geográfica;
- Distribuição dos recursos energéticos;
- Aproveitamentos agropecuários e silvícolas;
- Pescas e piscicultura em águas interiores e no litoral.

Outrossim, ultimamente têm sido bastante estudados e debatidos os ecossistemas da Bacia e os principais serviços que prestam e os riscos a que estão sujeitos:

- Tandos de Marromeu – aproveitamento agrossilvopastoril e cinegético;
- Sena Sugar – peso na economia nacional da monocultura e refinação de açúcar;
- Moatize, a montante – importância económica dos jazigos de carvão e influência sobre a drenagem e qualidade de água por parte da sua exploração;
- Cahora-Bassa – importância económica e peso da sua influência sobre os regimes de cheias e episódios históricos de inundações.

A disponibilidade destes elementos documentais combinados com a análise dos registos de cheias permite estabelecer um quadro de inter-relações entre as condições naturais e a utilização antrópica da Bacia, especialmente na área de Marromeu, onde a magnitude mais significativa da influência de condicionantes diz respeito a:

- Barragem de Cahora-Bassa e drenagem a montante;
- Rio Chire/Karibe e drenagem a montante;
- Climatologia da região;
- Monocultura de cana de açúcar e a regularização da drenagem com ela relacionada.

1.1. Objetivos

O trabalho tem objetivo geral o seguinte:

- Identificar os dispositivos de infiltração e drenagem e suas unidades elementares e entender a sua dispersão e implicações na zonografia de cheias do baixo Zambeze.

Como objetivos específicos esperava-se:

- Definir geometrias padrão e modelos conceptuais de funcionamento para os dispositivos de acolhimento das águas e para os domínios geográficos da distribuição prevalente, considerando:

barragens naturais;

escoamento superficial e alastramento de planos de água;

infiltração – no caso dos alvéolos circulares e redes de talvegues pouco profundos.

- Deduzir as influências destes elementos sobre a escorrência e inundações.
- Explicar a granulometria e mineralometria dos sedimentos em função da funcionalidade atribuída aos dispositivos.
- Sugerir medidas de minimização dos efeitos de cheias e inundações com base no estudo efetuado e na zonografia dela decorrente.

1.2. Métodos de estudos.

Os métodos de estudos implicados neste trabalho incluíram:

- Pesquisa bibliográfica e investigação documental de estudos prévios de caracterização regional e registos de incidentes de cheias/inundações e intervenções sobre a Bacia.
- Análise distanciada da Bacia em imagens de Satélite e a aproximação à sua zonografia, considerando os padrões geométricos dos canais de drenagem e alvéolos de retenção.
- Detecção remota de dispositivos da retenção e drenagem considerando indícios estruturais.
- Cartografia da dispersão e organização dos dispositivos.
- Análise estrutural de dispositivos individuais até à incorporação cinemática da sua organização.
- Análise granulométrica e mineralométrica de sedimentos retidos em alguns casos.

1.3. Breve descrição do trabalho

Os trabalhos relativos à totalidade da dissertação organizaram-se de acordo com as seguintes fases:

1ª - Lançamento do trabalho de análise distanciada (pré-campo) com fotointerpretação das heterogeneidades de coberto vegetal, sua sistemática, individualização, unidades morfológicas e litológico – Estratigráficas de escoamento, infiltração e barragem, especialmente na área de Marromeu que se revelou a mais propícia e de maior diversidade.

2ª – Implementação das metodologias e ações ao solo desenvolvidas na estadia em Marromeu:

- Levantamento e análise estrutural dos dispositivos que a partir da análise distanciada pareciam influenciar o escoamento e infiltração de água;

- Amostragem de sedimentos e materiais de “bed-rock” friáveis para estudo mineralométrico e granulométrico;
- Amostragem de extratos e eflorescências salinas formadas em estio (onde o fenómeno se verificou).

3ª - Tratamento de amostras em sedimentologia, mineralogia e mineralometria aplicada nos laboratórios da Universidade do Minho (LUM) em Braga com recurso a técnicas de análise granulométrica, observação e análise microscópica, determinações mineralógicas e análise dos conteúdos.

1.4. Estrutura da Dissertação

A Dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos:

O primeiro capítulo faz uma introdução sintética do trabalho, o seu enquadramento e começa por abordar alguns conceitos relacionados com a alteração dos dispositivos estruturais e morfológicos no distrito de Marromeu.

No capítulo 2 é feita a caracterização da Bacia do ponto de vista dos tributários e cursos principais bem como a determinação da área da Bacia no espaço africano e moçambicano. Neste capítulo é também apresentada a caracterização dos regimes de retenção e descarga das principais barragens, a caracterização fisiográfica e climática da Bacia e sua geomorfologia.

No capítulo 3 são apresentados os materiais e ações ao solo desenvolvidas em Marromeu. São apresentados os procedimentos desenvolvidos na amostragem de sedimentos e de matérias de “bed-rock” e os trabalhos laboratoriais.

O quarto capítulo apresenta todos os resultados do trabalho e o quinto capítulo faz a análise e discussão destes resultados.

O sexto capítulo apresenta às considerações finais do trabalho e as recomendações para ajudar em orientações e linhas de desenvolvimento no futuro.

1.5. Condicionantes naturais e antrópicos da Bacia do Zambeze na Área de Marromeu

O distrito de Marromeu em Moçambique sofre inundações anuais recorrentes devido a uma conjugação e combinação peculiar da climatologia e geomorfologia na bacia de drenagem. Tais ciclos afetam a fauna, flora e também o estilo de vida dos habitantes e as suas práticas agrossilvipastoris (Silva, 2007).

Devido à sua localização no contexto da África Oriental, o distrito é muito influenciado pela ocorrência dos ciclones tropicais no Oceano Índico que também influenciam a ocorrência de cheias e inundações. Em períodos críticos e em ano de cheias, o fluxo de água emanado a partir do canal de estio do rio Zambeze chega a ser três vezes maior que o normal, causando surtos agudos de tragédia humana e ambiental no delta. Cerca de metade da superfície física do distrito sobrepõe-se à vasta planície deltaica do rio Zambeze onde 79 rios e riachos têm curso de água permanente (Beilfuss & Santos, 2001).

Os dispositivos de infiltração e drenagem (quase sempre subcirculares) localizados no distrito de Marromeu em áreas pouco drenadas, planas e fixando-se na periferias das faixas aluviais dos canais principais, atuam como áreas de decantação, nas quais os sedimentos finos levados em suspensão, durante as fases de inundação se depositam depois dos detritos mais grosseiros se terem depositado nos diques e sobre depósitos anteriores, reduzindo parcialmente a carga sedimentar que atinge os escoamentos principais e o delta propriamente dito. Aqui, convém esclarecer a distinção que é feita entre inundação e cheia. O conceito de cheia comporta a dinâmica hidrológica de um determinado curso de água (“subida, geralmente rápida, do nível de um curso de água até um máximo a partir do qual desce em geral mais lentamente”). O conceito de inundação refere-se à submersão de áreas situadas fora dos limites normais de um curso de água, reduzindo também a acumulação de água proveniente da drenagem, em zonas que normalmente não se encontram submersas.

As primeiras observações com recurso da análise distanciada (pré-campo) com fotointerpretação das heterogeneidades de coberto vegetal, mostram que algumas áreas onde se localizavam estes dispositivos foram destruídas ou alteradas por ação antrópica principalmente em manejo da prática agrícola.

A monocultura de cana-de-açúcar e a prática continuada da agricultura na região se reflete não só em alterações imediatas na paisagem e nos ecossistemas, mas também na dispersão dos dispositivos descritos e conseqüentemente na variação dos ritmos temporais e aumento dos riscos de inundação, com influência na zonografia do alagamento, na alteração da dinâmica fluvial e na qualidade da água.

1.6. Enquadramento geográfico do distrito de Marromeu (área de estudo)

O distrito de Marromeu está localizado a nordeste da Província de Sofala, estando separado, a nordeste dos distritos de Chinde e Mopeia (Província da Zambézia) através do rio Zambeze.

A Noroeste confina com o distrito de Caia, a Oeste com o distrito de Cheringoma e a sul confina com o Oceano Índico (MAE, 2014).

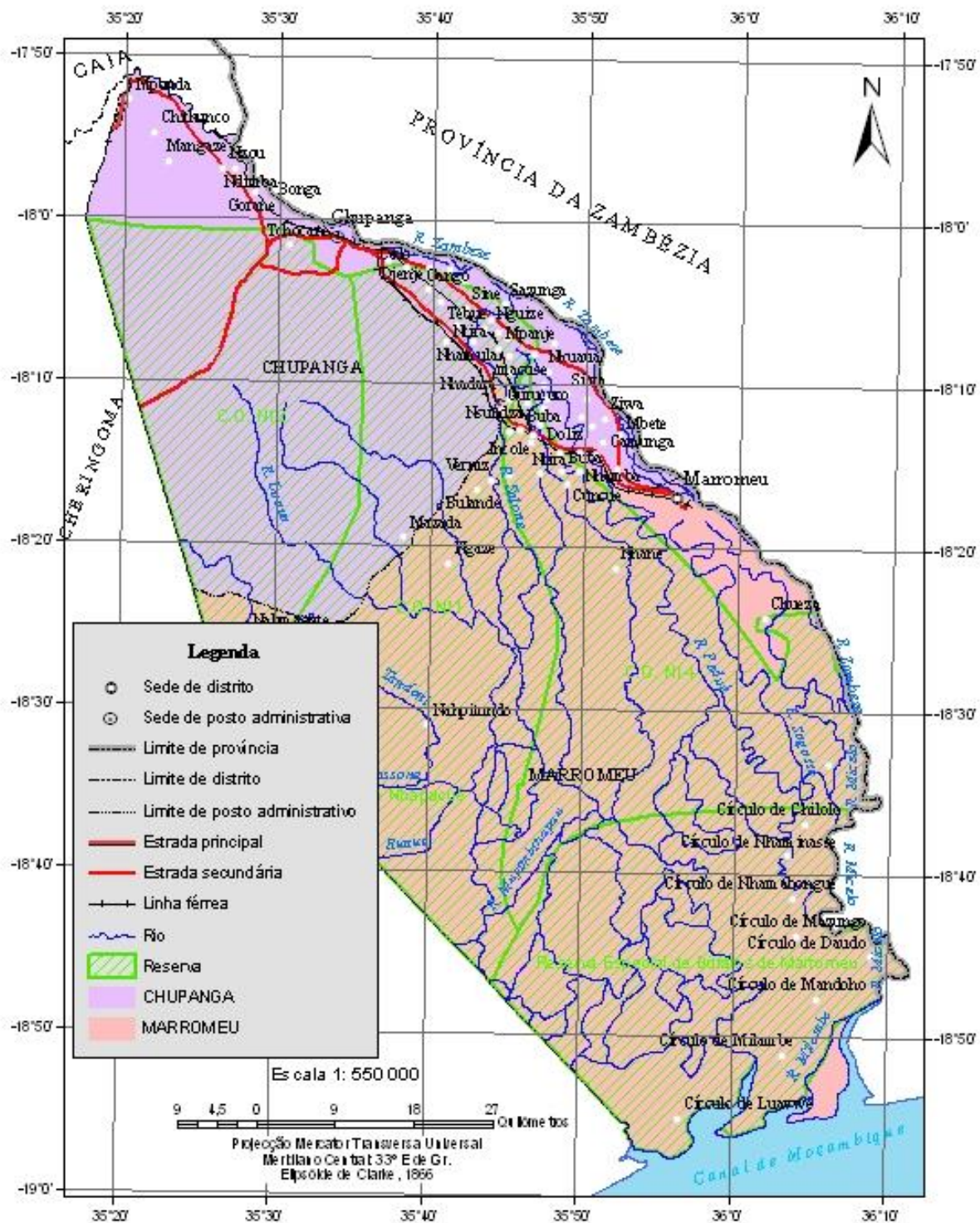


Figura 1: Localização geográfica do distrito de Marromeu em Moçambique.
 Fonte: Retirado do perfil do distrito de Marromeu, edição de 2014.

Dados do IV (quarto) recenseamento geral da população e habitação moçambicana, realizado no ano de 2017 concluem que a superfície do distrito de Marromeu é de 5.871 km² e a sua população está estimada em 156.720 habitantes. Com uma densidade populacional aproximada de 27hab/km² e com 31.973 Agregados Familiares, a estrutura etária do distrito reflete uma relação de dependência económica de 1:1, isto é, por cada 10 crianças ou anciões existem 10 pessoas em idade ativa. A população pode considerar-se jovem (49%, abaixo dos 15 anos), e a taxa de urbanização é 34%, concentrada na Vila de Marromeu e zonas periféricas de matriz semiurbana (INE, 2017).

1.6.1. Caracteres socio-culturais de Marromeu

Antes da chegada dos portugueses, os régulos tinham como tarefa principal defender a população dos seus territórios, das guerras tribais, animais ferozes, usando principalmente a magia negra, para além de dirigirem cerimónias tradicionais quando os Anhakulota Ndalo (videntes) previam acontecimentos relacionados com abundância, ou não, de chuvas (MAE, 2014).

Os primeiros portugueses que escalaram o distrito vieram de barco ao longo do rio Zambeze, com o objetivo de conhecerem novas áreas que pudessem ser exploradas. Entraram na floresta e, quando já se julgavam perdidos, encontraram caçadores junto das suas cabanas a cortar carne. Depois de várias tentativas frustradas para estabelecer diálogo com os nativos, quiseram saber o nome da região e, em resposta, os caçadores que já estavam cansados de ouvi-los responderam "Pamarremelo" (em língua Phozo, local onde se procede ao corte da carne), entendendo os portugueses que a região se chamava "Marromeu" (MAE, 2014).

É uma região, maioritariamente, dominada pelos grupos étnicos Phozo provenientes de Luabo, província da Zambézia, os Senas provenientes de Cheringoma, Caia, Mutarara, Morrumbala e Mopeia na província da Zambézia, para além de algumas minorias como: Macuas, Chuabos, Ndaus e Ngonis que chegaram como contratados para trabalhar nas plantações de cana sacarina da Sena Sugar Estates e nas serrações de madeira da Companhia de Moçambique, coexistindo e interagindo socialmente. A religião dominante é a Sião/Zione, praticada pela maioria da população do distrito.

1.6.2. Fisiografia e clima

Marromeu possui clima tropical húmido em todos os locais, com duas estações principais, nomeadamente a de inverno entre os meses de Abril a Agosto e a de Verão durante os restantes meses. A precipitação média anual é cerca de 910mm, enquanto a evapotranspiração potencial média anual é cerca de 1574mm. A maior queda pluviométrica ocorre sobretudo no período compreendido entre Dezembro de um ano a Março do ano seguinte, variando significativamente na quantidade e distribuição, quer durante o ano, quer de ano para ano. A temperatura média anual está na ordem dos 24.0°C. As médias anuais máximas e mínimas são de 32.1 e 16.0°C respetivamente (MAE, 2014).

Os solos são predominantemente aluvionares. Em geral, são solos muito profundos, ricos em matéria orgânica e com boa capacidade de retenção de água e nutrientes. Localmente existem solos salinos e sódicos e com baixa capacidade de retenção de nutrientes e água (os arenosos). Os solos da zona litoral são predominantemente arenosos e de cobertura arenosos, em geral profundos a muito profundos, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e água (INGC, 2013).

1.6.3. Estatutos ambientais no distrito

O Governo de Moçambique proclamou o complexo de Marromeu, que engloba toda a planície do delta do Zambeze e as terras circundantes, como o primeiro local de terras húmidas de importância internacional mediante a sua inscrição na Convenção de **Ramsar**, um dos acordos mundiais mais proeminentes na proteção e o uso sustentável das terras húmidas. Como parte das obrigações o país preparou um plano de maneio compreensivo para o Complexo de Marromeu. À luz deste acordo, decorre um projeto das terras húmidas na Bacia, gerido pela União Mundial para Natureza (IUCN), que trabalha para a conservação e utilização sustentável dos recursos das terras húmidas da Bacia (ADVZ, 2015).

O Projeto de Conservação e utilização dos Recursos das Terras Húmidas da Bacia, foi desenhado para focalizar os desafios ambientais que a Bacia atravessa, pois está sob ameaças provocadas por fatores biofísicos e socioeconómicos que causam impactos negativos aos ecossistemas e o bem-estar das comunidades ribeirinhas. Estes fatores incluem a constante variabilidade climática, cheias intermitentes, baixa fertilidade dos solos, intrusão das águas salinas, práticas inapropriadas de uso de terra, diferenças de género, pandemias do HIV/SIDA e fraca prosperidade e oportunidade económica das comunidades locais (ADVZ, 2015).

1.6.4. Geologia e Recursos Minerais

Geomorfologicamente o distrito ocorre na vasta bacia sedimentar que compreende basicamente aluviões na planície deltaica do Zambeze e os sedimentos junto a costa e, mais ainda por alguns extratos isolados e intercalados de manchas de cobertura arenosa (ADVZ, 2015).

A unidade litológica presente no Distrito é o Fanerozóico que corresponde cerca de 100% da área do Distrito e que inclui a era geológica do cenozóico e os respetivos períodos neogénico e paleogénico. Ao nível dos recursos minerais, existe um predomínio das argilas vermelhas e das argilas vermelhas-plásticas. Verificando-se ainda a inexistência de Geosítios (ADVZ, 2015).

1.6.5. Zona Costeira e Delta do Zambeze

O Delta do Zambeze é um extenso aluvião plano ao longo da costa no centro de Moçambique, que tem a forma triangular e cobre uma área aproximada de 12.000 Km². Nestes 6.880 Km² estão ocupadas pelo complexo de Marromeu, que inclui a reserve especial de Búfalos, as Coutadas oficiais de caça n.º 11,12 e 14. Tem como características importantes uma série de mosaicos diversificados de comunidades vegetais incluindo a floresta seca e baixas com lagoas. Estas comunidades vegetais suportam uma abundante e diversificada fauna englobando diversas espécies de animais (MAE, 2014).

1.6.6. Zonas de Mangal

Os mangais mais extensos, 1.350 Km² da costa ao longo do oceano Indico, ocorrem no delta do rio Zambeze. Estes suportam viveiros importantes de peixe comercial e protegem a costa contra os fenómenos de erosão. Estes mangais suportam uma lucrativa indústria de pesca de camarão bravo (MAE, 2014).

1.6.7. Agricultura e Desenvolvimento Rural

O potencial para agricultura irrigada está concentrado nos solos aluvionares ao longo do Zambeze, em particular aqueles de textura média a pesada. Estes solos são profundos, ricos em matéria orgânica e apresentam ainda excelentes capacidades de retenção de água e nutrientes, contudo, podem localmente ser ligeiramente salinos e/ou sódicos.

Dos 577 mil hectares da superfície do distrito estimam-se em 290 mil hectares o potencial de terra arável apta para a agricultura do distrito de Marromeu. Existe alguma pressão sobre as terras mais férteis, o que dá origem a alguns conflitos sobre a posse da terra (MAE, 2014).

De modo geral, a agricultura no distrito é praticada em regime de consociação de culturas com base em variedades locais e, em algumas regiões, com o recurso à tração animal e tratores.

1.6.8. A Sena Sugar Estates em Marromeu

A Sena Sugar Estates Ltd, foi uma empresa agroindustrial dedicada à produção de açúcar a partir de cana-de-açúcar, inicialmente formada com recurso a capitais maioritariamente britânicos, à qual foram concedidas extensas subconcessões de terras sob administração da Companhia do Zambeze, em Luabo e Marromeu, próximo da foz do rio Zambeze, e uma grande plantação de copra nas imediações de Chinde.

No período de 1926 à 1972, a Sena Sugar Estates desenvolveu técnicas para o crescimento dos rendimentos na produção agrícola e industrial, dada as condições do solo e fatores climáticos favoráveis. Nos meados do século XX, a produção de açúcar cobria as necessidades de consumo no território moçambicano, e boa parte da produção era exportada para a “Metrópole”, “Províncias Ultramarinas” e “Niassalândia” (Negrão, 2001).

Foi com base nas tecnologias introduzidas que em 1972, a Sena Sugar Estates, alcançou a sua maior produção de sempre, na ordem das 153.000 toneladas de açúcar, das quais, 77.850 foram produzidas pela fábrica de Marromeu e as 75.150 pela fábrica de Luabo (Negrão, 2001).

A mão-de-obra era um fator importante para a plantação da cana, em que a maior parte dos trabalhadores estava sob o regime de contratos sazonais, tanto para a plantação como para o corte da cana. Em grande parte, a mão-de-obra (trabalhadores sazonais) provinha de Tete e Zambézia. A maioria dos trabalhadores seniores era constituída por indivíduos de raça branca, oriundos da Holanda, Grã-Bretanha, África do Sul, e por alguns técnicos das Maurícias. Era atribuída acomodação dentro do complexo fabril a esses quadros, e alguns trabalhadores Portugueses e Moçambicanos, constituindo diversos bairros bem distintos em termos de condições, de acordo com as origens dos seus moradores (Negrão, 2001). Era estritamente proibido, alguém dos bairros dos Moçambicanos ou Portugueses, tentar confraternizar com os moradores Holandeses ou Britânicos ou Sul-Africanos, pois estes eram considerados

de raça e estatuto social superior, auferindo salários elevados e em boas condições de habitação (Negrão, 2001).

Atualmente a açucareira é gerida pela Cooperativa Francesa Tereos, sendo a quarta maior produtora mundial de açúcar na ordem de 2.7 milhões de toneladas; A terceira maior produtora mundial de álcool 1.3 milhões de m³ e a quarta maior produtora mundial de amido na ordem de 1.5 milhões de toneladas. Tem a sua base em Marromeu na margem do rio Zambeze, com cerca de 15.000 hectares plantados com cana de açúcar, uma fábrica de açúcar com a capacidade cerca de 1 milhão de toneladas, empregando cerca de 8.000 trabalhadores no auge da campanha de produção. Até ao momento a Cooperativa Francesa Tereos é a única produtora de açúcar refinado em Moçambique.

2. Caracterização da Bacia do ponto de vista dos tributários e cursos principais – síntese bibliográfica

2.1. Determinação da área da Bacia no espaço africano

A Bacia hidrográfica do Zambeze, cobrindo cerca de 1.385.000 km², é a quarta maior de África depois de Congo, Nilo e Níger. A Bacia fica localizada entre 8°S e 20°S de latitude e 16,5°E 36°E de longitude. O principal afluente, o rio Zambeze, nasce no planalto central africano, nas montanhas Kalene no Noroeste da Zâmbia, a 1.585m acima do nível médio do mar e corre para um delta em Moçambique, antes de desaguar no Oceano Índico (Lehner, 2011).

A Bacia é partilhada por oito países nomeadamente, Zâmbia (41,9%), Angola (18,2%), Zimbabwe (15,9%), Moçambique (11,6%), Malawi (7,5%), Tanzânia (2,2%), Botswana (1,5%) e Namíbia (1,1%). Fica claro a partir dos números que a parte Moçambicana da Bacia é relativamente pequena, visto que quase 90% da Bacia está localizada na área a montante, de onde surge a maior parte do escoamento, principalmente em períodos críticos (Peterson, 2012). A Zâmbia neste processo é um país crucial, mais de 41% da área total da Bacia.

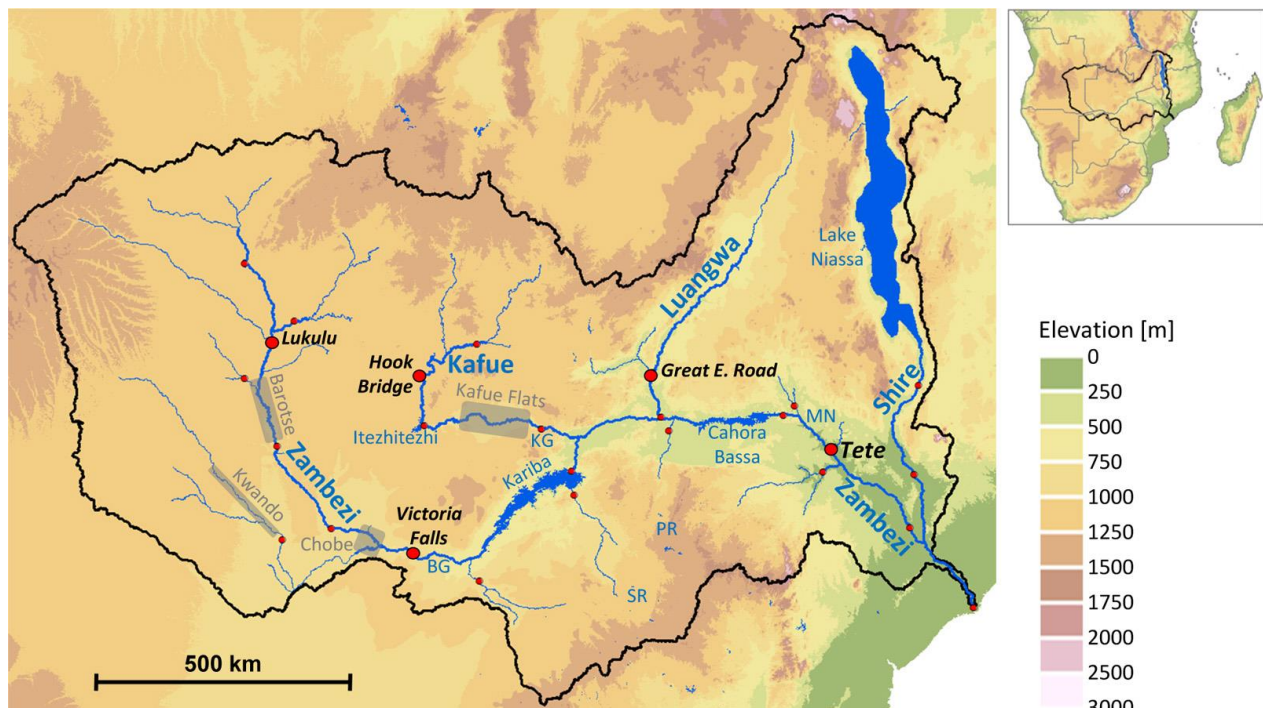


Figura 2: Bacia hidrográfica do rio Zambeze. Divisão da Bacia (a preto), rede fluvial (azul). Nomes dos principais rios (negrito). Círculos vermelhos indicam as localizações das 27 sub-bacias com nomes de locais-chaves em itálico. Caixas sombreadas indicam os ecossistemas naturais e zonas húmidas. Usou-se abreviações para reservatórios: KG (Kafue Gorge), SR (reservatórios de Sanyati), PR (reservatórios de Panhane), BG (Batoka Gorge), MN (Mphanda Nkuwa). Fonte: Lehner *et al.*, (2008).

Ao longo do seu percurso existem famosos tesouros naturais do mundo (exemplo, Cataratas Vitoria) e áreas ecológicas ímpares (exemplo, Mana Pools). As planícies aluviais e os pântanos (Planície aluvial de Barotse, Pântanos Chobe, Planícies de Kafue, etc.) são áreas vastas sazonalmente inundadas, com milhares de km². O Lago Niassa está localizado na parte nordeste da Bacia e é um dos maiores lagos de água doce do mundo (570km de comprimento, 30.000 km²). Existem também dois grandes reservatórios artificiais hidra-elétricos (barragem de Kariba com 5.600km² e de Cahora-Bassa com 2.700km²) (Peterson, 2012).

O Zambeze divide-se em três troços principais, nomeadamente, no alto, no médio e no baixo Zambeze:

Alto Zambeze:

O Alto Zambeze é composto por seis sub-bacias:

- a sub-bacia do rio Cuando/Chobe; a sub-bacia do rio Barotse; a sub-bacia do rio Luanginga; a sub-bacia do rio Lungue Bungo; a sub-bacia do Alto Zambeze, e a sub-bacia do rio Kabompo.

O Alto Zambeze estende-se por uma área de 507.200km² e compreende toda a rede hidrográfica de Angola, Zâmbia, Namíbia e Botswana até Victoria Falls. A precipitação média anual nesta sub-bacia é da ordem de 1000mm, que gera um escoamento médio anual da ordem de 88mm. A precipitação varia entre 600mm no sul, no território do Botswana e da Namíbia, e 1300mm no Norte, em território Angolano. O pico máximo de cheia para um período de retorno de 10.000anos ($Q_{10.000}$) estimado com base em métodos empíricos é de 17.286 m³/s (UTIP, 1999).

Médio Zambeze:

Existem quatro sub-bacias no Médio Zambeze, que são:

- a sub-bacia do rio Kafue, toda ela na Zâmbia; a sub-bacia de Kariba, partilhada pela Zâmbia e o Zimbabwe (e uma pequena parte no Botswana); a sub-bacia do rio Luangwa, quase inteiramente na Zâmbia; e a sub-bacia de Mupata, partilhada pela Zâmbia e o Zimbabwe.

O Médio Zambeze estende-se por uma área de 543.200km² e compreende as sub-bacias próprias de Kariba, a jusante de Victoria Falls, do Kafue e a própria Cahora-Bassa em Moçambique, que inclui a sub-bacia do Luangwa-Lusemfwa. A precipitação média anual é da ordem de 916mm, que gera um escoamento médio anual da ordem de 87mm, em que a contribuição mais significativa para este

escoamento é dada pela sub-bacia do Luangwa com um valor da ordem de 118mm. A precipitação anual varia entre 600mm, a sul da albufeira de Cahora-Bassa e 1300mm no alto Kafue (UTIP, 1999).

O pico máximo de cheia para um período de retorno de 10.000anos ($Q_{10.000}$) estimado em Cahora-Bassa, como secção final desta Bacia do Médio Zambeze, é da ordem de 30.000 m³/s (UTIP, 1999).

Baixo Zambeze:

O Baixo Zambeze é um troço de 650km, desde Cahora-Bassa em Moçambique até ao Oceano Indico. Em quase toda a sua extensão o rio é navegável, embora seja pouco profundo em algumas regiões, sobretudo na estação seca. Aos poucos o rio entra num leito plano onde ocupa largas áreas, e mantém-se com este especto até desaguar no Oceano Indico. Tem como principais tributários os rios Luia, Revubué, Luenha e Chire (UTIP, 1999).

O Baixo Zambeze é caracterizado por uma ampla planície de alagamento, muitas vezes com muitos canais paralelos e bancos de areia móveis, e a parte costeira compreende extensos prados e pântanos de água doce, dunas e mangais. Embora a sua história geológica não seja clara, esta parte da Bacia é biologicamente semelhante ao sistema Pungwe/Búzi e, quando ocorre o alagamento, liga-se à área da Gorongoza. O Lago Niassa ocupa a maior parte da fossa tectónica e, em muitos locais, é evidente o fenómeno das escarpas limitrofes elevadas acima do nível do antigo planalto (UTIP, 1999).

As maiores elevações ocorrem na direção norte/sul, através de Morrumbala, até Inhaminga. O delta propriamente dito começa em Mopeia, a 120km do mar, e as ondas de maré alcançam os últimos 80km do percurso. As represas ao longo do Zambeze e dos seus afluentes menores e canais antigos, juntamente com vestígios de praias, criaram áreas elevadas. Próximo da costa, existem dunas elevadas, que são mais proeminentes na parte norte do delta.

2.2. Determinação da área da Bacia no espaço Moçambicano

A parte moçambicana da Bacia ocupa 11,6% da área total. O rio Zambeze entra em Moçambique a partir da Zâmbia, logo a montante do reservatório de Cahora-Bassa. Em Moçambique, a Bacia situa-se entre os paralelos 14°S e 19°S, prolongando-se até ao ponto ocidental do país, meridiano 30°E de Greenwich. Ocupa uma área de 220.000km², que corresponde a cerca de 30% da superfície do país. Faz

limite a Sul com as províncias de Manica e de Sofala, a Norte com o Malawi, Tanzânia e Zâmbia, a Leste com as províncias da Zambézia, Niassa, Malawi e o Oceano Indico, e a Oeste com a Zâmbia e o Zimbabwe (Peterson, 2012).

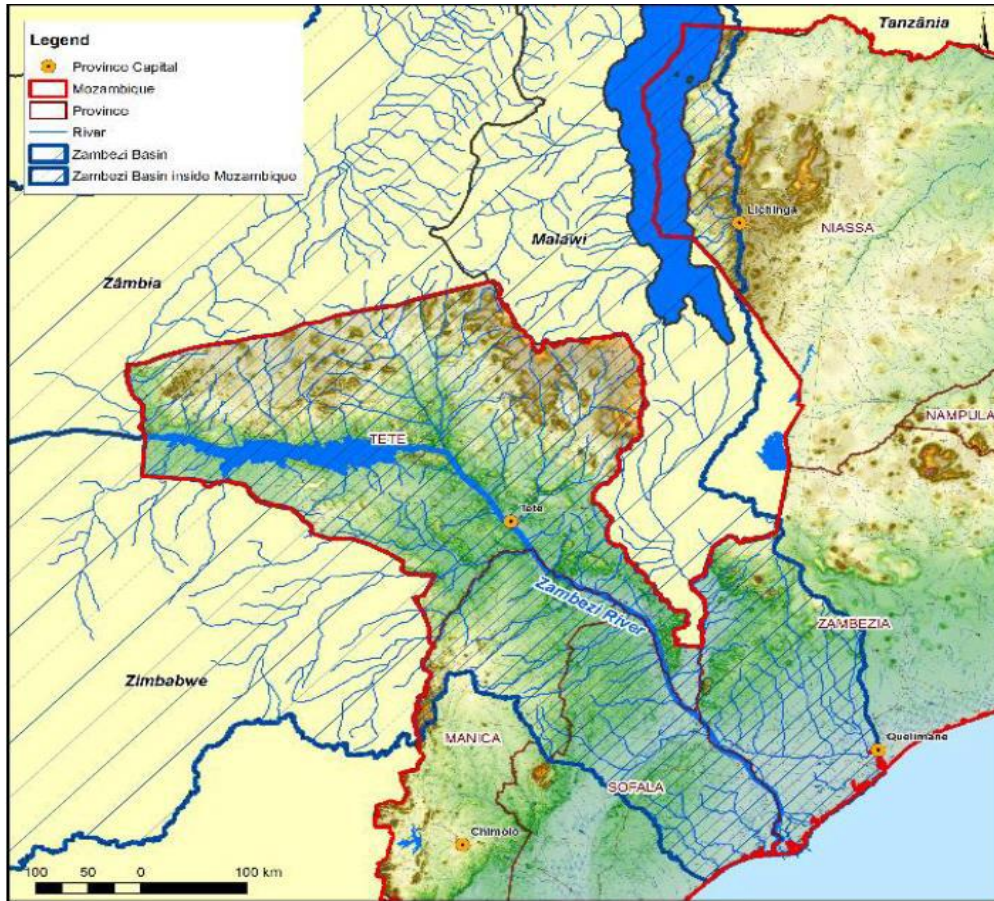


Figura 3: Localização geográfica da Bacia no espaço moçambicano.
Fonte: Mapa cedido pelo Grupo Cobra (Novembro, 2018).

2.3. Caracterização da rede de tributários e cursos principais no espaço moçambicano

Existem vários afluentes que desaguam no rio Zambeze dentro de Moçambique. Alguns quilómetros depois da fronteira Zâmbia-Moçambique, o rio Panhane percorre do Zimbabwe para a parte superior do reservatório de Cahora-Bassa (Peterson, 2012).

A jusante do reservatório, o rio Capoché-Luia se junta ao Zambeze do lado norte. O rio Revubue tem a sua confluência com o rio Zambeze em Tete e drena a área do nordeste da fronteira do Malawi. Mais a jusante, o rio Luenha vem do ocidente do Zimbabwe. O último afluente é o rio Shire, drenando quase toda a área do Malawi, incluindo o Lago Niassa (Peterson, 2012).

A Tabela 1 resume os principais afluentes moçambicanos e enumera também as respetivas áreas das Bacias.

Tabela 1: Afluentes do Zambeze em Moçambique. Fonte: Peterson (2012).

Bacia hidrográfica	Área [km ²]
Zambeze na fronteira Zâmbia-Moçambique	1004972
Rio Panhane	24404
Rio Capoché-Luia	28699
Rio Revubue	16263
Rio Shire na fronteira Malawi-Moçambique	151537

2.4. Caracterização dos regimes de retenção e distribuição dos recursos energéticos na Bacia

Os grandes aproveitamentos hidra-energéticos localizados na Bacia são a barragem e albufeira de Kariba, que tem uma capacidade de armazenamento máximo de 180km³ de água, constituindo o terceiro maior reservatório artificial do mundo e o segundo em África. Situa-se no troço do médio Zambeze que separa o Zimbabwe da Zâmbia e é gerida pela “Zambezi River Authority” (ZRA). Outro grande aproveitamento hidra-energético é a barragem e albufeira de Cahora-Bassa, também no troço terminal do médio Zambeze, que criou um reservatório que constitui o 12º maior do mundo e o quinto de África, com capacidade máxima para 63Km³ de água.

Situada na província de Tete, a barragem de Cahora-Bassa é o primeiro grande empreendimento hidra-energético construído em território moçambicano. A barragem está provida de órgãos de segurança e exploração constituídos por 8 descarregadores de meio fundo, com capacidade total de evacuação de 12800m³/s e por um descarregador de superfície automático, com capacidade de descarga máxima de cerca de 600m³/s. O caudal turbinado por grupo gerador pode atingir 452m³/s para uma queda bruta da ordem de 103.5m. A capacidade total máxima de evacuação do sistema é de 14.000 m³/s quando a totalidade das turbinas estiverem em produção (Jessen, 2008).

Por ordem de importância, seguem-se-lhes as barragens de Itezihitezi e Kafue Gorge, no rio Kafue, Lunsemfwa no rio do mesmo nome, e Mulungushi, na Zâmbia, e Manyame, Masvikadei, Sebakwe e Chivero, no Zimbabwe, todas com capacidades de armazenamento superiores a 200milhões de m³. Para

além destas, existem ainda mais 24 grandes barragens, mas de menor capacidade, das quais 23 localizadas no Zimbabwe e 1 no Malawi (Jessen, 2008).

Locais para outros grandes aproveitamentos hidráulicos foram já identificados, correspondendo alguns deles a obras que se encontram em fase de estudos preliminares ou de viabilidade ou em fase de projeto. Estes aproveitamentos a juntar aos existentes representam, nas configurações previstas, uma potência total de 12087MW, incluindo também a Central Norte de Cahora-Bassa e a potência instalada em Victoria Falls (Jessen, 2008).

Além das grandes barragens referidas, existe um numeroso conjunto de pequenas barragens. A generalidade destas represas, que raramente ultrapassam a capacidade de 100.000m³, destina-se a fins hidra-agrícolas e de abastecimento público, situando-se a esmagadora maioria nos territórios Zimbabweano e Zambiano. Na Zâmbia, embora não haja ainda um conhecimento exato do número de pequenas barragens, estima-se que a sua capacidade de represamento totalize cerca de 12mil milhões de m³, significativamente mais elevada do que no Zimbabwe, com uma capacidade de represamento estimada de cerca de 4.6 milhões de m³ (Jessen, 2008).

Particularmente, em Moçambique, para além de Cahora-Bassa e da Central Sul, já construídas, prevê-se a construção da barragem de M´Panda Uncua, estando em curso os estudos de viabilidade e a elaboração dos anteprojetos. Foi, no entanto, identificado previamente, ainda durante os estudos levados a cabo pela MFPZ (Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze) e mais tarde pelo GPZ (Gabinete do Planeamento do Zambeze), um total de 12 locais com potencial hidra-energético e hidra-agrícolas no curso principal do Zambeze e nos principais afluentes.

Periodicamente, com 1 a 3 meses de antecedência, são emitidas previsões meteorológicas para a região em que se insere a Bacia, por várias entidades, entre elas o SARCOF (Southern Africa Regional Climate Outlook Forum), o NWS-CPC (National Weather Service – Climate Prediction Center – USA) e o ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecast). Com base nestas previsões sobre a precipitação, e tendo em conta a sua distribuição na extensa Bacia, é feita uma análise preditiva em termos de percentagem de desvio relativamente à normal para cada uma das sub-bacias que descarregam direta ou indiretamente para Cahora-Bassa. Este exercício é sistemático e retomado sempre que existe atualização das previsões de precipitação. Porém, diariamente, e por vezes com maior frequência (horária),

é feito o acompanhamento e obtida a percepção empírica dos eventuais desvios que podem surgir, através da consulta de vários centros difusores de informação meteorológica de praticamente todos os centros urbanos importantes da Bacia, na Zâmbia e no Zimbábue (Jessen, 2008).

2.5. Fisiografia e Clima da Bacia no espaço Moçambicano.

Maior parte do território moçambicano localiza-se na zona intertropical, o que lhe confere um clima tropical com quatro variações:

- tropical húmido; tropical seco; tropical semiárido e clima modificado pela altitude.

Devido a esta localização, a Bacia é muito influenciada pelos sistemas de ventos dominantes, que incluem os ventos de Sueste, a massa de ar do Congo, os ventos de Nordeste e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

A precipitação é mais abundante no centro e no norte do país, com uma média anual de 1000 a 1400 mm, chegando a atingir os 2200mm nas terras altas. Por outro lado, a presença de grandes massas de água, como, lago Niassa, albufeira de Kariba e albufeira de Cahora-Bassa desempenham um papel importante na modificação das condições de clima na Bacia (Lobo, 1999).

Nas zonas próximas da costa, o clima é fortemente influenciado pelas águas quentes do canal de Moçambique, uma vez que os ventos predominantes são do quadrante Este, o nível de humidade é relativamente alto. As temperaturas mais baixas variam entre 19°C a 21°C. A taxa de evaporação é alta (1600 a 2300mm) e por via desta ocorre muita perda de água em extensas regiões planas inundadas e pântanos, especialmente a sudoeste da Bacia (Roque, 2012).

2.6. Geomorfologia da Bacia

Duas características de extrema importância: o antigo Planalto Central Africano e o mais recente sistema de falhas do Vale do Rift, dominam a geomorfologia do Zambeze. O Planalto Central Africano tem uma altitude de cerca de 1.500m e o sistema do Grande Vale do Rift da África Oriental está associado a falhas fragmentadas. Na sua forma clássica, estes vales de fratura apresentam algumas características comuns, que são claramente evidentes no Médio Zambeze. A atividade tectónica fez abater toda a base do vale ao longo de falhas marginais lineares, originando um vale de fundo plano e com 10km a 60km de largura e uma elevação geral de cerca de 500m (Macey, *et al.*, 2006).

As falhas do fundo do vale determinaram movimentos que originaram uma série de escarpas que se elevam em degraus até elevações que, na maior parte dos casos, excedem as do próprio planalto

original. Nesta zona, o rio flui através de uma dessas falhas fragmentadas e, a norte, os rios Luangwa, Lunsemfwa e Lukushashi são confinados do mesmo modo. Estas falhas fragmentadas convergem na cidade de Luangwa, local onde o Rio Luangwa se junta ao Zambeze. Este ponto marca ainda a fronteira política entre Moçambique, a Zâmbia e o Zimbabwe. As falhas fragmentadas, com as suas falhas em escarpa associadas, ocupam cerca de um terço de todo o Médio Zambeze. Principalmente devido a sombras de chuva, os vales de fratura têm uma pluviosidade baixa e errática, na ordem dos 650mm a 750mm (Afonso, *et al.*, 1998).

A geomorfologia do Baixo Zambeze é dominada pelo Grande Vale do Rift da África Oriental, estando todo o Malawi contido na depressão da falha. Em Moçambique, o Vale do Baixo Zambeze tem uma inclinação noroeste/sudeste e, a jusante de Sena, intersecta o Vale do Rift, inclinado no sentido norte/sul. O Rio Shire entra no Zambeze ao longo da falha, a norte, e o Rio Zangue entra a sul, ao longo da fossa tectónica de Urema (vale de fratura).

3. Materiais e Metodologias

3.1. Amostragem de Sedimentos e de Matérias de “Bed-Rock”

Para a obtenção das amostras de sedimentos, a fim de caracterizá-los, procedeu-se inicialmente à identificação dos locais adequados por análise distanciada em imagens de Satélite. As amostras foram coletadas em várias zonas com domínio alveolar, redes anastomosados e em terrenos alagáveis, designados localmente por “Tandos de Marromeu”, como se pode observar na figura 4.



Figura 4: Imagem Satélite representativa da localização das áreas para a recolha das amostras e análise estrutural distanciada. Fonte: Autor, Novembro de 2018.

A utilização de sedimentos de campo como meio de amostragem foi considerada prioritária, dadas as recomendações de Ferreira (1993), que descreve algumas vantagens deste material, como por exemplo:

- Apresentam boa representatividade da Bacia de drenagem, mesmo com amostras pequenas e em pequenas quantidades;
- A correlação entre a sua composição em relação ao bed-rock é boa;
- Podem ser usados para fazer a cartografia para um grande número de elementos com diferentes comportamentos.

Uma vez que a análise estrutural distanciada na região se mostrou bastante alterada por existirem zonas com domínios alveolares, cotas altas e baixas, terrenos alagáveis altos e baixos, redes anastomosadas, leques aluviais e outros domínios, o esboço preliminar da amostragem seletiva de sedimentos superficiais da área em estudo foi subdividido em 7 (Sete) Zonas, como se pode observar na figura 5.

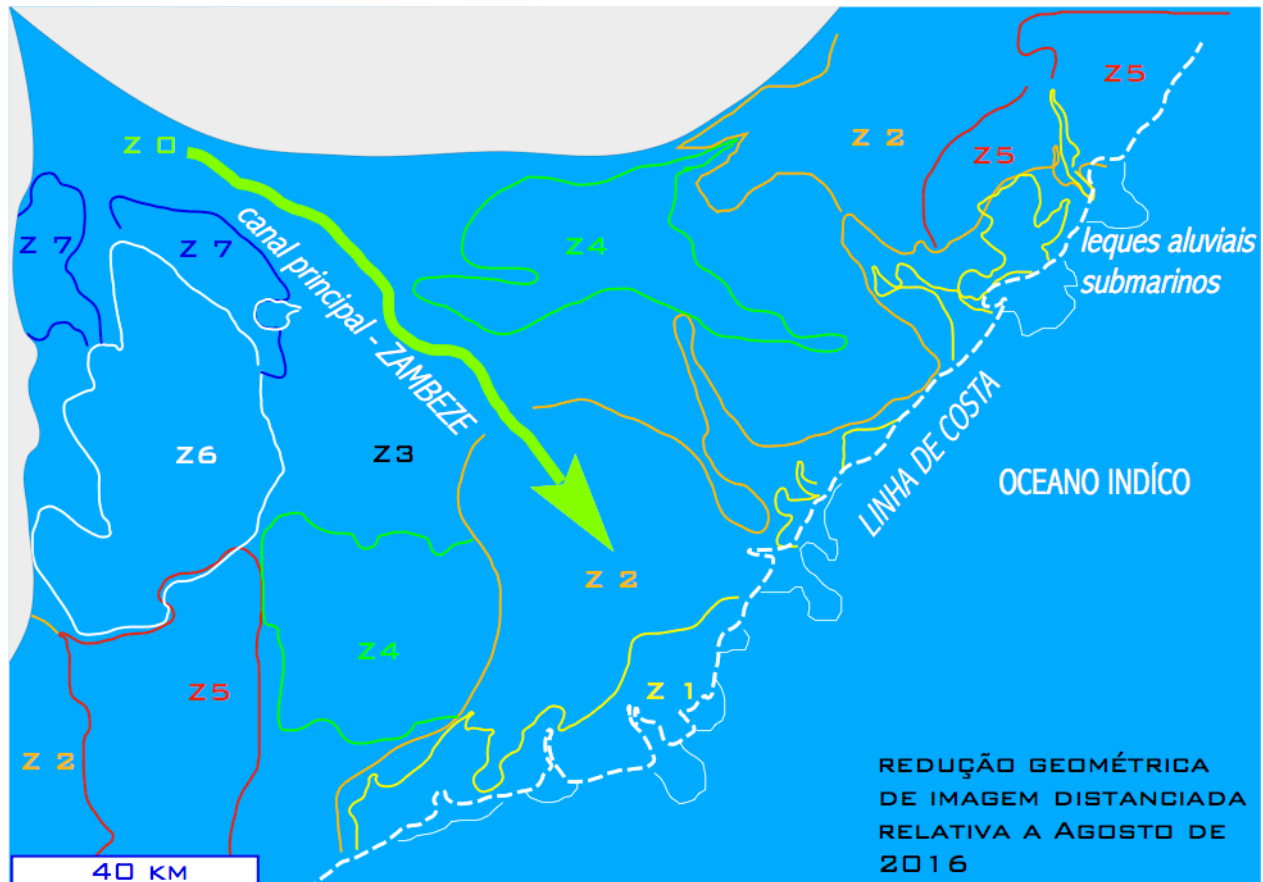


Figura 5: Imagem Satélite representativa da matriz cartográfica usada para a amostragem seletiva de sedimentos superficiais (Z - ZONAS) - Zonografia Vegetal. Fonte: Autor, Novembro de 2018.


Relativamente à litologia da região, esta se caracteriza pela presença de alguns sulfuretos que conferem o carácter ácido para alguns solos no distrito e estendendo-se também ao longo do delta. Existem também produtos secundários herdados do depósito primário, como por exemplo, as argilas.

Ainda por análise distanciada se identificou os locais adequados para a coleta dos sedimentos em cada Zona. Foram previamente preparados e enumerados sacos plásticos para cada local de amostragem. Em cada Zona, tiraram-se notas sobre as características do local da amostragem, data de coleta dos sedimentos, tipo de relevo da área envolvente, densidade e tipo de vegetação, terrenos agrícolas, existência ou não de aglomerados populacionais, existência ou não de estradas e caminhos de ferro, características

das linha de água, características dos sedimentos com relação a sua granulometria, existência ou não de material orgânico e a quantidade amostrada em campo.



Figura 6: Imagem Satélite representativa da Zona 1 usada para amostragem seletiva de sedimentos superficiais.

 Estações de colheita de amostras Fonte: Autor, Novembro de 2018.

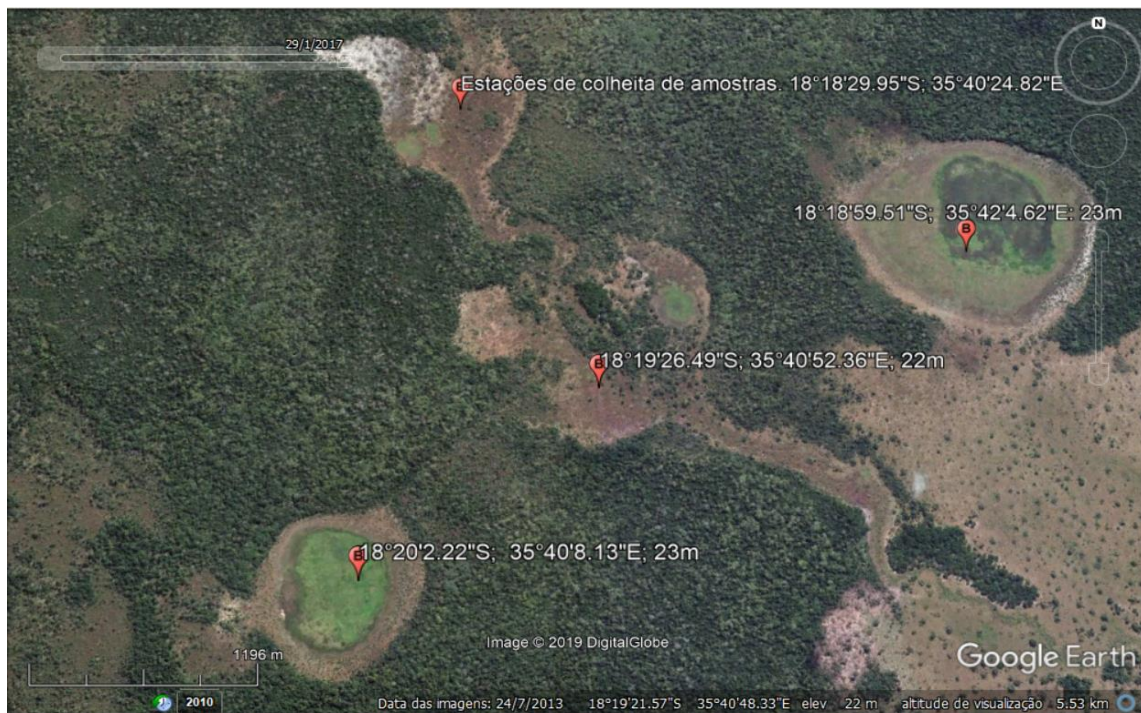


Figura 7: Imagem Satélite representativa da Zona 3 usada para amostragem seletiva de sedimentos superficiais.

 Estações de colheita de amostras Fonte: Autor, Novembro de 2018.

Quando se chegou ao local identificou-se quais seriam os pontos ideais para cada recolha de amostra de sedimentos. Com auxílio do GPS, retirou-se as coordenadas e de seguida procedeu-se então com à recolha.

A localização e distribuição dos locais de amostragem foram planeadas por forma a se colher 2 a 3 amostras em cada zona previamente identificada. No total colheu-se 17 amostras que geralmente pesavam entre 1 a 2 Kg cada. A diferença no peso das amostras deveu-se a grande variação das características dos sedimentos quanto a sua granulometria, de local para local. A quantidade de material colhido deveria ser tal que permitisse obter pelo menos 100 gramas de material fino por cada amostra no laboratório.

Foram tomadas medidas para evitar qualquer tipo de contaminação das amostras. Por este motivo as amostras já coletadas, foram colocadas em sacos plásticos previamente preparados e identificados.

A figura 8 representa um exemplo das diversas imagens identificativas e representativas dos locais onde foram retiradas as amostras em campo.



Figura 8: Imagens identificativas e representativas dos locais onde foram retiradas as amostras. a) Dispositivo de infiltração e drenagem da Zona 3. b) Preparação do material de campo para o início da recolha das amostras. c) Recolha de amostra com auxílio de trado. A junção dos sedimentos das covas 1 a 5 resultou em uma única amostra.

Fonte: Autor, Novembro de 2019.

Quando coletada a primeira amostra, os sedimentos eram colocados a parte, pois se consideravam como se estes tivessem sido utilizados para limpar o trado de algum restício de material. Posteriormente guardou-se a amostra adequada em um saco plástico previamente identificado como “P3 - Amostra da Zona 3”, para posterior análise em laboratório. Note-se que se repetiu o mesmo processo num total de quatro vezes. Tendo sido o primeiro para limpar o trado, que se deitou fora o material e as amostras seguintes consideradas válidas.



Figura 9: Imagens representativas do local onde foram armazenadas as amostras depois de coletadas. Com uso do GPS marcou-se a hora e as coordenadas do local da recolha. Fonte: Autor, Novembro de 2019.

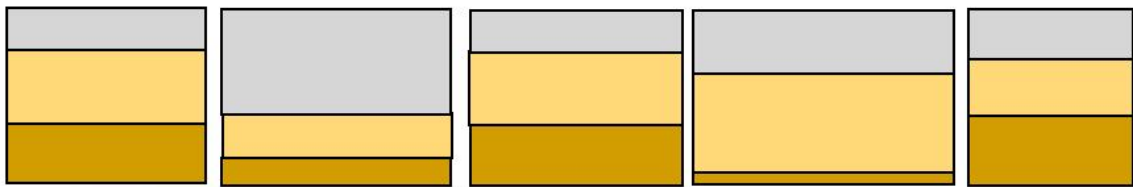
3.2. Observações feitas em campo

No campo foi possível observar algumas deposições brancas de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), resultantes da evaporação de águas ácidas da drenagem a montante. No distrito é também evidenciado a presença de enxofre livre, emitido para a atmosfera pela queima da cana-sacarina. Esta emissão resultante da queima da cana-de-açúcar, manifestasse tanto na Vila Municipal de Marromeu, como no distrito todo. Um dos pontos mais críticos sobre a queima da cana-de-açúcar são as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, principalmente o gás carbônico (CO_2), como também o monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) além da poluição do ar atmosférico pelo fumo.

O controle e avaliação do processo de queima da cana-de-açúcar no distrito merece um estudo mais detalhado, por se tratar de vastas áreas de produção em sistemas de monocultura.



Figura 10: Amostragem ao solo e análise granulométrica de sedimentos. Na imagem é evidenciado a deposição de gesso (CaSO₄·2H₂O) na superfície, resultante da evaporação de águas ácidas. Fonte: Autor, Novembro de 2019.



argila silte areia



laminação fina
c/ matéria orgânica

estratificação
cruzada fina

Figura 11: Litologias recetoras da infiltração e retenção. Fonte: Autor, Novembro de 2019.

3.3. Tratamento de amostras em sedimentologia, mineralogia e mineralometria aplicada nos laboratórios da Universidade do Minho

Após a coleta, as amostras foram preparadas antes de se submeterem a qualquer tipo de análise com vista à sua caracterização. Como não foi possível secar as amostras no campo, estas foram guardadas em sacos de plástico como referenciado anteriormente, bem fechadas e secas após a chegada ao laboratório de Mineralogia da Universidade do Minho (DCT).

A secagem das amostras foi efetuada por meio de estufa ventilada. A temperatura de secagem geralmente rondava entre os 35-40°C, pois a temperatura mais elevada poderia dar-se a perda de constituintes voláteis ou certos constituintes orgânicos.



Figura 12: Imagens representativas da preparação e secagem das amostras no Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Minho. a) Amostras em bandejas previamente identificadas. b) Amostras em estufa ventilada.

Fonte: Autor, Janeiro de 2019.

Com a secagem pretendia-se:

- Facilitar o transporte e armazenamento das amostras (mostras húmidas podem provocar a deterioração e corrosão dos recipientes onde foram guardadas com conseqüente perda de material e possível contaminação);
- Facilitar operações posteriores (a homogeneização e cominuição de amostras húmidas podem levar à perda das frações mais finas, reduzindo a eficácia destes processos e obtendo-se no final uma amostra que não é representativa da totalidade do material amostrado).

3.3.1. Homogeneização e Quartilha

Neste processo pretendia-se obter uma amostra, de menor dimensão (menor quantidade), mas que fosse representativa da amostra total original.

O processo de quartilha das amostras foi mecânico e para o efeito foi utilizado o quartilhador mecânico do laboratório. Primeiramente tarou-se a balança e de seguida pesou-se as amostras e levadas ao quartilhador. O processo foi continuado com as restantes amostras, isto é, repetindo-se o ciclo novamente até se obter uma amostra com cerca de 100g.



Figura 13: Imagens representativas do processo de quartilha. a) Uso de almofariz para destorroamento de amostras mais compactadas. b) Processo de pesagem das amostras. c) Quartilhador mecânico.

Fonte: Autor, Janeiro de 2019.

Terminado o ensaio de quartilha, foi possível obter uma amostra representativa e o respetivo testemunho, para posteriores análises. O testemunho foi armazenado, de modo a se usar utilizado em qualquer necessidade ou por alguma eventualidade que poria acontecer nas amostras já quartilhadas.



Figura 14: Imagem representativa das amostras em sacos de plástico já quartilhadas e os respetivos testemunhos.
Fonte: Autor, Janeiro de 2019.

3.3.2. Análise granulométrica de sedimentos

Os sedimentos colhidos em campo apresentavam dimensões com variabilidade muito elevada. A análise das dimensões das partículas permitiu deduzir indicações importantes, entre outras, sobre a proveniência dos sedimentos, rochas que lhes deram origem e sobre os ambientes deposicionais. A análise granulométrica dos sedimentos foi baseada na metodologia proposta por Alveirinho Dias (2004), que consistiu na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras representativas dos sedimentos e no tratamento estatístico dessa informação. O Autor propõe a determinação das dimensões das partículas individuais e sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada crivo.

O método utilizado foi de peneiramento. Os crivos utilizados foram da série ASTM (série preconizada pelo American Society for Testing Material). Estes crivos estão concebidos para poderem ser encaixados uns nos outros de modo a formarem uma coluna de crivos. Na parte superior desta coluna existe uma tampa para evitar perdas de material durante a peneiração, e na base se encaixa um crivo de

fundo, destinado a receber as partículas menores que atravessaram todas as colunas sem serem retidos em nenhum dos crivos.

A coluna de crivos foi de seguida agitada por um aparelho vibratório, designado por "agitador de crivos" o qual imprime aos crivos movimentos de elevada frequência que viabilizam a peneiração das partículas. O agitador de crivos imprimiu simultaneamente movimentos verticais e horizontais. O tempo de peneiração foi de 10 minutos para cada amostra. Antes de se efetuar nova peneiração, os crivos foram limpos cuidadosamente com auxílio de uma escova de Aço. A finalidade desta operação era de retirar das redes quaisquer partículas que pudessem estar presas e que poderiam contaminar a nova amostra a ser analisada.

Como se pretendia obter uma fração granulométrica compatível com os tratamentos subsequentes, os pesos retidos em cada crivo da análise granulométrica, foram anotados em uma ficha previamente preparada para o efeito. De acordo a norma, os resultados foram expressos em gramas (g).

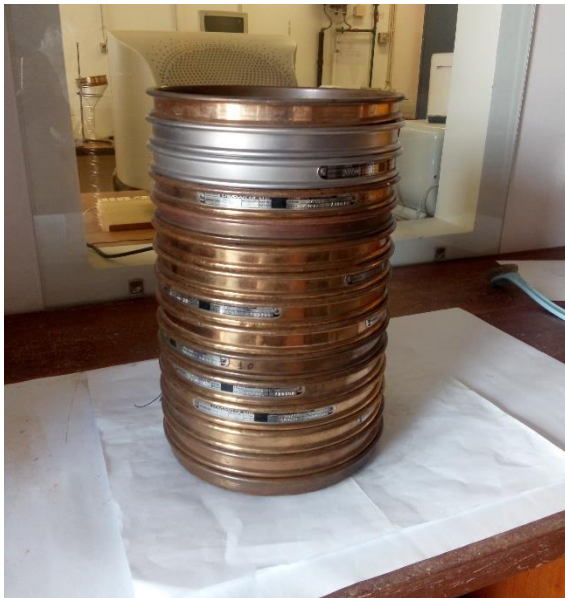


Figura 15: Conjunto de crivos e o agitador de crivos utilizado para a análise granulométrica dos sedimentos. Fonte: Autor, Janeiro de 2019.

De acordo com Alveirinho Dias (2004) a granulometria de uma partícula de forma irregular expressa-se melhor pelo seu volume, já que o volume é independente da forma. Tendo em conta o seu tamanho, as partículas foram classificadas em frações granulométricas, segundo as designações apresentadas na Tabela 2 a baixo.

Tabela 2 – Designação das frações granulométricas. Fonte: Alveirinho Dias (2004)

Designação	Ø
Blocos	> 20 cm
Calhaus	20 - 10 cm
Pedras	10 - 5 cm
Pedras médias	5 - 2 cm
Cascalho	2 cm - 5 mm
Saibro	5 - 2 mm
Areia grossa	2 - 0,2 mm
Areia fina	0,2 - 0,02 mm
Limo	0,02 - 0,002 mm
Argila	< 0,002 mm

Observa-se na tabela 2 que em quase todas as escalas granulométricas o último termo, ou seja, o das partículas mais finas, recebeu o nome de “argila ou fração argilosa” no sentido granulométrico (< 2 μ) e não no sentido mineralógico. Se no primeiro caso a definição se baseou no diâmetro das partículas, no segundo caso o termo “argila” designa um grupo de silicatos de alumínio hidratados (caulinite, ilite, montmorilonite, etc.), que se apresentam geralmente sob a forma de cristais de reduzidas dimensões. Por estes motivos, para as partículas mais finas (< 2 μ), utilizou-se o **SediGraph** para determinar a massa de certas frações granulométricas presentes em suspensão.

3.3.3. Análise Microgranulométrica de Sedimentos (SediGraph)

O objetivo deste procedimento era de reduzir a granulometria das partículas de modo a se obter uma amostra pulverizada (60-70 μ m). Este processo realizou-se sobre a fração <0,062mm, destinada a análise no SediGraph que tem já uma aplicação relativamente generalizada no estudo de sedimentos, sendo mesmo recomendada a sua adoção pelo U.S. Geological Survey como um dos métodos padrão para a análise microgranulométrica de sedimentos (Buchan, 1993).

O SediGraph foi baseado na sedimentação gravitacional de partículas, segundo as recomendações propostas por Lima (2001).



Figura 16: SediGraph e seus acessórios do Laboratório de Sedimentologia e Lâminas Delgadas da Universidade do Minho.
Fonte: Autor, Abril de 2019.

Na primeira etapa da análise, o SediGraph mediu a transmitância de raios X através da suspensão da amostra em movimento, de modo a não permitir nenhuma sedimentação. Essa transmitância foi considerada como indicadora da mistura homogênea de todas as partículas, ou seja, ela está relacionada à concentração total de partículas presentes na amostra. Em seguida, o equipamento interrompeu o movimento da suspensão da amostra permitindo que a sedimentação começasse a ocorrer. A transmitância de raios X é, então, medida novamente nas diferentes posições (medidas em relação ao topo da mesma) e nos tempos pré-selecionados com base na lei de Stokes (medidos a partir do momento em que a circulação da suspensão de amostra foi interrompida). Dessa forma, para cada diâmetro desejado, o SediGraph forneceu uma relação que, multiplicada por 100, resultou na percentagem de partículas com diâmetro desejado.

A massa da amostra necessária para se efetuar a análise foi de 5 gramas do material de cada Zona. Sua determinação foi feita pela comparação da transmitância de raios X da suspensão da primeira

etapa da análise com a transmitância de raios X do líquido utilizado, denominada de linha base. Todo o sistema foi controlado por computador, sendo o processo de análise muito mais rápido. O *software* fez os cálculos das velocidades terminais de sedimentação para os sedimentos em estudo.

Podem-se apontar diversas vantagens do SediGraph relativamente ao método tradicional da análise mecânica como por exemplo:

- Redução dos erros devidos ao operador;
- Maior rapidez (um conjunto de 6-7 amostras são analisadas em cerca de 2 h (15-20 min/amostra));
- Obtenção de curvas de distribuição granulométricas com menor erro e mais precisão.

3.3.4. Análise mineralométrica de sedimentos.

A análise mineralométrica dos sedimentos foi baseada segundo os procedimentos descritos por Alveirinho Dias (2004). Segundo este Autor, a presença de determinadas espécies no sedimento (minerais que ocorrem, em geral, em percentagens bastante pequenas) podem ser utilizadas como traçador da origem desse sedimento e, conseqüentemente, como indicador da dinâmica sedimentar. Para os concentrar, com vista ao estudo da sua abundância relativa, nas técnicas laboratoriais recorreu-se à utilização de "*líquidos densos*". O líquido denso utilizado foi o bromofórmio ($d=2,89$).

Outros líquidos que podem ser utilizados nestas análises são o tetrabromometano ($d=2,96$), o diiodometano ($d=3,32$), e a solução de Clerici ($d=4,24$). Estes líquidos são altamente tóxicos, o que requer cuidados no seu manuseamento.

Segundo Alveirinho Dias (2004) a preparação das amostras para análise dos minerais pesados é, em geral, análoga à que se adota para a peneiração das areias. Normalmente utilizam-se as frações granulométricas 2Φ a 3Φ (0,250 a 0,125mm) e 3Φ a 4Φ (0,125 a 0,063mm), embora em casos específicos se utilizem outras frações. A separação entre "minerais pesados" e "minerais leves" pode ser efetuada através de várias técnicas (centrifugação, funis, etc.) recorrendo a líquidos densos.

Neste trabalho as frações granulométricas utilizadas para a separação dos líquidos densos se encontravam no]1; 0,5], o que significa que as frações utilizadas foram 0,707 e 0,5. Por cada amostra foi necessário aproximadamente 20g (ver Figura 17) de sedimentos em função da Zona em estudo.



Figura 17: Imagens representativas de amostras preparadas para separação dos líquidos densos.
Fonte: Autor, Abril de 2019.

Segundo Alveirinho (2004), a separação com recurso a líquidos densos (separação gravítica) é a técnica mais utilizada. Nesta técnica, após a separação, os minerais devem ser limpos dos resíduos dos líquidos densos, para o que se utilizam diluentes orgânicos, como o tetracloreto de carbono, o benzeno, o álcool etílico e a acetona. Por vezes utilizam-se ultra-sons antes e/ou depois da separação para remover impurezas que possam estar aderentes à superfície dos grãos. Se o "resíduo pesado" é grande (isto é, se há muitos minerais pesados) torna-se necessário quarterar a amostra resultante da separação, sendo conveniente utilizar para o efeito um micro-repartidor (*micro-splitter*). Para observação microscópica, e para ficar com a amostragem permanentemente disponível para observação (análise ou comparação), os minerais pesados devem ser montados numa lâmina utilizando uma resina birrefringente, como o bálsamo do Canadá (n=1,54). A quantidade de grãos separados para observação microscópica deve ser suficiente para preencher a área útil da lâmina que vai ser observada ao microscópio petrográfico, sem haver sobreposição de grãos.

3.4. Análise geométrica da zona dos alvéolos

3.4.1. Diagnóstico da retenção alveolar (alvéolo com infiltração prevalecente)

De acordo com Herlander (2006) o volume de armazenamento de um alvéolo pode ser calculado através de expressões geométricas expressas em função da profundidade. Pode, por conseguinte, ser calculado através de cartas topográficas em formato digital introduzidas em um software próprio (QGIS, ArcGIS, Autocad, etc), ou manualmente através dos seguintes métodos:

- 1) Método da média das áreas (Herlander, 2006)

$$V_{1,2} = \frac{A_1 \times A_2}{2} \times d$$

1

Onde:

$V_{1,2}$ [m³]: volume de armazenamento entre a elevação 1 e 2;

A_1 [m²]: área da superfície da elevação 1;

A_2 [m²]: área da superfície da elevação 2;

d [m]: distância na vertical medida entre os dois planos.

- 2) Método da pirâmide (Gorete, 2006)

$$V = \frac{1}{6} \times \frac{(m + n) \times (c + d)^2}{c} \times h^3$$

2

Onde:

V [m³]: volume de armazenamento;

n , m e d []: fatores de declive dos taludes (razão entre a horizontal e a vertical);

c []: fatores de declive da linha de água (razão entre a horizontal e a vertical);

h [m]: profundidade da bacia.

- 3) Fórmula da secção prismática (Martins, 2000)

$$V = L_b \times b \times h + (L_b + b) \times z \times h^2 + 2 \times z^2 \times h^3$$

3

Onde:

$V [m^3]$: volume de armazenamento;

$L_b [m]$: comprimento da base da bacia;

$b [m]$: largura da base da bacia;

$h [m]$: profundidade da bacia;

$z []$: fatores de declive dos taludes (razão entre a horizontal e a vertical).

Neste trabalho o volume de armazenamento foi calculado com base na carta geológica de Marromeu folhas:1835;1836, modificada da cobertura 1:250.000 da Direção Nacional de Geologia e Minas de Moçambique. Para estimar o volume a ser armazenado em cada dispositivo, foi necessário o agrupamento de vários dados, que dizem respeito às características físicas e hidrológicas da área de influência, às características físicas dos próprios dispositivos e às características dos dispositivos de saída de caudal. Fica aqui apresentado o diagnóstico de retenção da Zona 3 com domínio alveolar de infiltração prevalente e posteriormente a representação da rede anastomosada poligonal.



Figura 18: Domínio alveolar da Zona 3 onde se ensaia uma previsão de armazenamento dos dispositivos.

Fonte: Autor (Abril de 2019).

Observa-se na figura 18 que os dispositivos apresentam diferenças significativas entre os segmentos de retas sucessivas e os segmentos de retas sucessivas não-colineares. Sucessivas porque sempre que um segmento termina, um outro se inicia no fim deste último dando continuidade a linha de escoamento de água. Não-colinear porque estes outros segmentos que se iniciam sempre no final dos anteriores seguem direções diferentes do anterior.

A altimetria de escoamento nesta secção tem início na cota 65m, originando um escoamento superficial e seguindo as linhas em função das elevações circundantes ao curso de água até a cota 32m, conforme a figura 19. De acordo com as alturas de água a montante e as características geométricas das passagens hidráulicas, estes dispositivos são entendidos como sendo atenuadores de caudais de ponta de cheia na propagação do escoamento ao longo da rede de drenagem.



Figura 19: Principais linhas atenuadoras de caudais de ponta de cheia da Zona 3. Polígonos verdes e dispositivos sombreados indicam locais com infiltração e emergência. Fonte: Autor (Abril de 2019).

Nem toda água participa no processo de escoamento durante as cheias/inundações. Segundo Lencastre *et al.*, (2003), as propriedades hidrodinâmicas do solo variam espacialmente em função do relevo, apresentando-se assim áreas de convergência e divergência de fluxos e conseqüentemente a determinação de pontos de maior ou menor capacidade de infiltração. Partes baixas das concavidades, além da convergência, pode ocorrer a presença de fluxos subsuperficiais que contribuem para a diminuição da capacidade de infiltração de água, caracterizando estes locais como áreas de descarga.

Observa-se na figura 20 que a forma dos dispositivos juntamente com a sua declividade, regulam a velocidade de escoamento superficial das águas pluviais e, portanto, controlando a quantidade de água que se infiltra nos perfis e nos principais alvéolos com infiltração prevalectente. As maiores infiltrações são observadas entre as cotas 65m, 74m, 61m e 62m respetivamente.

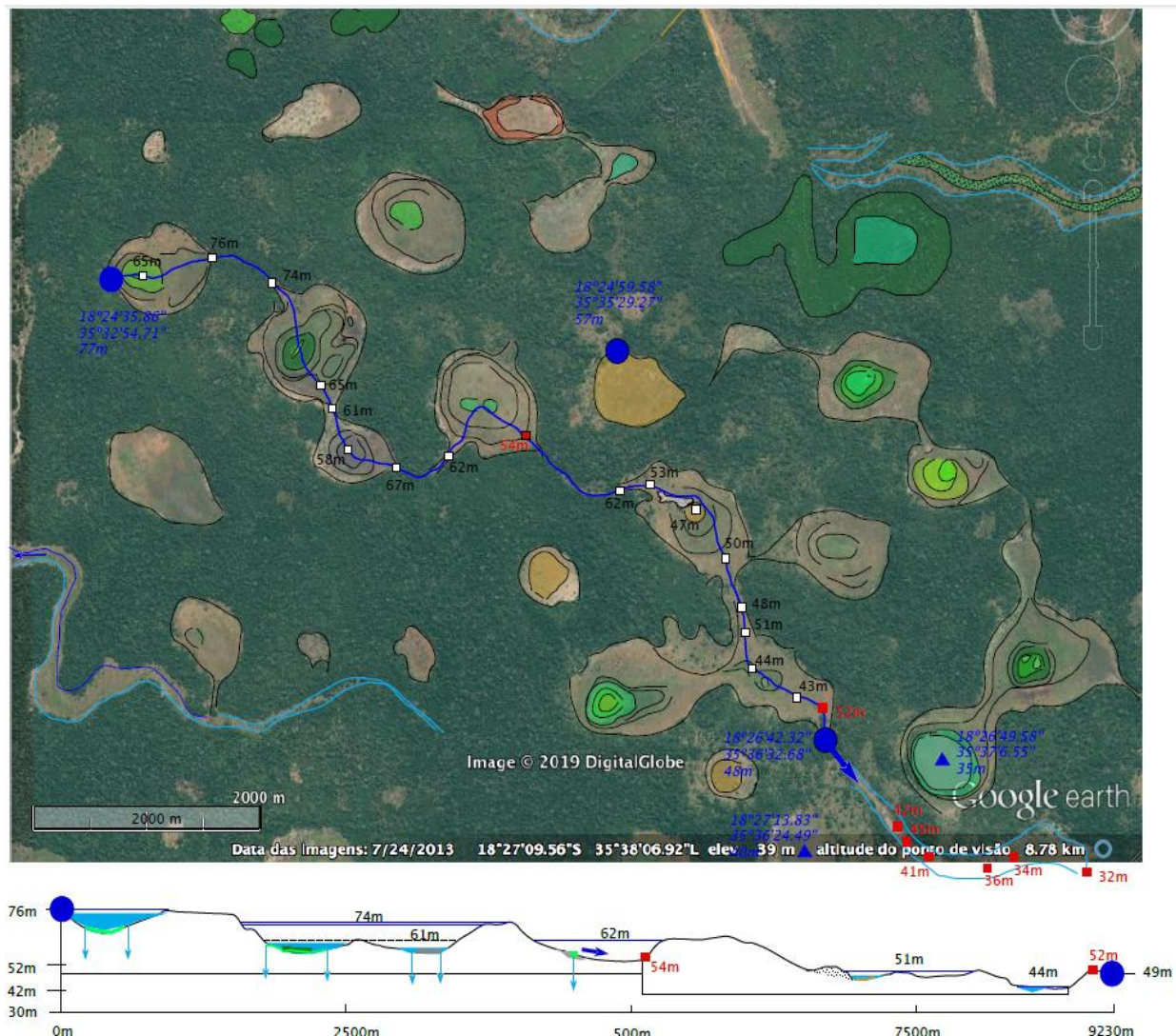


Imagem 20: Locais de maior infiltração nos dispositivos. Polígonos verdes e dispositivos sombreados indicam locais com infiltração e emergência. Fonte: Autor (Abril de 2019).

Estes dispositivos apresentaram-se como os mais suscetíveis à infiltração, produzindo escoamento superficial apenas quando a capacidade de infiltração do solo é superada pela intensidade da precipitação e descarga das principais Barragens à montante, enquanto os restantes dispositivos mais íngremes e com dimensões reduzidas tendem, por força da inclinação, a formar mais rapidamente o fluxo superficial, ou seja, o runoff.

3.4.2. Diagnóstico da retenção alveolar (domínio da rede anastomosada)

3.4.2.1. Diagnóstico de armazenamento da Zona 4 com domínio da rede anastomosada.

Segundo Bichança (2006), os canais anastomosados são de baixo gradiente e potência, formados a partir de sedimentos coesivos ou areia estabilizada pela vegetação. Em Marromeu estes canais são formados em condições especiais e estão fortemente relacionadas com a carga sedimentar do leito dos rios. Quando o rio transporta material mais grosseiro em grandes quantidades e não tem potência suficiente para conduzi-los até o seu nível de base final, deposita-os no próprio leito. O resultado natural que se forma, pela rugosidade e saliências, fez com que o rio se ramifique em múltiplos canais, pequenos/rasos, e por vezes desordenados devido às constantes migrações entre as ilhotas.



Figura 21: Rede anastomosada poligonal da Zona 4 - Voo rasante em Marromeu. Fonte: Autor (Abril de 2019).

4. Resultados e Discussão

Massa medida por cada amostra.

Tabela 3 – Massa medida por cada uma das amostras com relação as suas Zonas em estudo. Fonte Autor (2019).

Zona 0:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	86,42 ± 0,1
Amostra 2	107,94 ± 0,1

Zona1:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	114,7 ± 0,1
Amostra 2	120,7 ± 0,1

Zona 2:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	120,04 ± 0,1
Amostra 2	104,7 ± 0,1

Zona 3:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	119,45 ± 0,1
Amostra 2	119,24 ± 0,1

Zona 4:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	102,52 ± 0,1
Amostra 2	93,79 ± 0,1

Zona 5:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	104,29 ± 0,1
Amostra 2	106,73 ± 0,1

Zona 6:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	107,81 ± 0,1
Amostra 2	106,14 ± 0,1

Zona 7:

	Massa da Amostra (g)
Amostra 1	115,94 ± 0,1
Amostra 2	106,07 ± 0,1
Amostra 3	108,54 ± 0,1

Uma vez que a análise granulométrica dos sedimentos compreendeu a caracterização, por meio da determinação do tamanho de partículas e na frequência com que estes ocorrem nas Zonas em estudo, os resultados, de um modo geral apresentaram-se diferentes de Zona para Zona. Por este motivo, serão aqui apresentados os resultados das Zona 0 e 1 respectivamente e os restantes resultados poderão ser observados nos anexos deste trabalho. Importa referenciar que foram analisadas 17 amostras que

corresponderam a 17 curvas granulométricas e as respectivas tabelas de distribuição. Os resultados da análise microgranulométrica podem também ser observados nos anexos deste trabalho.

Tabela 4: resultados da análise das dimensões de sedimentos. Processo dos Crivos $\sqrt{2}$ Zona 0 (Amostra 1).

Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,15	0,173570933	0,173570933	99,82642907
1,41	0,11	0,127285351	0,300856283	99,69914372
1	0,27	0,312427679	0,613283962	99,38671604
0,707	0,54	0,624855358	1,23813932	98,76186068
0,5	3,06	3,540847026	4,778986346	95,22101365
0,35	12,14	14,04767415	18,8266605	81,1733395
0,25	27,85	32,2263365	51,05299699	48,94700301
0,177	25,79	29,84262902	80,89562601	19,10437399
0,125	10,75	12,43925017	93,33487619	6,665123814
0,088	4,07	4,709557973	98,04443416	1,955565841
0,062	1,22	1,411710252	99,45614441	0,54385558
<0,062	0,47	0,543855589	100	0
Total	86,42			

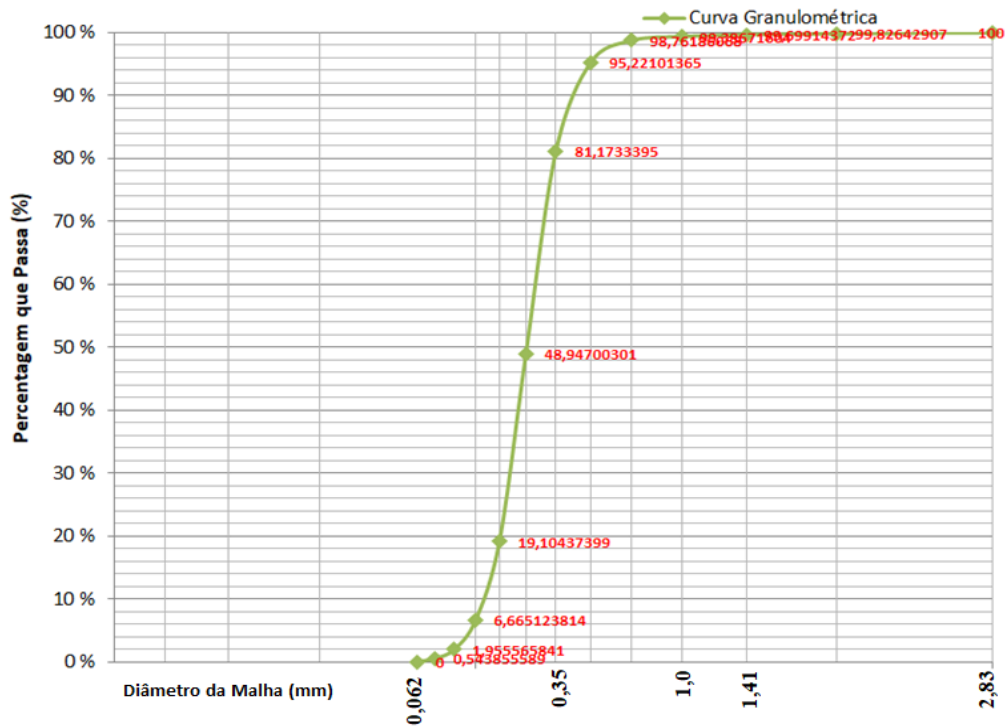


Gráfico 1 – Curva granulométrica da Zona 0, amostra 1 (Autor, 2019).

Tabela 5: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Processo dos Crivos $\sqrt{2}$ Zona 1 (Amostra 1)

Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,15	0,130775937	0,130775937	99,86922406
1,41	0,22	0,191804708	0,322580645	99,67741935
1	0,42	0,366172624	0,688753269	99,31124673
0,707	1,04	0,906713165	1,595466434	98,40453357
0,5	4,45	3,879686138	5,475152572	94,52484743
0,35	7,74	6,748038361	12,22319093	87,77680907
0,25	43,69	38,09067132	50,31386225	49,68613775
0,177	41,24	35,95466434	86,26852659	13,73147341
0,125	11,38	9,921534438	96,19006103	3,809938971
0,088	3,31	2,885789015	99,07585004	0,924149956
0,062	0,83	0,723626853	99,7994769	0,200523104
<0,062	0,23	0,200523104	100	0
Total	114,7			

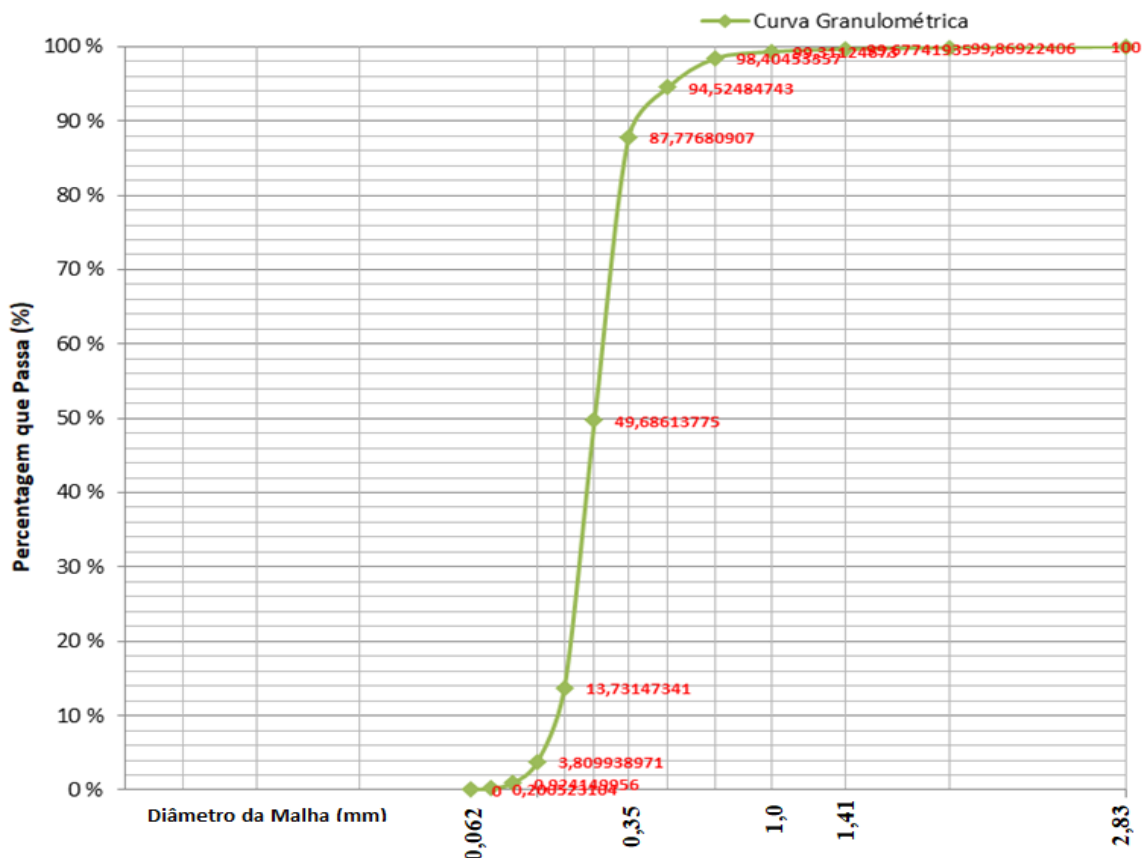


Gráfico 2 – Curva granulométrica da Zona 1, amostra 1 (Autor, 2019).

Estas curvas aproximam-se de uma recta ou mostram predominância da convexidade ascendente (Fácies logarítmica a fácies hiperbólica), indicando:

- longa evolução por transporte.
- partículas depositadas por perda de capacidade de carga da corrente em cheia.
- fácies de decantação depositadas longe da influência continental direta.

Em conjugação com a análise distanciada de imagens de satélite foi possível estabelecer a síntese zonográfica geral do Baixo Zambeze que consta da figura 22, a qual se baseia essencialmente na distribuição dos dispositivos de retenção e drenagem.

Entende-se como dispositivo, individual e unitário, de retenção e escoamento, a expressão geológica de uma forma superficial que decorre do desenvolvimento de mecanismos de evolução, condicionados por estruturas de deposição e sedimentação, tipos litológicos à superfície e em profundidade e se manifesta em testemunhos e indicadores impressionantes de retenções e escorrências.

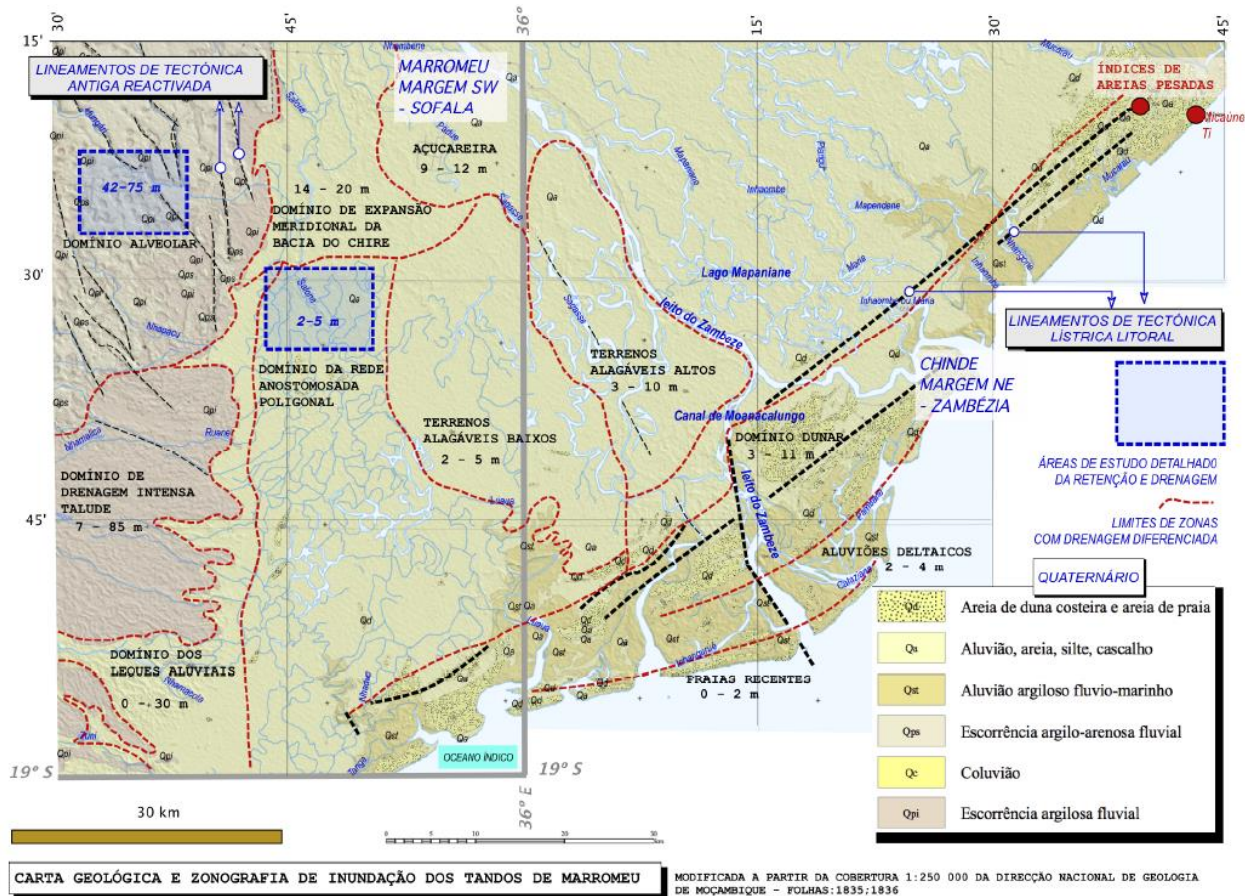


Figura 22 - Zonografia de distribuição dos domínios de drenagem diferenciada na margem esquerda do baixo Zambeze com a localização das áreas sujeitas a um estudo mais detalhado.

A geometria dos dispositivos e os modelos conceituais do seu funcionamento individual, permite compreender a influência sobre o alastramento de planos de água aos diferentes domínios geográficos do Complexo.

Os dispositivos principais individualizáveis são os alvéolos subcirculares (figuras 23, 24) e a organização anastomosada poligonal da rede de canais pouco profundos (fig. 25), com influência decisiva sobre a escorrência e inundação em particular nas terras alagáveis adjacentes aos canais principais, lezírias e várzeas (“tandos”).

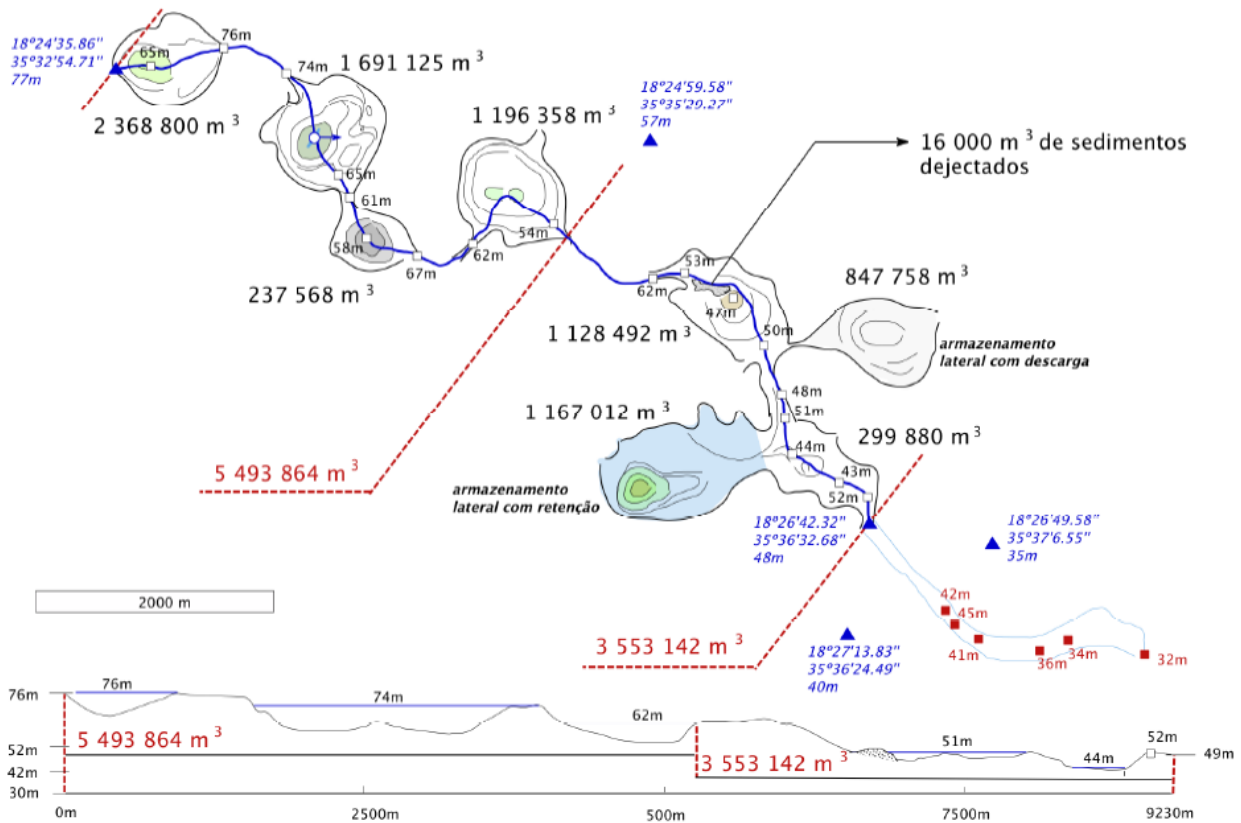


Figura 23 - Exemplo da compartimentação e funcionalidade de volumes de armazenamento de água até às cotas de descarga de dispositivos alveolares individuais e conjuntos de dispositivos, em domínios alveolares (ver fig. 22 e 23).

Na figura 23, atrás, nota-se que os alvéolos se diferenciam entre dois tipos essenciais em termos da quantidade e qualidade da água retida e variações destes parâmetros no tempo:

- *alvéolos com nascente central* em que a disponibilidade de água representa estados de equilíbrio sazonais face a oscilações de pluviosidade e infiltração compensados por emergências a partir de águas freáticas (fig. 24) - mantêm alguma água durante todo o ano;

- *alvéolos com infiltração prevaemente*, muito sujeitos à sazonalidade dos valores da pluviosidade, à evaporação e evapotranspiração e à infiltração - podem num estio extremo mostrar uma zona central argílica dessecada (fig. 24).

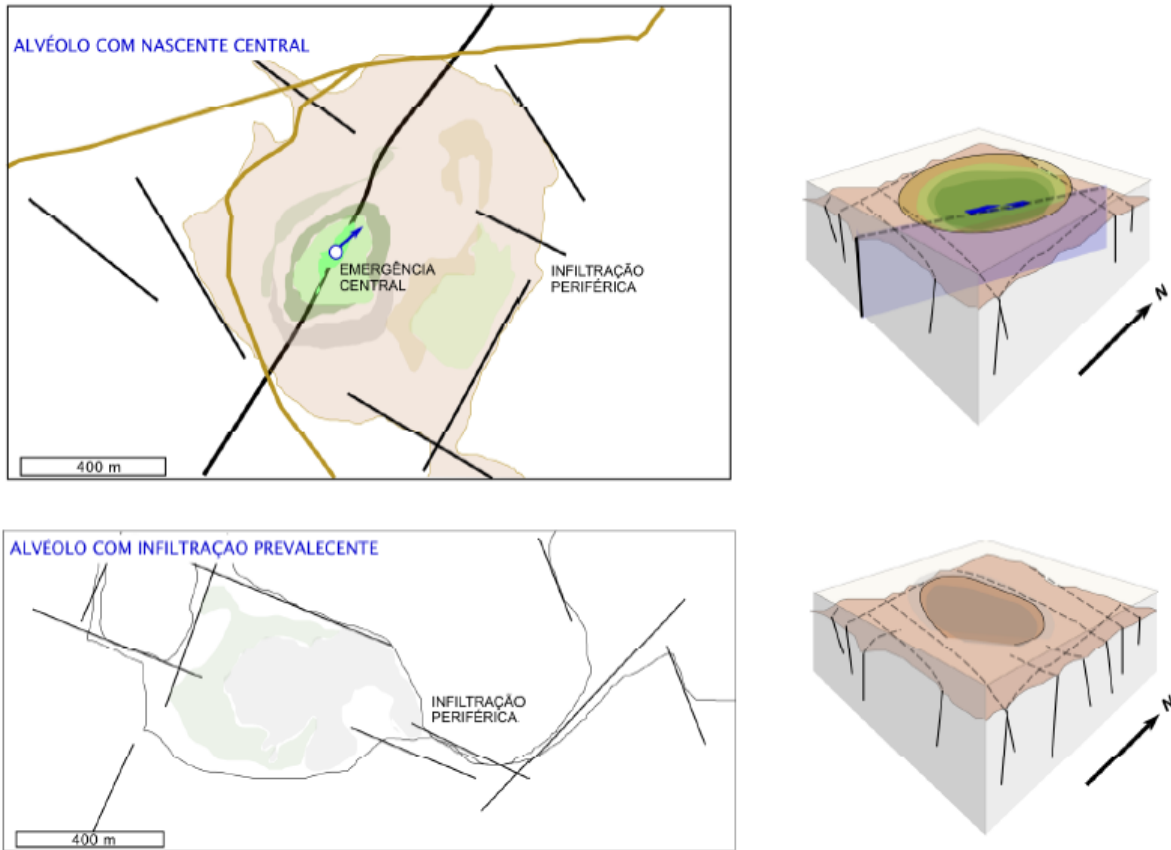


Figura 24 - Tipos distintos e extremos de alvéolos diferenciados pela estrutura subjacente e pelo escoamento subterrâneo no seu volume de influência - representações em planta e em bloco diagrama conceptual de unidades individualizadas.

Na generalidade dos alvéolos o que se observa são situações intermédias entre os extremos geométricos e conceptuais da figura 24. Em qualquer caso a função reguladora do alvéolo em regime de cheia, e a atenuação de inundações em episódios extremos, decorre da sua capacidade de armazenamento e, após enchimento, decorre do vazamento e tributação regularizada para o sistema de drenagem situado a jusante.

Constata-se uma situação diferente no caso do regime de escoamento superficial dos domínios com drenagem em rede anastomosada poligonal (fig. 25). Neste caso o enchimento de polígonos rebaixados ocorre por transbordo a partir dos canais limite dos polígonos, mas também aqui se verifica

uma tendência de atenuação dos débitos para os canais principais alimentados a partir da rede anastomosada (fig. 26).

Em todos os casos a análise granulométrica e morfooscópica dos sedimentos em vários sectores da figura 22 mostrou que predominam sedimentos finos rolados alóctones, acumulados em depósitos bastante permissivos face à infiltração (areno-argilosos a siltíticos) e intercalados com alguns horizontes argílicos de espessuras variáveis. A diferenciação de dispositivos observada resulta de combinações específicas entre as condicionantes estruturais do soco cristalino e a dinâmica sedimentar e escoamento superficial:

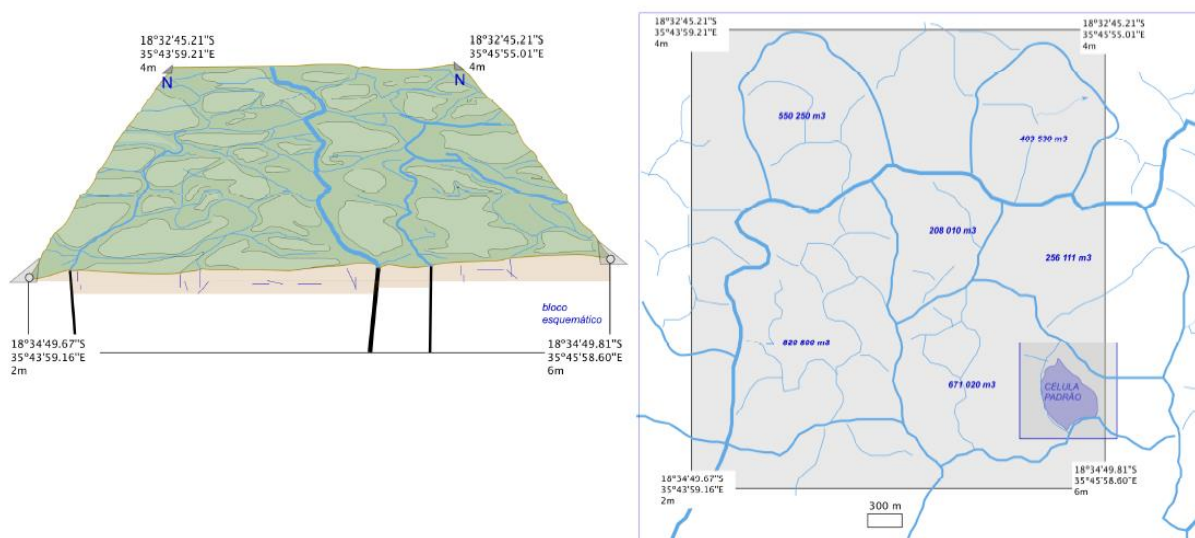


Figura 25 - Tipo de drenagem anastomosada poligonal (reconstituição 3D a partir de imagem de satélite e planta de análise geométrica) veiculada por canais definidos à superfície e em subsuperfície, por sua vez e ocasionalmente, controlados por acidentes tectónicos antigos reativados (ver. fig 22).

- rede de estruturas penetrativas e acidentes tectónicos de tipologia variada no soco cristalino;
- tectónica lístrica recente, marginal e litoral e reativação de acidentes antigos;
- escoamentos e variações de trajeto dos canais pré-deltaicos divergentes;
- variação de condições de sedimentação entre talude com leques a W e vindas diferenciadas de cargas sedimentares, prevalentes no decurso do quaternário, face a diferentes condições de acolhimento pelas terras baixas.

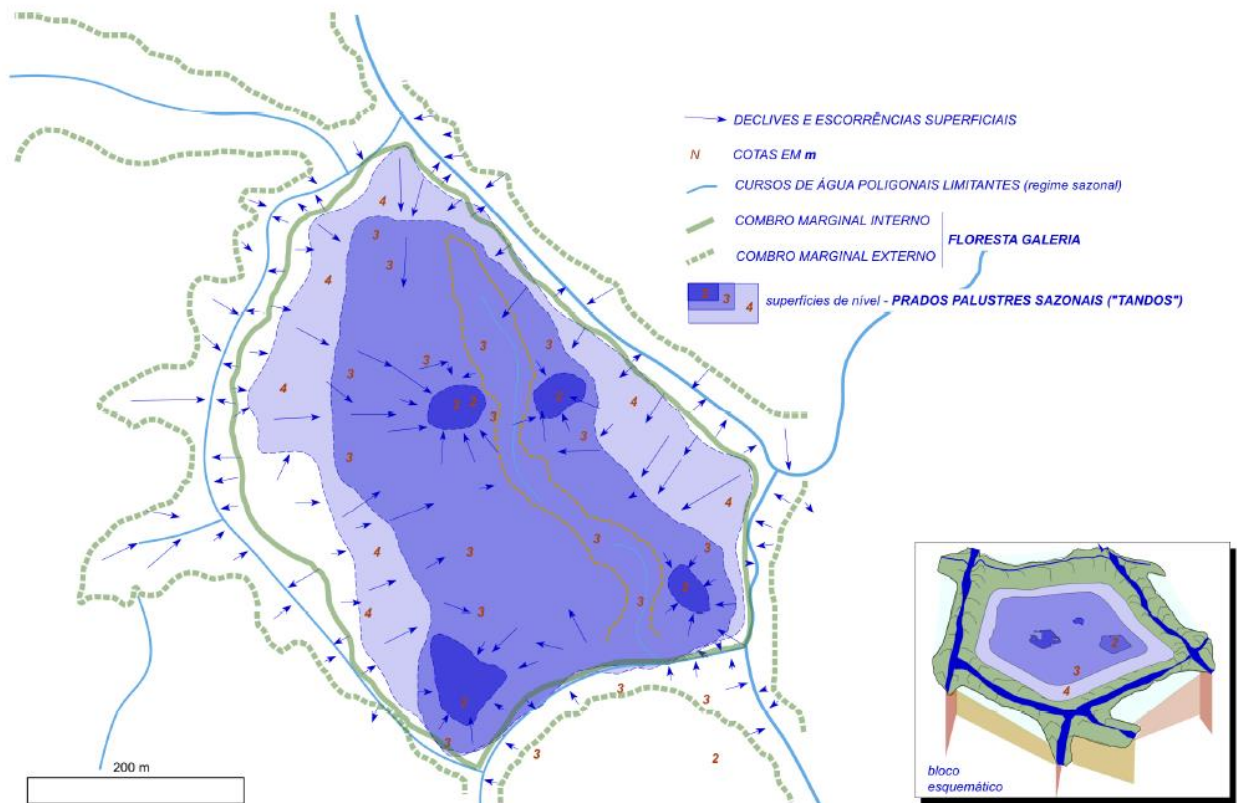


Figura 26 - Representações em planta e em bloco diagrama conceptual de uma unidade poligonal individualizada (célula padrão assinalada na figura 25) com indicação de declives e escorrências superficiais associadas.

Ultimamente este panorama começa a ser influenciado pela utilização antrópica da bacia baixa. Num nível de organização mais abrangente, os elementos de análise geomorfológica e geológica, combinados com os registos de cheias/inundações, facilitam a definição de um quadro de inter-relações entre condições naturais de infiltração ou drenagem superficial e a intervenção antrópica na Bacia.

Os fulcros distantes de desequilíbrios de escoamento são a barragem de Cahora-Bassa a montante, e a interferência com o sistema fluvial do rio Chire. Como fulcro próximo evidencia-se a monocultura de cana de açúcar e a regularização da drenagem na área cultivada, que se refletem, não só em alterações imediatas na paisagem e nos ecossistemas, mas também na dispersão dos dispositivos descritos e consequentemente, na variação dos ritmos temporais e aumento dos riscos de inundação, com influência na zonografia do alagamento, na alteração da dinâmica fluvial e na qualidade da água.

5. Conclusões

O estudo presente, baseado em análise estrutural distanciada, fotointerpretação, estudo de sedimentos Quaternários e análise do registo de cheias, dedica uma maior atenção ao Distrito de Marromeu e à geologia que sustenta os ecossistemas na margem direita do rio, onde se situa a zonografia mais complexa: com a maior diversidade de formas geológicas, tipos litológicos estruturas de deposição e de sedimentação e testemunhos e indicadores impressionantes de retenções e escorrências de superfície no sistema fluvial Zambeze. Surge assim o conceito de Complexo de Marromeu tendo sido possível compartimentar os terrenos ribeirinhos usando a distribuição de dispositivos de infiltração e drenagem que tem influência decisiva na manutenção de caudais e funcionamento dos leitos vivos do escoamento.

Numa estimativa grosseira, os dispositivos alveolares estudados, prevalecem no domínio de cotas 75 a 42m, correspondendo-lhe um volume de armazenamento global de água da ordem de $800000\text{m}^3/\text{km}^2$. Os dispositivos poligonais prevalecem a cotas mais baixas, 5 a 2m, e são responsáveis por um volume de armazenamento global, em polígonos rebaixados, da ordem de $400000\text{m}^3/\text{km}^2$.

As áreas de risco identificadas estão mais próximas dos canais principais (terrenos alagáveis na figura 22). Assim, é de realçar a necessidade de conservação dos domínios alveolares e poligonais pelos serviços prestados à regularização dos regimes de cheia.

De acordo com os resultados obtidos e avaliando os registos de volumes de escoamentos e descargas da Barragem de Cahora-Bassa, classificados como dos mais altos 1958 ($8204\text{ m}^3/\text{s}$), 1962 ($5425\text{ m}^3/\text{s}$), 1966 ($5233\text{ m}^3/\text{s}$), 1970 ($4783\text{ m}^3/\text{s}$), 1978 com descarga e escoamentos máximos de $12900\text{ m}^3/\text{s}$, 1980 ($10163\text{ m}^3/\text{s}$), 1989 ($14436\text{ m}^3/\text{s}$), 1997 ($12170\text{ m}^3/\text{s}$), 2001 ($13978\text{ m}^3/\text{s}$), 2013 ($11379\text{ m}^3/\text{s}$), conclui-se que estes dispositivos de infiltração e drenagem, constituem em si um mecanismo de controle, regularização, armazenamento e amortecimento das águas. Para além deste efeito de amortecimento de escoamento em períodos de ponta, estes dispositivos servem um outro propósito como a resolução dos problemas relacionados com a ausência de pluviosidade.

5.1. Recomendações:

Através deste trabalho é reforçada a ideia da necessidade de introdução de um quadro legislativo referente à ocupação e utilização de terras com domínio hídrico, para que se evite intervenções desordenadas resultantes do aproveitamento antrópico concentrado na exploração agrossilvipastoril e cinegética. De acordo com a cartografia geológica da região, o Sector Nhapacu/Salone, mostrou-se mais favorável para reassentamentos do ponto de vista do risco; menos favorável do ponto de vista da acessibilidade aos recursos naturais e infraestruturas e do ponto de vista de eventuais conflitos de interesse com a concessão de exploração a entidades privadas.

6. Bibliografia

- Afonso, R. S., Marques, J. M. & Ferrara, M. (1998). A evolução geológica de Moçambique. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa; Direção Nacional de Geologia, Maputo.
- Agência de desenvolvimento do Vale do Zambeze (ADVZ). Avaliação Ambiental Estratégica, Plano Multisectorial, Plano Especial de Ordenamento Territorial do Vale do Zambeze e Modelo Digital de Suporte a Decisões, Dezembro de 2015, Maputo.
- AIMRUN, W.; AMIM, M. S. M.; ELTAIB, S. M. Effective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated hydraulic conductivity. *Geoderma*, v. 121, n. 3-4, p.197-203, 2004.
- Alveirinho Dias. *A análise sedimentar, granulométrica e os conhecimentos dos sistemas marinhos em Portugal Continental*. 2004.
- Beilfuss, R. & Santos, D. 2001. Patterns of hydrological change in the Zambeze Delta, Mozambique. Working paper 2, Program for the sustainable management of Cahora Bassa Dam and the Lower Zambeze Valley.
- Bichança, Maria de Fátima. *Bacias de retenção em zonas urbanas como contributo para a resolução de situações extremas: cheias e secas*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.
- Buchan, G.D.; Grewal, K.S.; Claydon, J.J. & McPherson, R.J. 1993. A comparison of Sedigraph and pipette methods for soil particle-size analysis. *Australian Journal of Soil Research*, 31 (4): 407-417.
- Ferreira, P. *Utilização de sedimentos superficiais como meio de amostragem*. Trabalho desenvolvido em Portugal Continental, 1993.
- Grupo Coba (Consultores de Engenharia e Ambiente). Seminário Público “*Moçambique e o Sector da Água*” 24 de Outubro, 2017, Maputo.
- Herlander Mata-Lima, Evaristo Silva, Cristina Raminhos. *Impactes de Projetos da Engenharia Civil na Hidrologia de Bacias de Drenagem. Como o Excesso do Escoamento* Engenharia Civil, UM, 2006.
- Instituto Nacional de Estatística (INE). Contas Nacionais Preliminares I Trimestre 2017., Direção das Contas Nacionais e Indicadores de desenvolvimento do Distrito de Marromeu, Moçambique, 2017
- Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC). Plano de Contingência: Época chuvosa e de Ciclones 2003/2004. 2003, Moçambique.
- Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC): Análise da Gestão e Redução do Risco de Desastres em Moçambique (2000-2013).
- Jessen G., Silva H., *Exploração da Albufeira de Cahora Bassa no Ano Hidrológico 2007/2008*, Tete, 2008.

- Lehner, B., Liermann, C.R., Revenga, C., Vörösmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., Döll, P., Endejan, M., Frenken, K., Magome, J., Nilsson, C., Robertson, J.C., Rödel, R., Sindorf, N., Wisser, D., 2011. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Front. Ecol. Environ.* 9 (9), 494–502.
- Lehner, B., Verdin, K., Jarvis, A., 2008. New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos Trans., AGU* 89 (10), 93–94.
- Lima, R.M.F. e da Luz, J.A.M. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: lei de Stokes. *Rev. Escola de Minas*, v. 54, n. 2, Ouro Preto, abr/jun., 2001.
- Lobo, J. (1999). *Contribuição para Variabilidade Climática em Moçambique, Influência do ENSO*. Tese de Licenciatura em Meteorologia. Faculdade de Ciências, Departamento de Física. Universidade Eduardo Mondlane.
- Macey, P. H., Ingram, B. A., Cronwright, M. S., Botha, G. A., Roberts, M. R., Grantham, G. H., Kock, G. S., Maré, L. P., Botha, P. M. W., Kota, M. (2006). Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000, folhas 1537 a 1540, 1637/1638 e 1639/1640. Direção Nacional de Geologia, Maputo, Moçambique.
- Maia, R.; Ribeiro, A. (1998). As cheias e a gestão de bacias hidrográficas. Atas do 4.º Congresso da Água, Lisboa.
- Martins, Francisco José Paulos. *Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil*. Coimbra, 2000.
- Matias, Maria Gorete Barata. *Bacias de retenção Estudo de métodos de dimensionamento*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia do Porto, 2006.
- Muchangos, A. dos. (1999). Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais. Edição: do Autor.
- NEGRÃO, José (2001), Cem anos de Economia da Família Rural Africana: O Delta do Zambeze em Análise Retrospectiva, Edição Promédia, Maputo.
- Perfil Distrital de Marromeu. Ministério da Administração Estatal - Direção Nacional da Administração Local, Moçambique, edição de 2014.
- Peterson, G. 2012. *Respondendo as mudanças climáticas em Moçambique*, Maputo.
- Ribeiro, Prof. Doutor Eng. A. Álvares. *Hidráulica Aplicada - Hidrologia Águas Superficiais*. Porto: Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia Laboratório de Hidráulica, 1987.
- Roque, G. D. (2012). *Influência do El Niño – Oscilação Sul (ENSO) na Variabilidade da Temperatura do ar na Zona Sul de Moçambique*. Tese de Licenciatura em Meteorologia. Faculdade de Ciências, Departamento de Física. Universidade Eduardo Mondlane.

Silva, H. S., Reflexões Sobre Aspectos Físicos, Sociais, Económicos e Ambientais da Bacia do Zambeze, Edição HCB, 2007.

Tillinghast, E.; Hunt, W.; Jennings, G. (2011). Stormwater control measure (SCM) design standards to limit stream erosion for Piedmont North Carolina. *Journal of Hydrology* 411(3-4), 185-196.

UTIP, Joint Venture LI-EDF-KP Mepanda Uncua and Cahora Bassa North Project, *Preliminary Report on Meteorology, Hydrology and Sediment Transport*, Maputo, 1999.

ANEXOS:

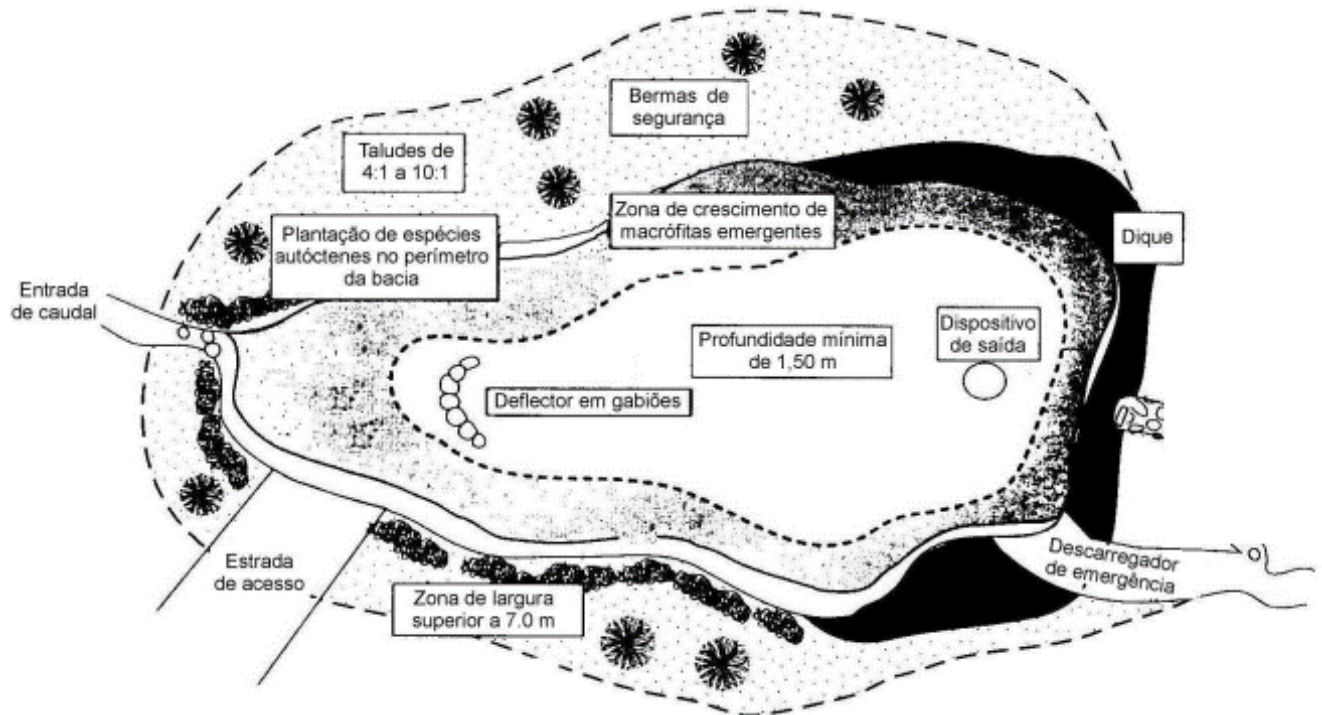


Figura A1: Planta tipo de um dispositivo de infiltração, retenção e drenagem. (Retirado de: IST, 2011)

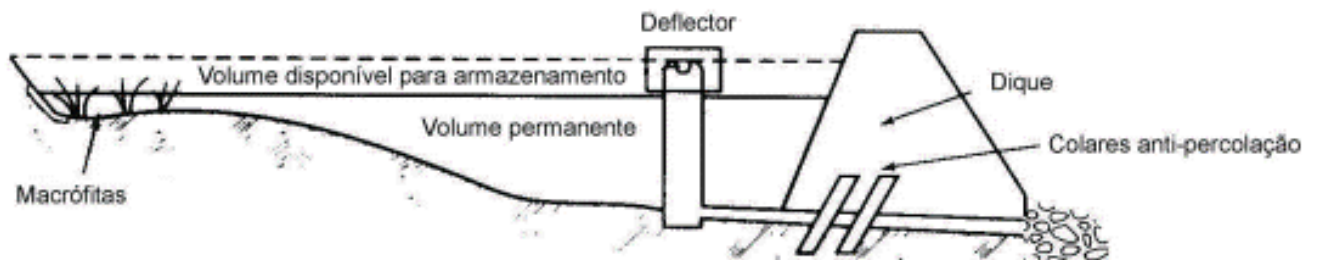
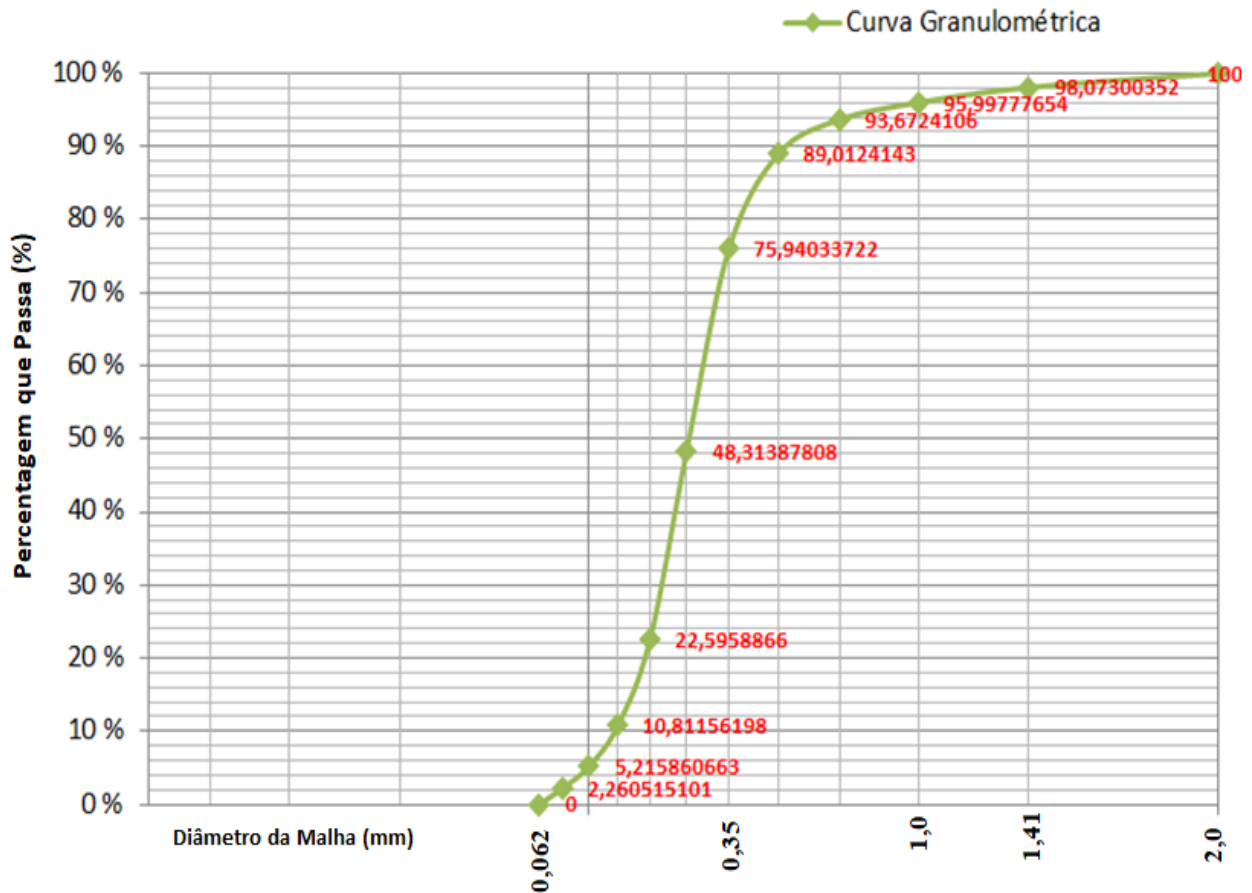


Figura A2: Corte tipo de um Planta tipo de um dispositivo de infiltração, retenção e drenagem. (Retirado de: IST, 2011)

ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A1: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 0 (Amostra 2).

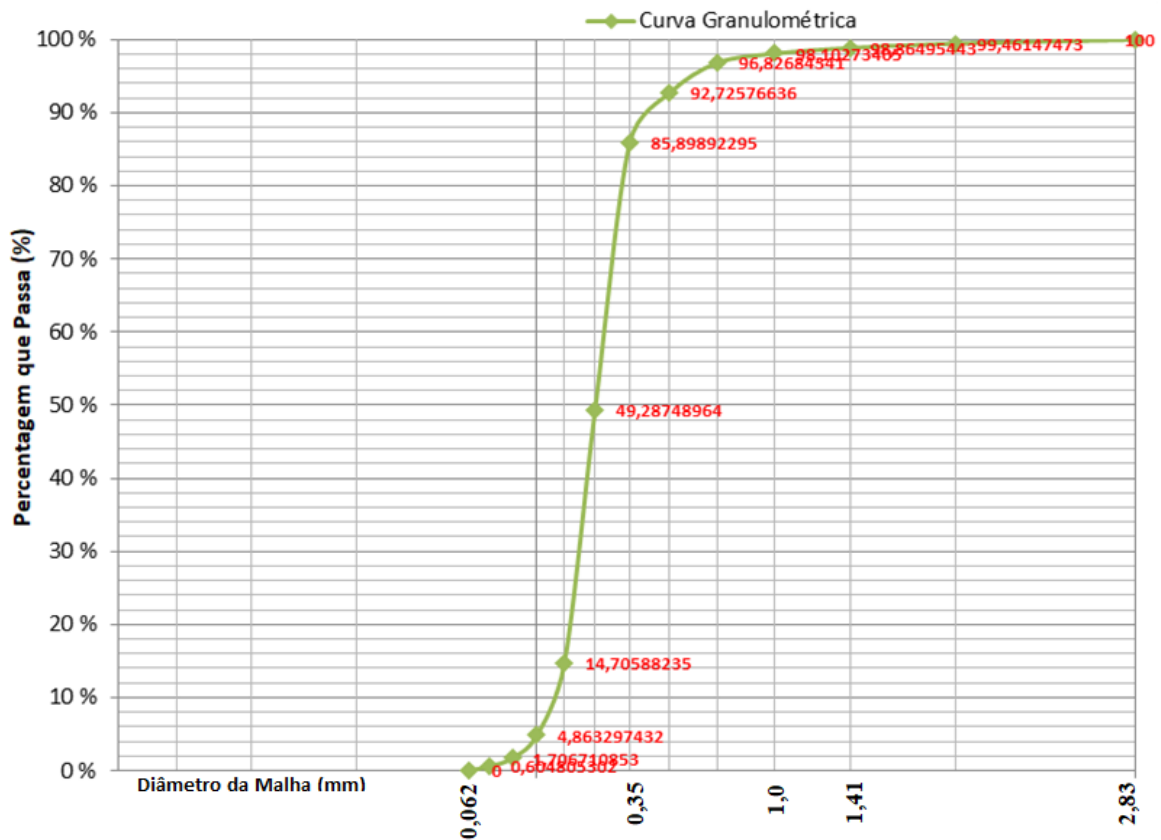
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2	0	0	0	100
1,41	2,08	1,92699648	1,92699648	98,07300352
1	2,24	2,075226978	4,002223457	95,99777654
0,707	2,51	2,325365944	6,327589402	93,6724106
0,5	5,03	4,659996294	10,9875857	89,0124143
0,35	14,11	13,07207708	24,05966278	75,94033722
0,25	29,82	27,62645914	51,68612192	48,31387808
0,177	27,76	25,71799148	77,4041134	22,5958866
0,125	12,72	11,78432462	89,18843802	10,81156198
0,088	6,04	5,595701316	94,78413934	5,215860663
0,062	3,19	2,955345562	97,7394849	2,260515101
<0,062	2,44	2,260515101	100	0
Total	107,94			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A2: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 1 (Amostra 2)

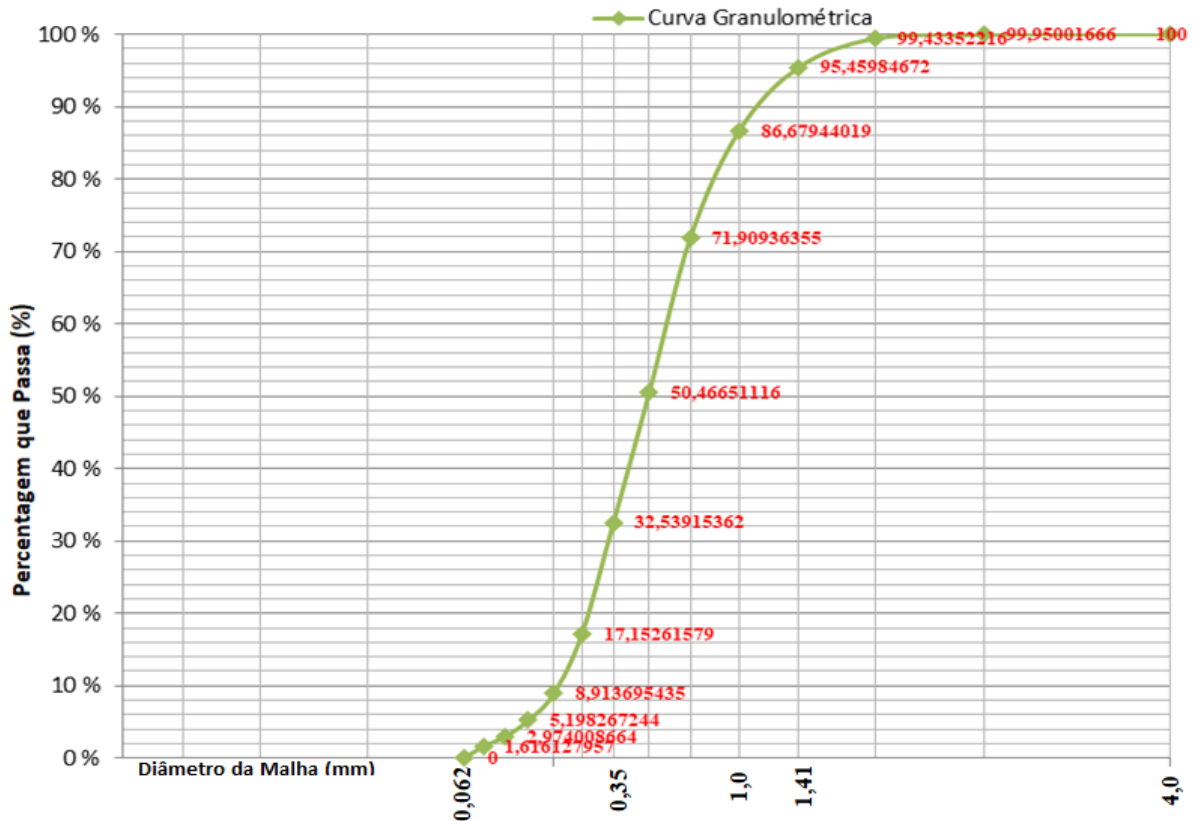
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,65	0,538525269	0,538525269	99,46147473
1,41	0,72	0,596520298	1,135045568	98,86495443
1	0,92	0,762220381	1,897265949	98,10273405
0,707	1,54	1,275890638	3,173156587	96,82684341
0,5	4,95	4,101077051	7,274233637	92,72576636
0,35	8,24	6,826843413	14,10107705	85,89892295
0,25	44,19	36,61143331	50,71251036	49,28748964
0,177	41,74	34,58160729	85,29411765	14,70588235
0,125	11,88	9,842584921	95,13670257	4,863297432
0,088	3,81	3,156586578	98,29328915	1,706710853
0,062	1,33	1,101905551	99,3951947	0,604805302
<0,062	0,73	0,604805302	100	0
Total	120,7			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A3: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 2 (Amostra 1)

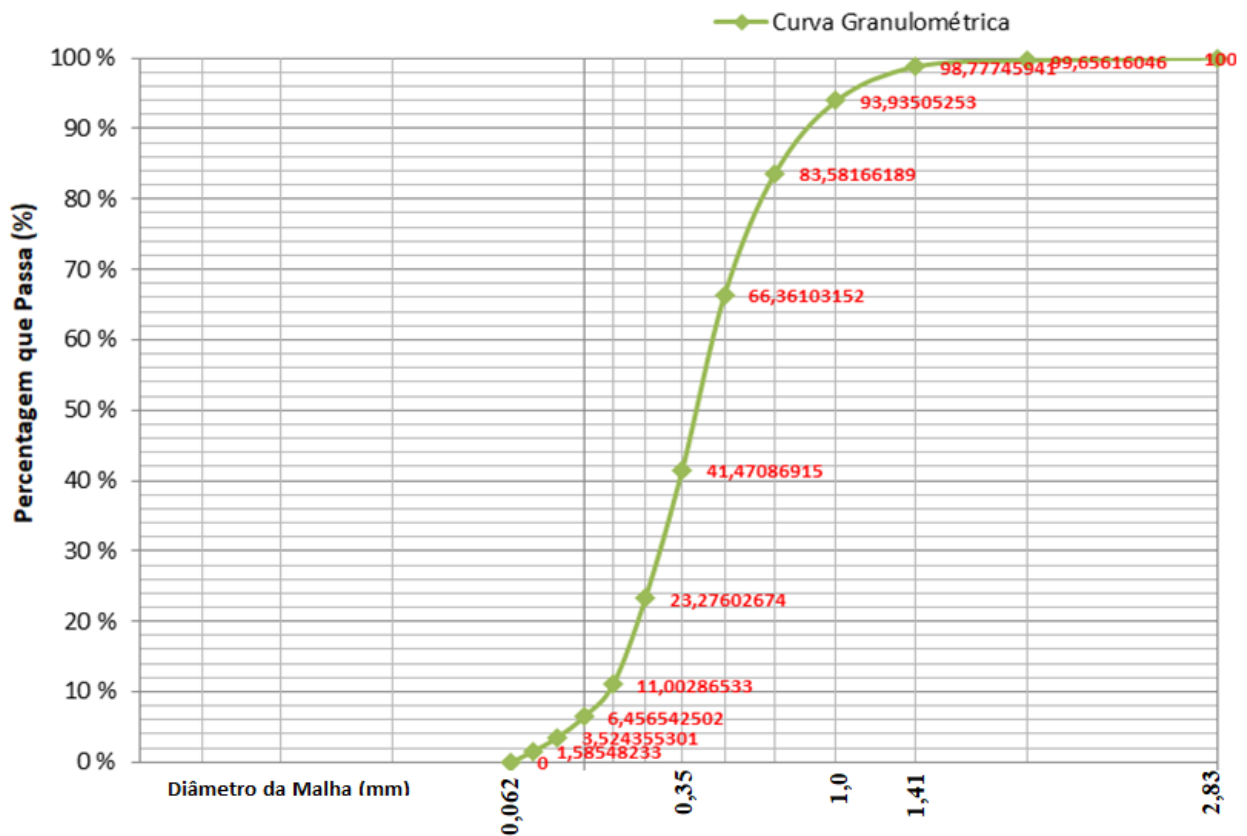
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
4	0	0	0	100
2,83	0,06	0,049983339	0,049983339	99,95001666
2	0,62	0,516494502	0,566477841	99,43352216
1,41	4,77	3,973675442	4,540153282	95,45984672
1	10,54	8,780406531	13,32055981	86,67944019
0,707	17,73	14,77007664	28,09063645	71,90936355
0,5	25,74	21,44285238	49,53348884	50,46651116
0,35	21,52	17,92735755	67,46084638	32,53915362
0,25	18,47	15,38653782	82,84738421	17,15261579
0,177	9,89	8,23892036	91,08630457	8,913695435
0,125	4,46	3,715428191	94,80173276	5,198267244
0,088	2,67	2,22425858	97,02599134	2,974008664
0,062	1,63	1,357880706	98,38387204	1,616127957
<0,062	1,94	1,616127957	100	0
Total	120,04			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A4: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 2 (Amostra 2)

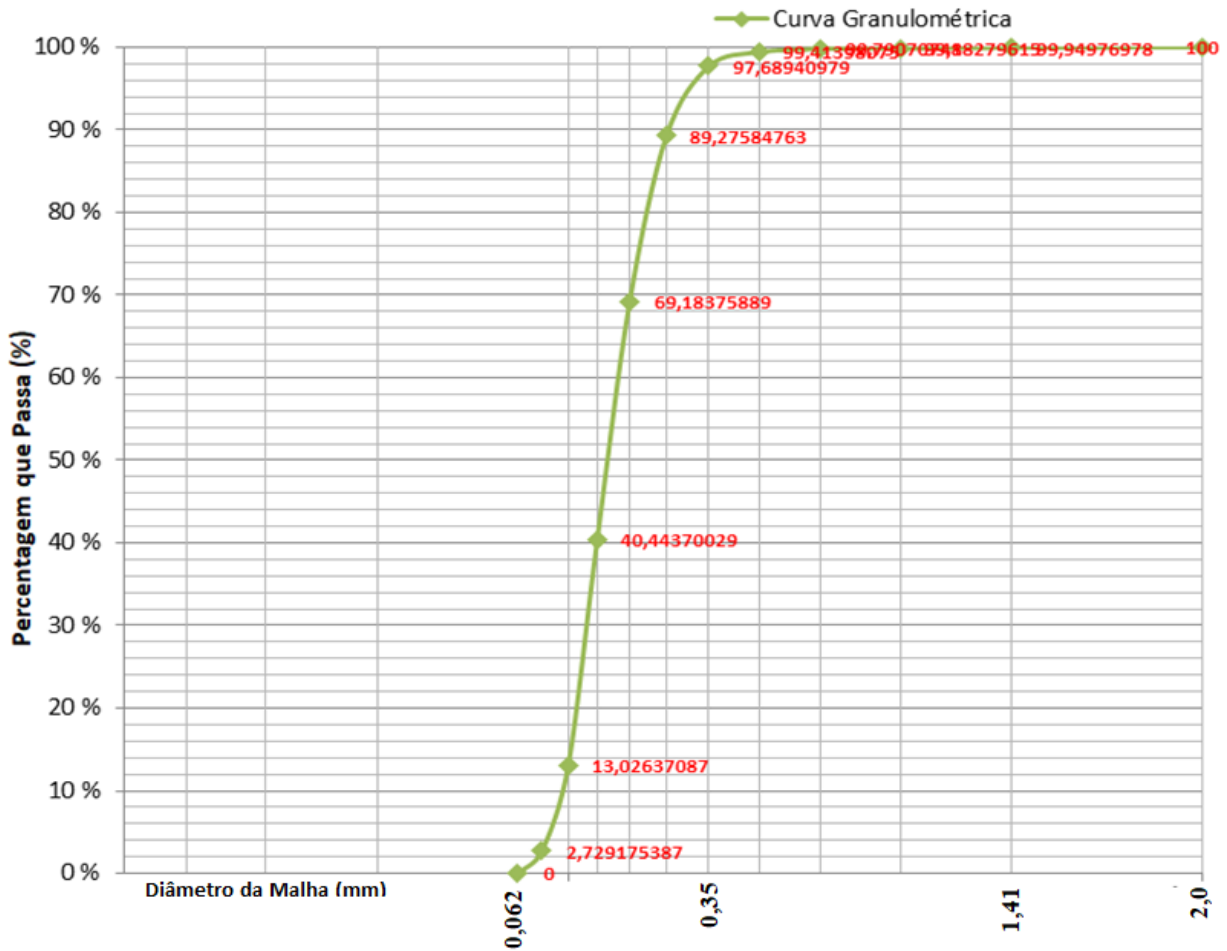
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,36	0,343839542	0,343839542	99,65616046
1,41	0,92	0,878701051	1,222540592	98,77745941
1	5,07	4,842406877	6,064947469	93,93505253
0,707	10,84	10,35339064	16,41833811	83,58166189
0,5	18,03	17,22063037	33,63896848	66,36103152
0,35	26,06	24,89016237	58,52913085	41,47086915
0,25	19,05	18,19484241	76,72397326	23,27602674
0,177	12,85	12,27316141	88,99713467	11,00286533
0,125	4,76	4,546322827	93,5434575	6,456542502
0,088	3,07	2,932187202	96,4756447	3,524355301
0,062	2,03	1,93887297	98,41451767	1,58548233
<0,062	1,66	1,58548233	100	0
Total	104,7			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A5: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 3 (Amostra 1)

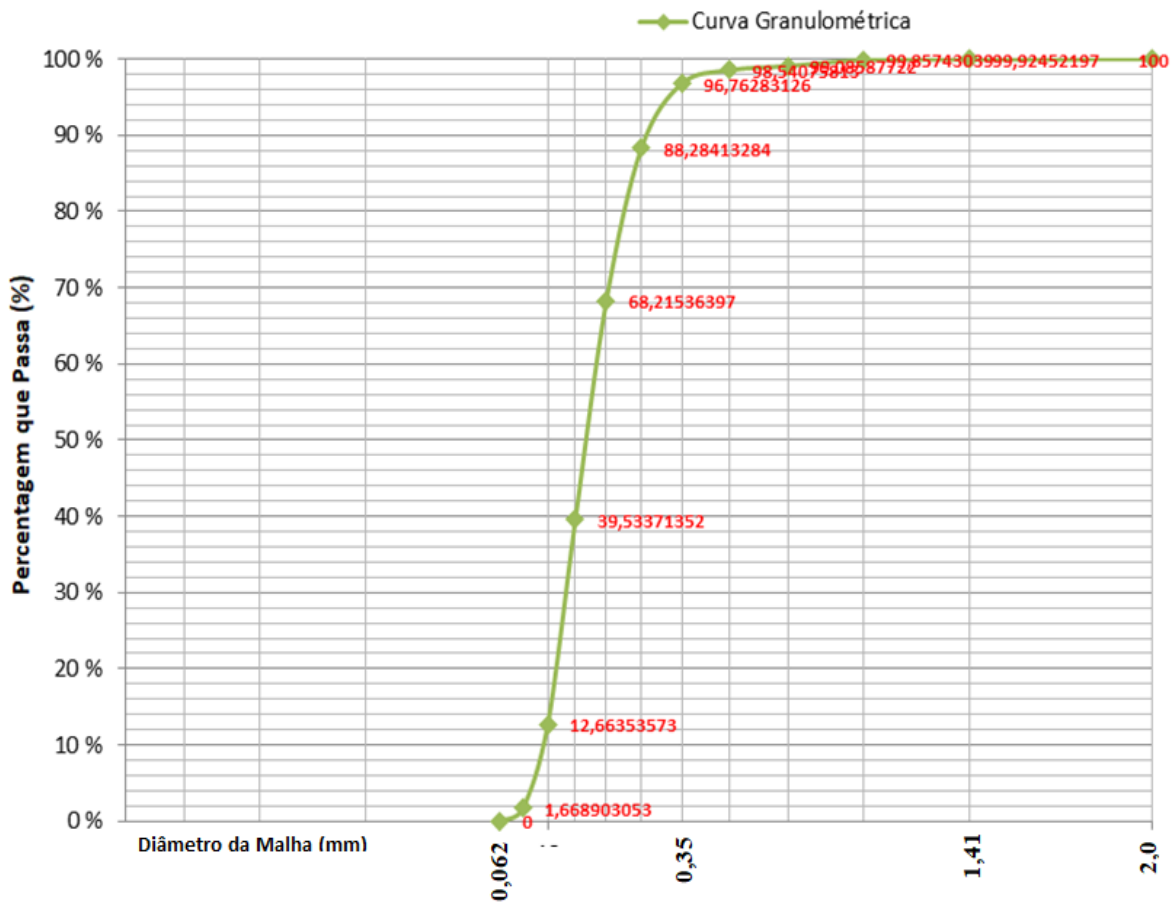
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2	0	0	0	100
1,41	0,06	0,050230222	0,050230222	99,94976978
1	0,08	0,066973629	0,117203851	99,88279615
0,707	0,11	0,09208874	0,209292591	99,79070741
0,5	0,45	0,376726664	0,586019255	99,41398075
0,35	2,06	1,72457095	2,310590205	97,68940979
0,25	10,05	8,41356216	10,72415237	89,27584763
0,177	24	20,09208874	30,81624111	69,18375889
0,125	34,33	28,7400586	59,55629971	40,44370029
0,088	32,75	27,41732943	86,97362913	13,02637087
0,062	12,3	10,29719548	97,27082461	2,729175387
<0,062	3,26	2,729175387	100	0
Total	119,45			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A6: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 3 (Amostra 2)

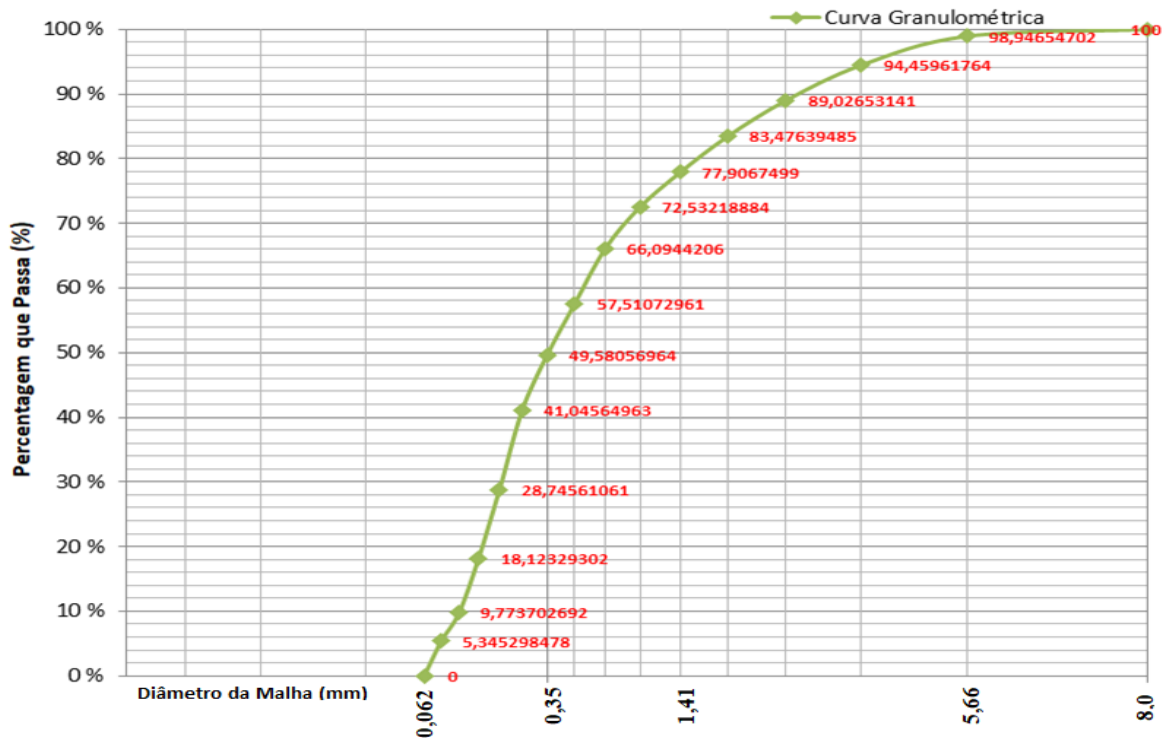
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2	0	0	0	100
1,41	0,09	0,075478028	0,075478028	99,92452197
1	0,08	0,06709158	0,142569608	99,85743039
0,707	0,92	0,77155317	0,914122778	99,08587722
0,5	0,65	0,545119088	1,459241865	98,54075813
0,35	2,12	1,77792687	3,237168735	96,76283126
0,25	10,11	8,478698423	11,71586716	88,28413284
0,177	23,93	20,06876887	31,78463603	68,21536397
0,125	34,2	28,68165045	60,46628648	39,53371352
0,088	32,04	26,87017779	87,33646427	12,66353573
0,062	13,11	10,99463267	98,33109695	1,668903053
<0,062	1,99	1,668903053	100	0
Total	119,24			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A7: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 4 (Amostra 1)

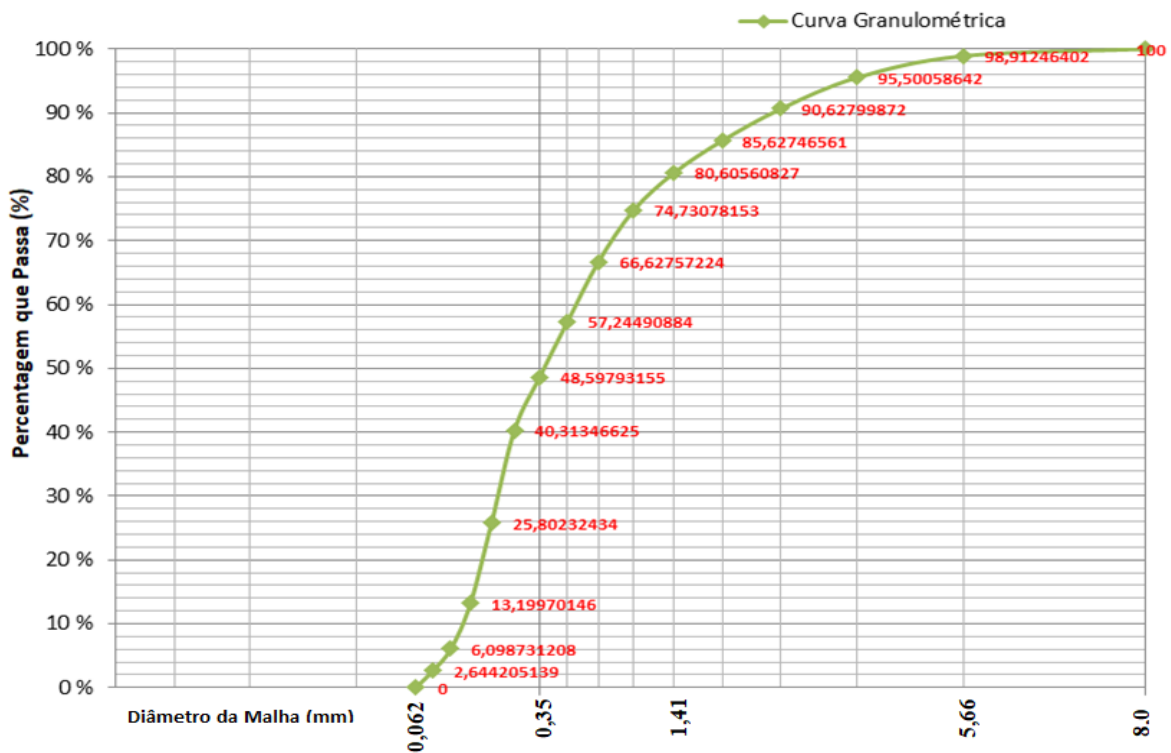
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
8	0	0	0	100
5,66	1,08	1,053452985	1,053452985	98,94654702
4	4,6	4,48692938	5,540382364	94,45961764
2,83	5,57	5,433086227	10,97346859	89,02653141
2	5,69	5,550136559	16,52360515	83,47639485
1,41	5,71	5,569644947	22,0932501	77,9067499
1	5,51	5,374561061	27,46781116	72,53218884
0,707	6,6	6,43776824	33,9055794	66,0944206
0,5	8,8	8,583690987	42,48927039	57,51072961
0,35	8,13	7,930159969	50,41943036	49,58056964
0,25	8,75	8,534920016	58,95435037	41,04564963
0,177	12,61	12,30003902	71,25438939	28,74561061
0,125	10,89	10,6223176	81,87670698	18,12329302
0,088	8,56	8,349590324	90,22629731	9,773702692
0,062	4,54	4,428404214	94,65470152	5,345298478
<0,062	5,48	5,345298478	100	0
Total	102,52			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A8: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 4 (Amostra 2)

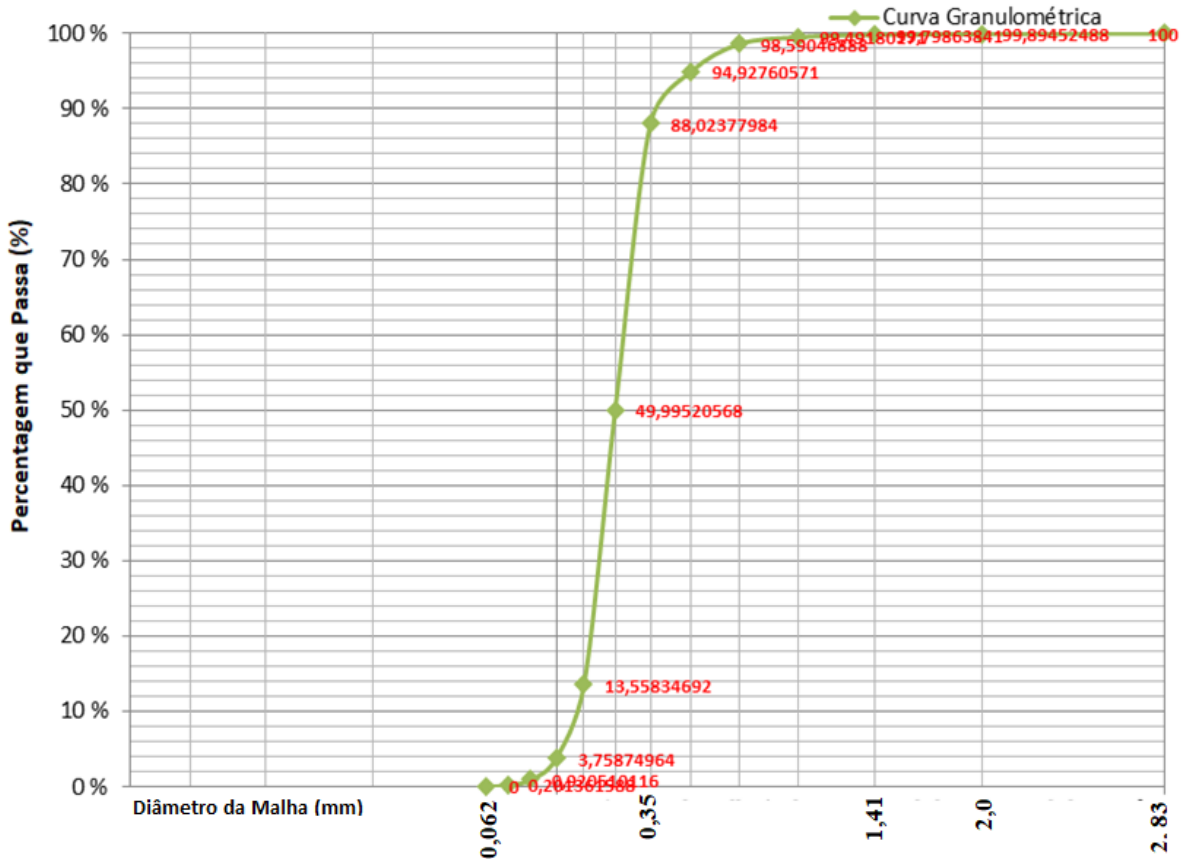
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
8	0	0	0	100
5,66	1,02	1,087535985	1,087535985	98,91246402
4	3,2	3,411877599	4,499413584	95,50058642
2,83	4,57	4,872587696	9,372001279	90,62799872
2	4,69	5,000533106	14,37253439	85,62746561
1,41	4,71	5,021857341	19,39439173	80,60560827
1	5,51	5,874826741	25,26921847	74,73078153
0,707	7,6	8,103209297	33,37242776	66,62757224
0,5	8,8	9,382663397	42,75509116	57,24490884
0,35	8,11	8,64697729	51,40206845	48,59793155
0,25	7,77	8,284465295	59,68653375	40,31346625
0,177	13,61	14,51114191	74,19767566	25,80232434
0,125	11,82	12,60262288	86,80029854	13,19970146
0,088	6,66	7,100970253	93,90126879	6,098731208
0,062	3,24	3,454526069	97,35579486	2,644205139
<0,062	2,48	2,644205139	100	0
Total	93,79			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A9: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 5 (Amostra 1)

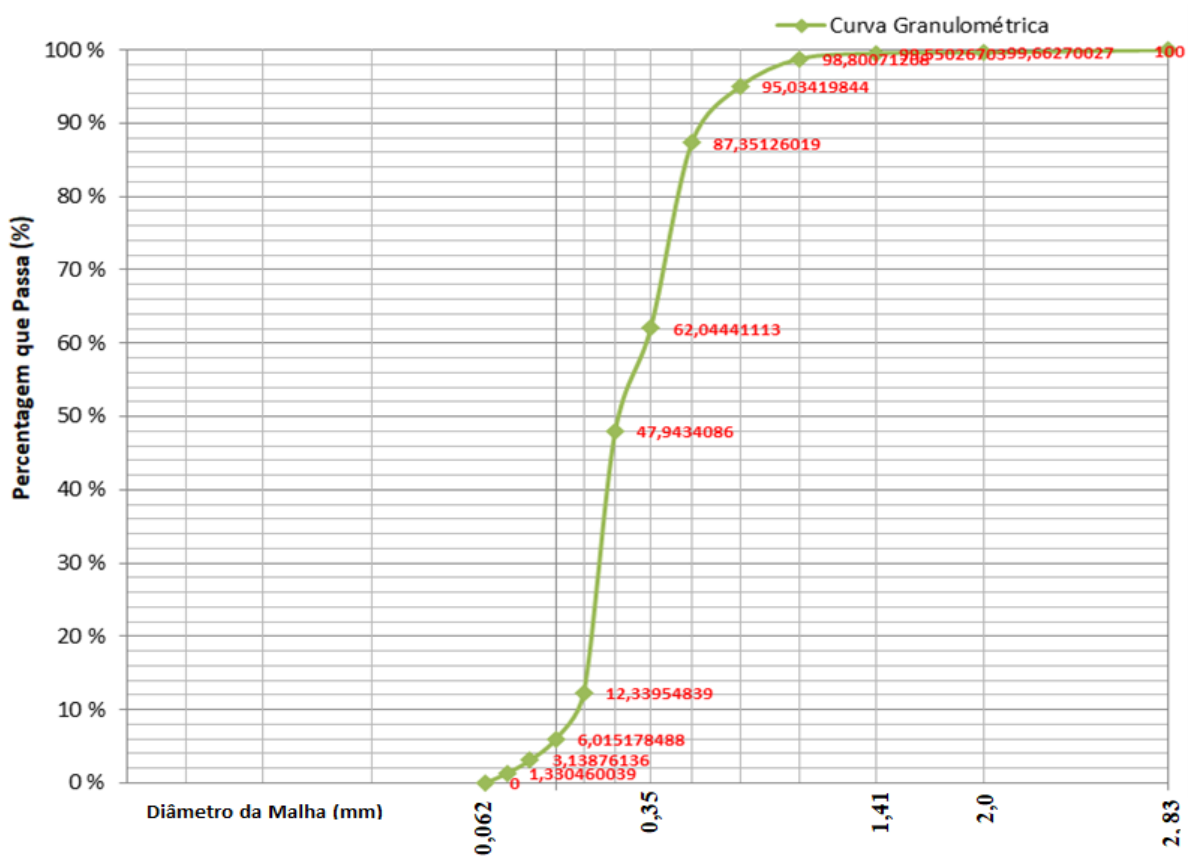
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,11	0,105475117	0,105475117	99,89452488
1,41	0,1	0,09588647	0,201361588	99,79863841
1	0,32	0,306836705	0,508198293	99,49180171
0,707	0,94	0,901332822	1,409531115	98,59046888
0,5	3,82	3,66286317	5,072394285	94,92760571
0,35	7,2	6,90382587	11,97622016	88,02377984
0,25	39,66	38,02857417	50,00479432	49,99520568
0,177	38	36,43685876	86,44165308	13,55834692
0,125	10,22	9,799597277	96,24125036	3,75874964
0,088	2,96	2,838239524	99,07948988	0,920510116
0,062	0,75	0,719148528	99,79863841	0,201361588
<0,062	0,21	0,201361588	100	0
Total	104,29			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A10: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 5 (Amostra 2)

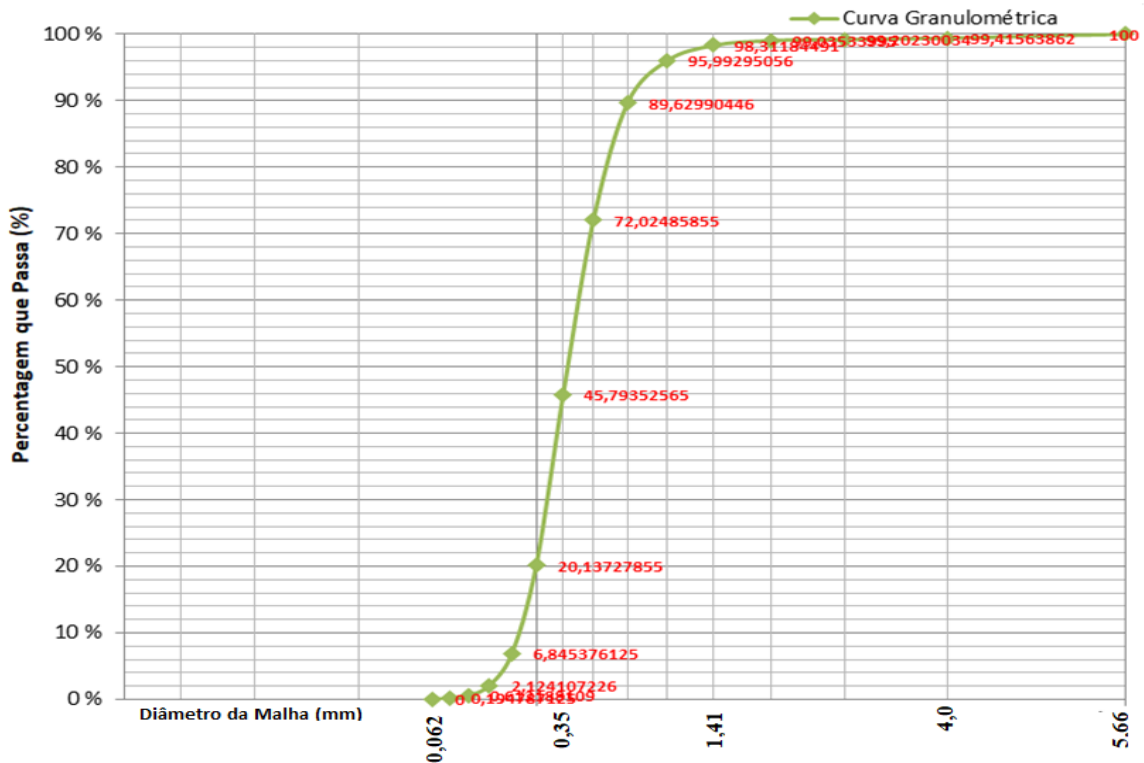
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,36	0,337299728	0,337299728	99,66270027
1,41	0,12	0,112433243	0,449732971	99,55026703
1	0,8	0,749554952	1,199287923	98,80071208
0,707	4,02	3,766513633	4,965801555	95,03419844
0,5	8,2	7,682938255	12,64873981	87,35126019
0,35	27,01	25,30684906	37,95558887	62,04441113
0,25	15,05	14,10100253	52,0565914	47,9434086
0,177	38	35,60386021	87,66045161	12,33954839
0,125	6,75	6,324369905	93,98482151	6,015178488
0,088	3,07	2,876417127	96,86123864	3,13876136
0,062	1,93	1,808301321	98,66953996	1,330460039
<0,062	1,42	1,330460039	100	0
Total	106,73			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A11: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 6 (Amostra 1)

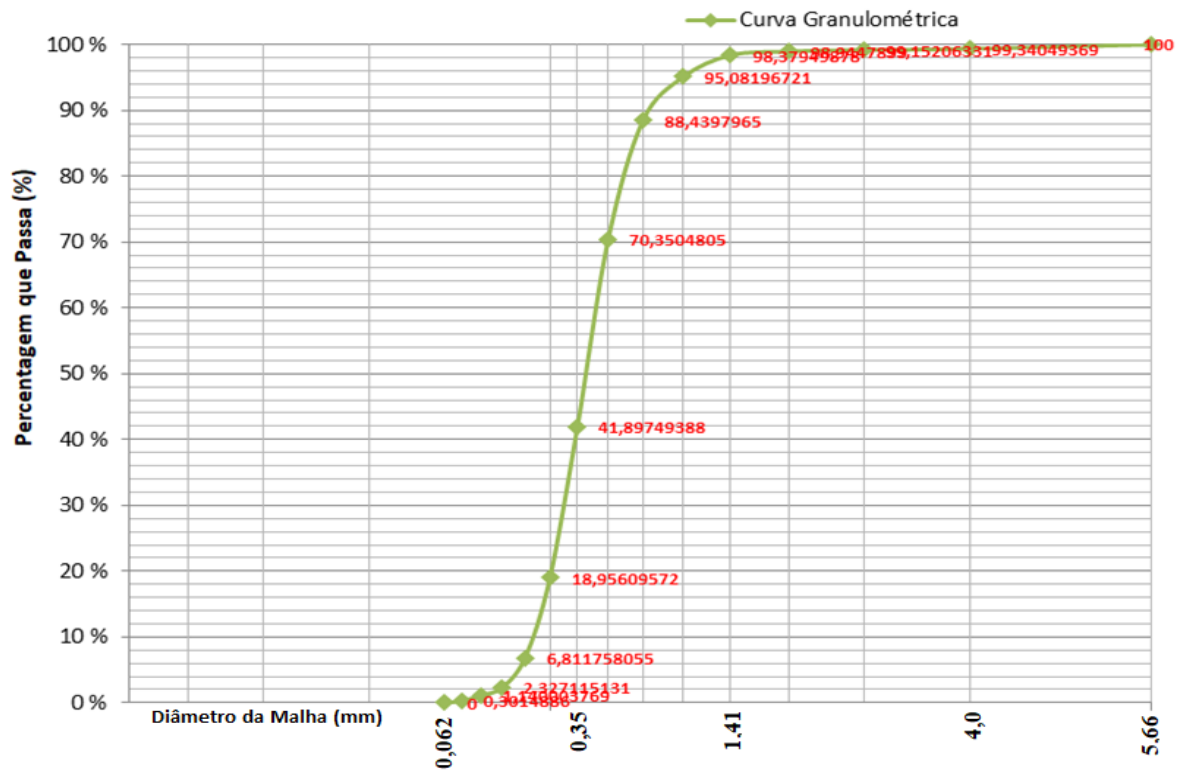
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
5,66	0	0	0	100
4	0,63	0,584361376	0,584361376	99,41563862
2,83	0,23	0,21333828	0,797699657	99,20230034
2	0,18	0,166960393	0,96466005	99,03533995
1,41	0,78	0,723495038	1,688155088	98,31184491
1	2,5	2,318894351	4,007049439	95,99295056
0,707	6,86	6,3630461	10,37009554	89,62990446
0,5	18,98	17,60504591	27,97514145	72,02485855
0,35	28,28	26,2313329	54,20647435	45,79352565
0,25	27,66	25,6562471	79,86272145	20,13727855
0,177	14,33	13,29190242	93,15462388	6,845376125
0,125	5,09	4,721268899	97,87589277	2,124107226
0,088	1,63	1,511919117	99,38781189	0,612188109
0,062	0,45	0,417400983	99,80521287	0,194787125
<0,062	0,21	0,194787125	100	0
Total	107,81			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A12: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 6 (Amostra 2)

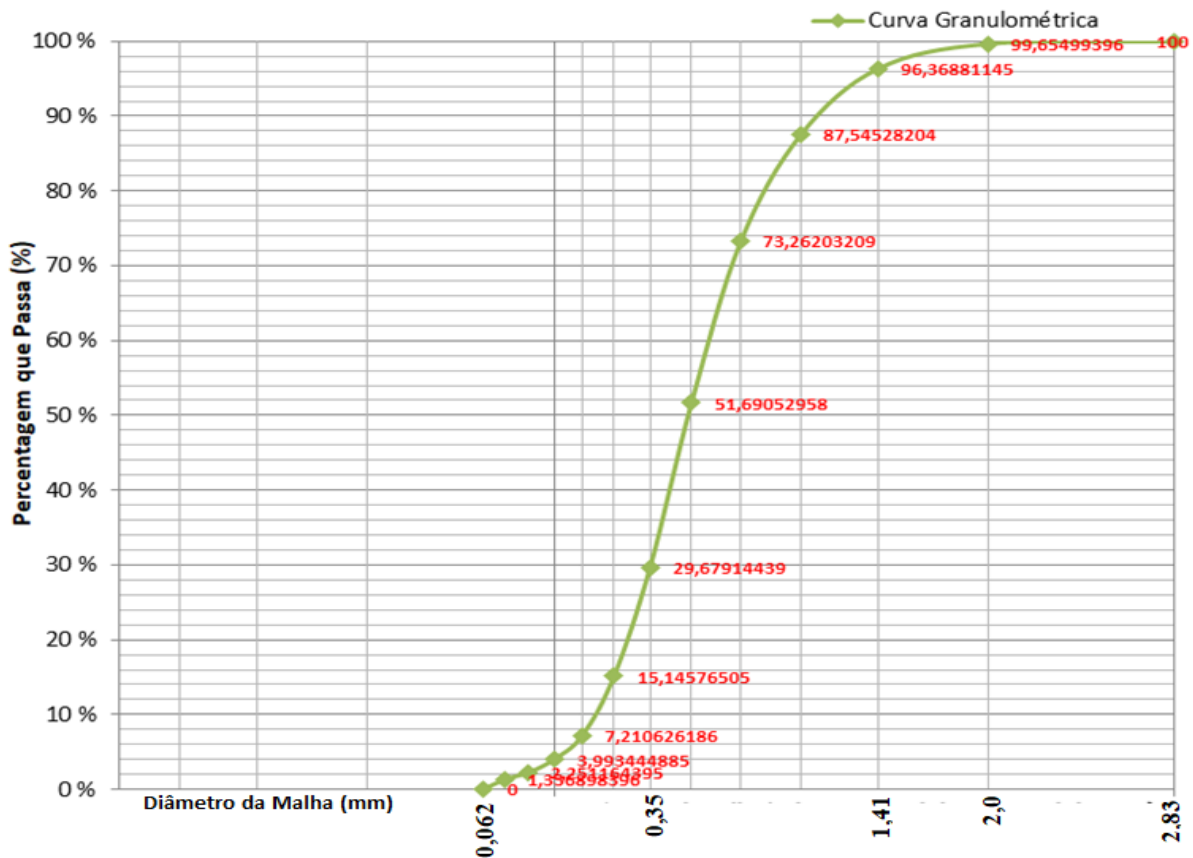
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
5,66	0	0	0	100
4	0,7	0,659506312	0,659506312	99,34049369
2,83	0,2	0,188430375	0,847936687	99,15206331
2	0,22	0,207273412	1,0552101	98,9447899
1,41	0,6	0,565291125	1,620501225	98,37949878
1	3,5	3,297531562	4,918032787	95,08196721
0,707	7,05	6,642170718	11,5602035	88,4397965
0,5	19,2	18,089316	29,6495195	70,3504805
0,35	30,2	28,45298662	58,10250612	41,89749388
0,25	24,35	22,94139815	81,04390428	18,95609572
0,177	12,89	12,14433767	93,18824194	6,811758055
0,125	4,76	4,484642924	97,67288487	2,327115131
0,088	1,26	1,187111362	98,85999623	1,140003769
0,062	0,89	0,838515169	99,6985114	0,3014886
<0,062	0,32	0,3014886	100	0
Total	106,14			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A13: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 7 (Amostra 1)

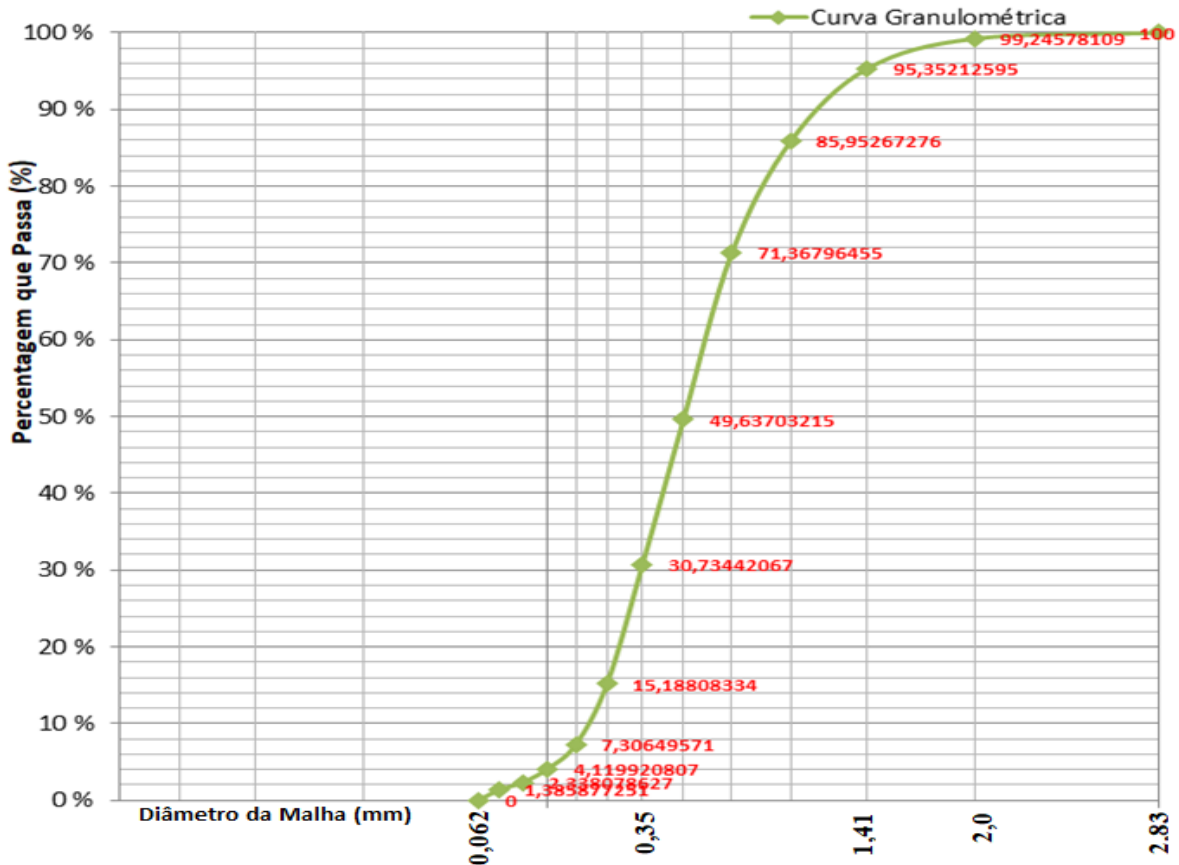
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,4	0,345006038	0,345006038	99,65499396
1,41	3,81	3,286182508	3,631188546	96,36881145
1	10,23	8,823529412	12,45471796	87,54528204
0,707	16,56	14,28324996	26,73796791	73,26203209
0,5	25,01	21,5715025	48,30947042	51,69052958
0,35	25,52	22,0113852	70,32085561	29,67914439
0,25	16,85	14,53337933	84,85423495	15,14576505
0,177	9,2	7,935138865	92,78937381	7,210626186
0,125	3,73	3,217181301	96,00655511	3,993444885
0,088	2,02	1,74228049	97,7488356	2,251164395
0,062	1,06	0,914266	98,6631016	1,336898396
<0,062	1,55	1,336898396	100	0
Total	115,94			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A14: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 7 (Amostra 2)

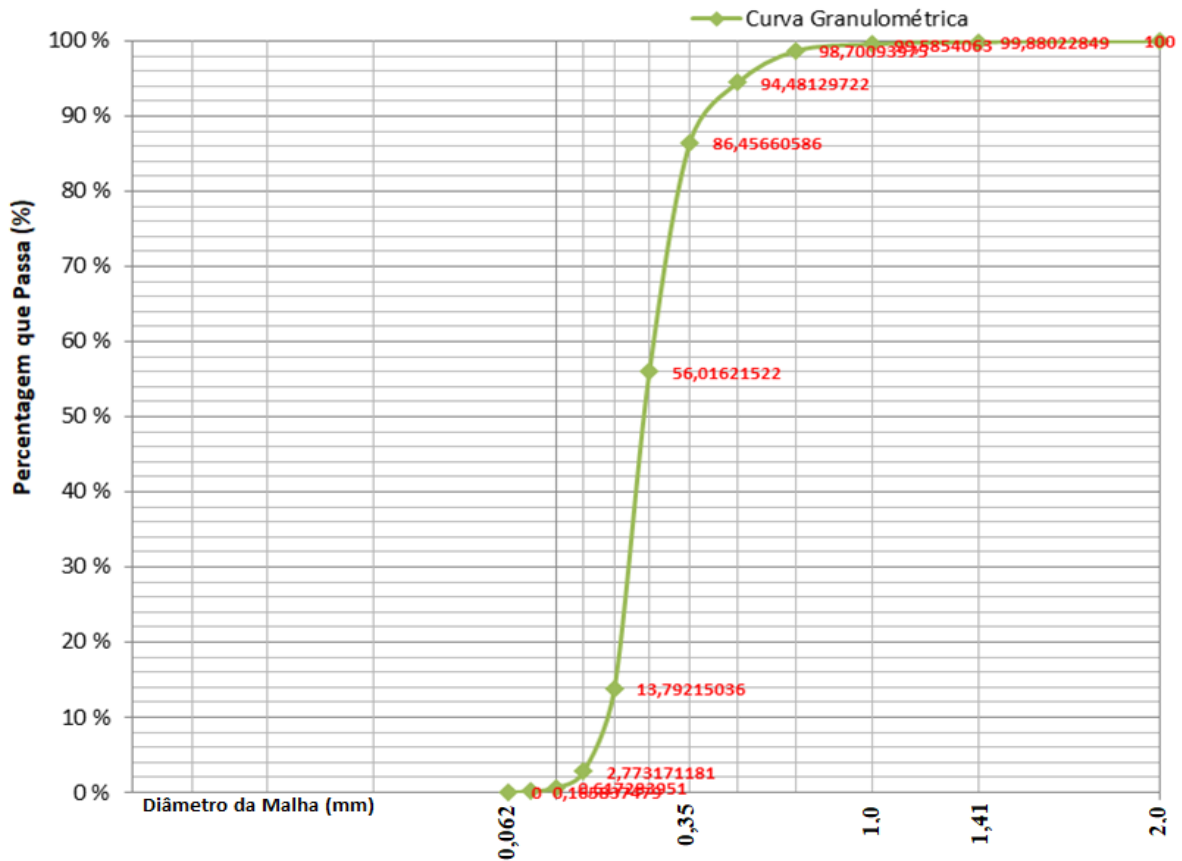
Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2,83	0	0	0	100
2	0,8	0,754218912	0,754218912	99,24578109
1,41	4,13	3,893655133	4,647874045	95,35212595
1	9,97	9,399453191	14,04732724	85,95267276
0,707	15,47	14,58470821	28,63203545	71,36796455
0,5	23,05	21,7309324	50,36296785	49,63703215
0,35	20,05	18,90261148	69,26557933	30,73442067
0,25	16,49	15,54633732	84,81191666	15,18808334
0,177	8,36	7,881587631	92,69350429	7,30649571
0,125	3,38	3,186574903	95,88007919	4,119920807
0,088	1,89	1,78184218	97,66192137	2,338078627
0,062	1,01	0,952201376	98,61412275	1,385877251
<0,062	1,47	1,385877251	100	0
Total	106,07			



ANÁLISE DAS DIMENSÕES DE SEDIMENTOS (Processo dos Crivos $\sqrt{2}$)

Tabela A15: Resultados da análise das dimensões de sedimentos. Zona 7 (Amostra 3)

Peneira (mm)	Massa retida na Peneira (g)	% Retida na Peneira	% Retida Acumulada	% Passante
2	0	0	0	100
1,41	0,13	0,119771513	0,119771513	99,88022849
1	0,32	0,294822185	0,414593698	99,5854063
0,707	0,96	0,884466556	1,299060254	98,70093975
0,5	4,58	4,219642528	5,518702782	94,48129722
0,35	8,71	8,024691358	13,54339414	86,45660586
0,25	33,04	30,44039064	43,98378478	56,01621522
0,177	45,83	42,22406486	86,20784964	13,79215036
0,125	11,96	11,01897918	97,22682882	2,773171181
0,088	2,34	2,155887231	99,38271605	0,617283951
0,062	0,49	0,451446471	99,83416252	0,165837479
<0,062	0,18	0,165837479	100	0
Total	108,54			



SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: TERESA /51
SAMPLE ID: AM-06-15
SUBMITTER:
OPERATOR:
SAMPLE TYPE:
LIQUID TYPE: Water
ANALYSIS TEMP: 32.1 deg C
BASELINE/FULL SCALE: 141/ 66 kilocounts/sec

UNIT NUMBER: 1
START 21:52:38 08/20/81
REPRT 22:06:00 08/20/81
TOT RUN TIME 0:13:17
SAM DENS: 2.5000 g/cc
LIQ DENS: 0.9961 g/cc
LIQ VISC: 0.7670 cp
RUN TYPE: Standard

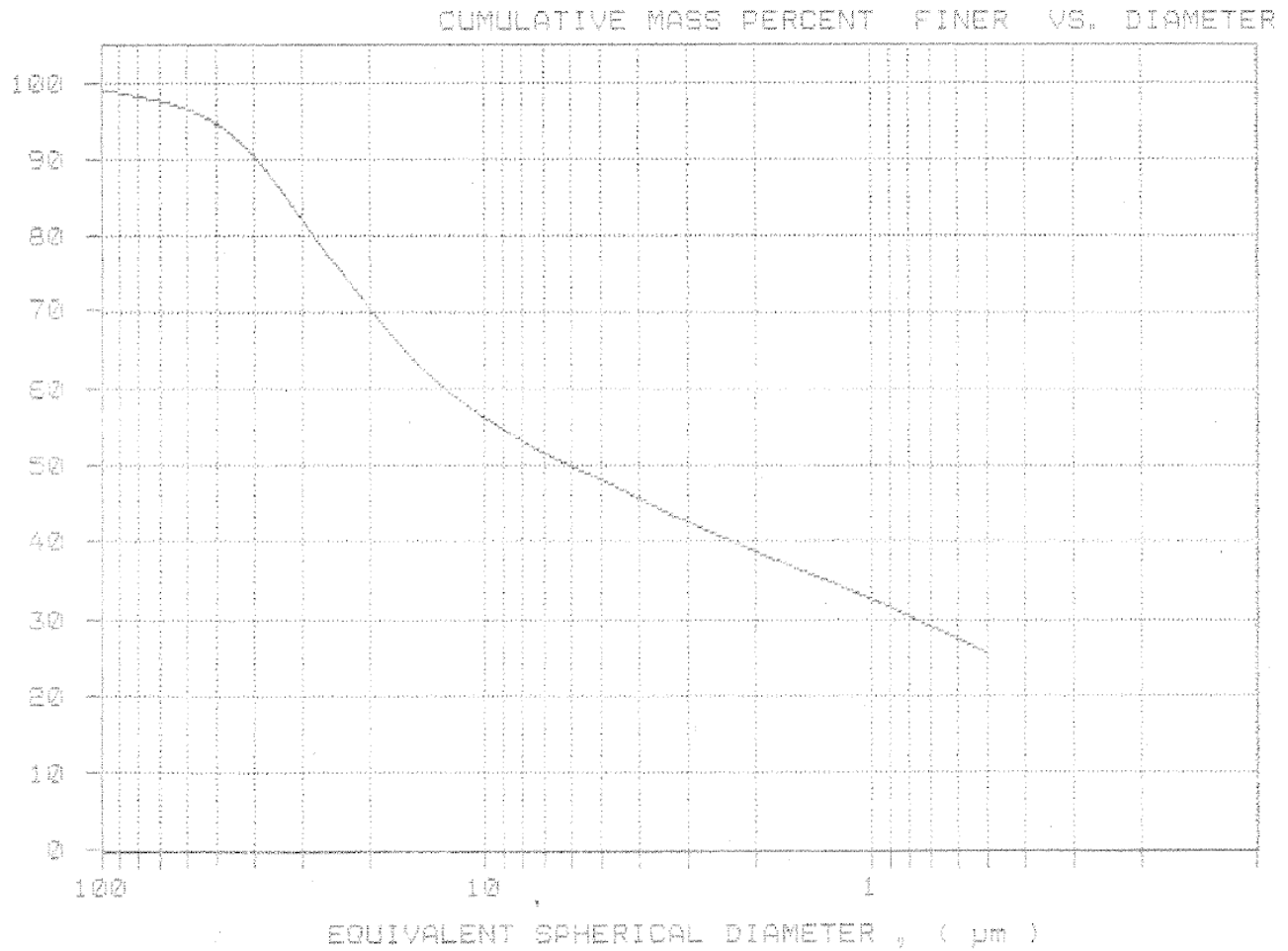


Gráfico A16: Curva microgranulométrica 1 resultante do SediGraph.

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: TERESA /51
SAMPLE ID: AM-06-15
SUEMITTER:
OPERATOR:
SAMPLE TYPE:
LIQUID TYPE: Water
ANALYSIS TEMP: 32.1 deg C
BASELINE/FULL SCALE: 141/ 66 kilocounts/sec

UNIT NUMBER: 1
START 21:52:38 06/20/81
REPR 22:06:00 06/20/81
TOT RUN TIME 0:13:17
SAM DENS: 2.5000 g/cc
LIQ DENS: 0.9951 g/cc
LIQ VISC: 0.7670 cp
RUN TYPE: Standard



Gráfico A17: Curva microgranulométrica 1 resultante do SediGraph.

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: TERESA /50
SAMPLE ID: AM3-15
SUBMITTER:
OPERATOR:
SAMPLE TYPE:
LIQUID TYPE: Water
ANALYSIS TEMP: 32.0 deg C
BASELINE/FULL SCALE: 144/ 104 kilocounts/sec

UNIT NUMBER: 1
START 19:55:29 06/20/81
REPR 20:08:38 06/20/81
TOT RUN TIME 0:13:06
SAM DENS: 2.5000 g/cc
LIQ DENS: 0.9951 g/cc
LIQ VISC: 0.7676 cp
RUN TYPE: Standard

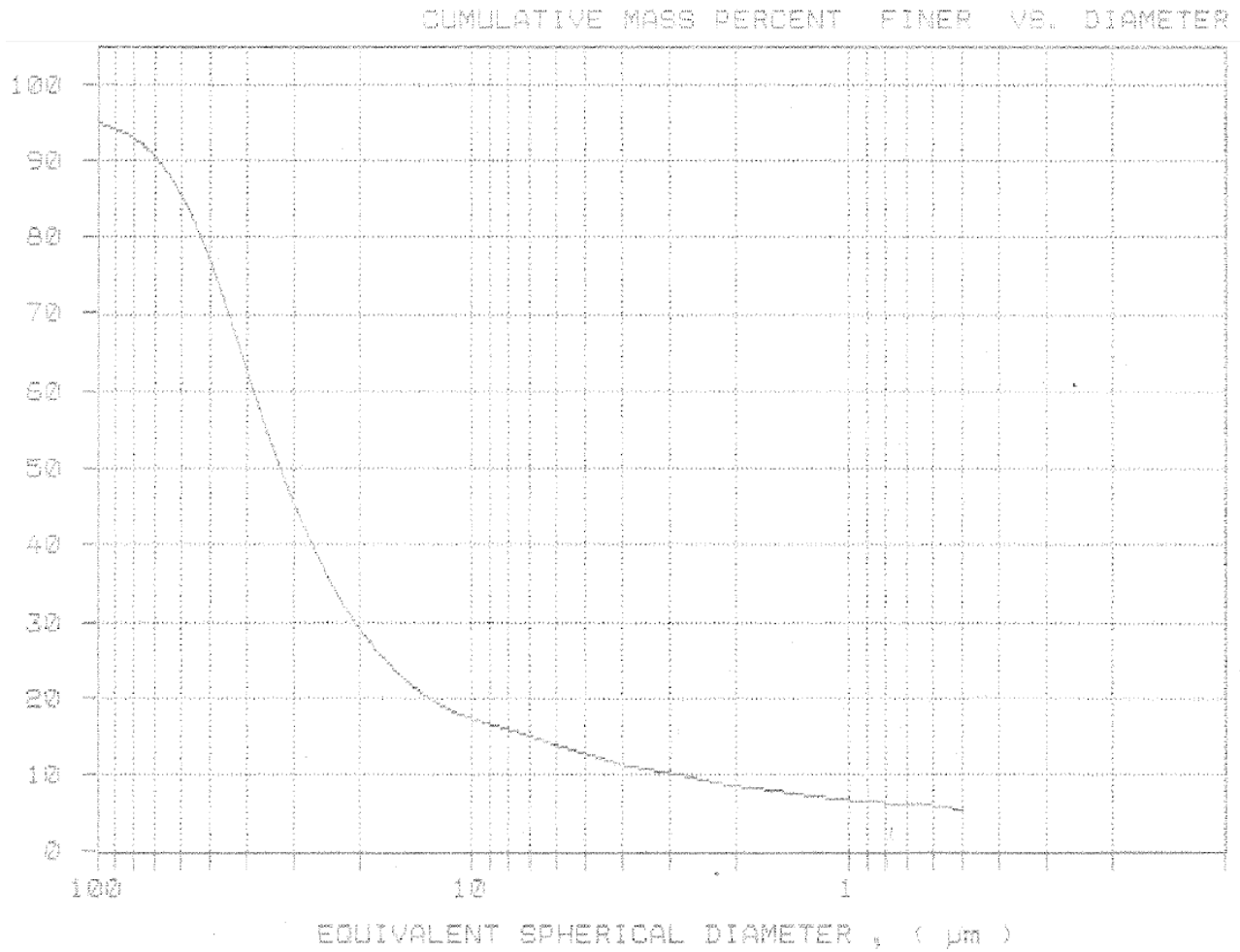


Gráfico A18: Curva microgranulométrica 2 resultante do SediGraph.

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: TERESA /50
SAMPLE ID: AM3-15
SUBMITTER:
OPERATOR:
SAMPLE TYPE:
LIQUID TYPE: Water
ANALYSIS TEMP: 32.0 deg C
BASELINE/FULL SCALE: 144/ 104 kilocounts/sec

UNIT NUMBER: 1
START 19:55:29 06/20/81
REPRT 20:08:38 06/20/81
TOT RUN TIME 0:13:06
SAM DENS: 2.5000 g/cc
LIQ DENS: 0.9951 g/cc
LIQ VISC: 0.7676 cp
RUN TYPE: Standard

START NO. 1
ENDING 1000000

CRYNOLITE 4000000
ALL SCALE 1000000

MASS POPULATION VS. DIAMETER

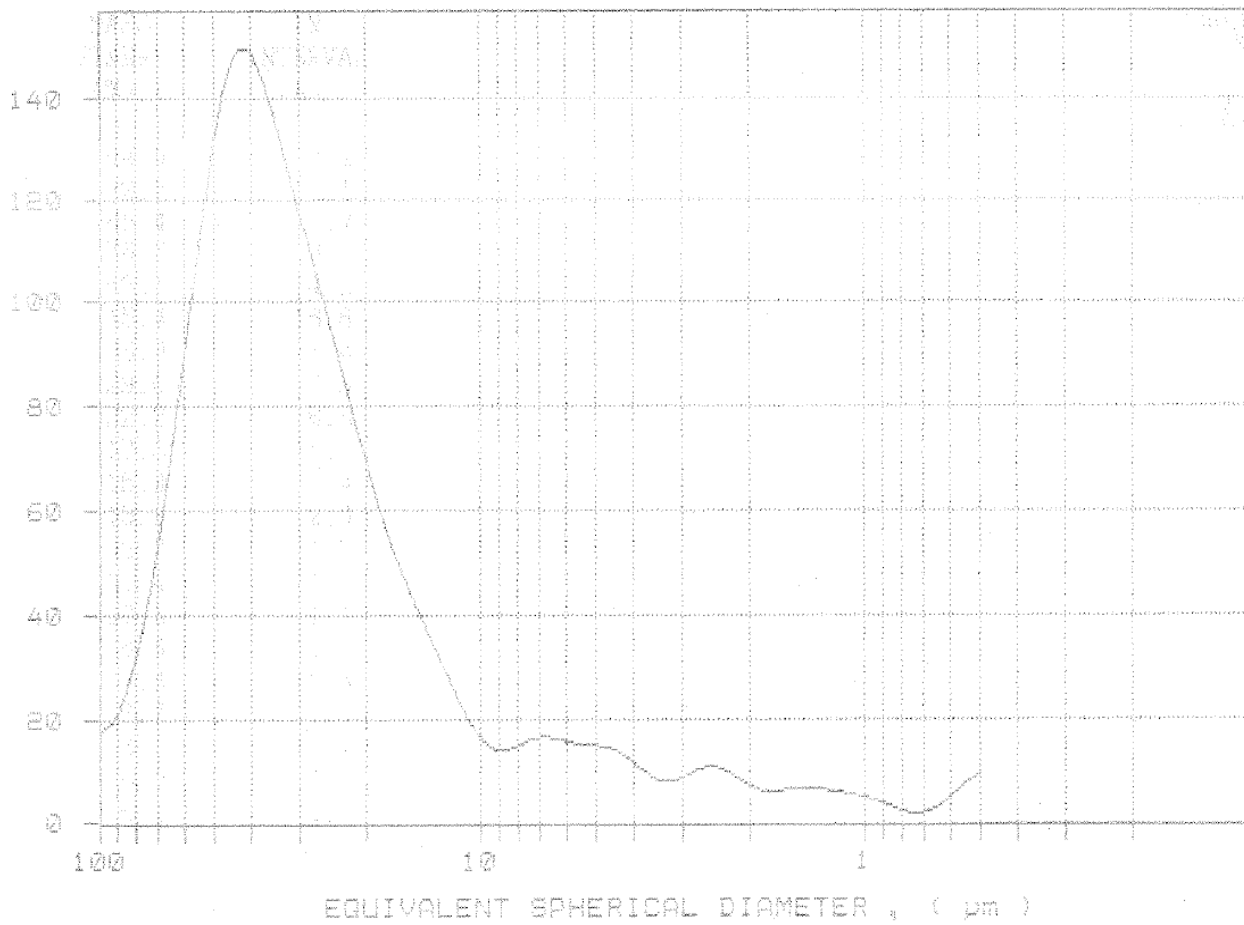


Gráfico A19: Curva microgranulométrica 2 resultante do SediGraph.

Dados Climáticos registados no distrito de Marromeu em 2018

Os dados climáticos apresentados foram obtidos pelo Instituto Nacional de Gestão de Calamidades de Moçambique.

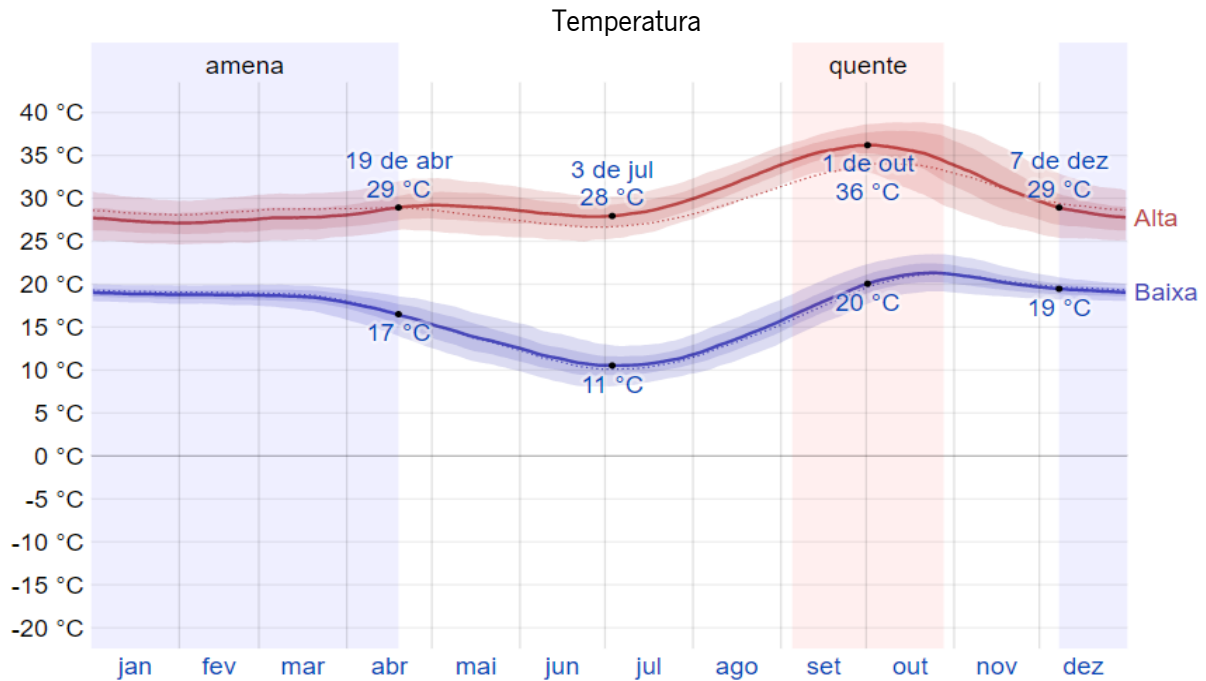


Gráfico A20: Temperaturas máximas, médias e mínimas registadas no ano de 2018 em Marromeu. Temperatura máxima (linha vermelha) e mínima (linha azul). As linhas finas pontilhadas representam as temperaturas médias correspondentes. Fonte: INGC (2018).

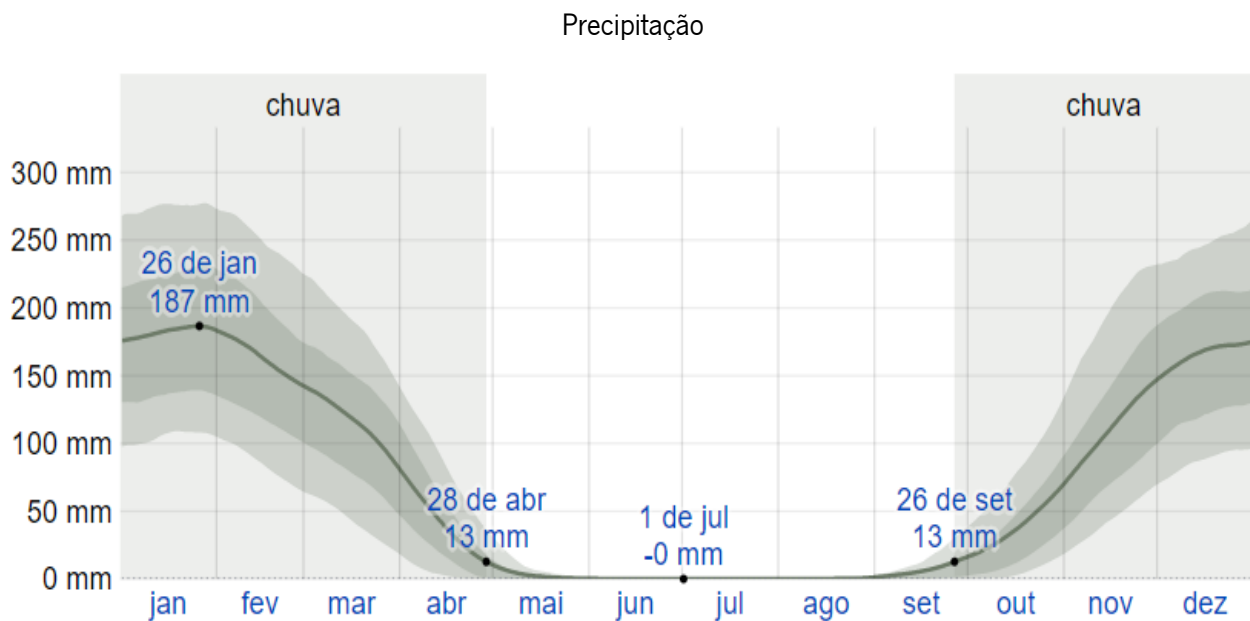


Gráfico A21: Dados de precipitação registados em 2018 no distrito de Marromeu. A estação de maior precipitação registada durou 5,0 meses, de 3 de novembro a 3 de abril, com probabilidade acima de 37%. Fonte: INGC (2018).

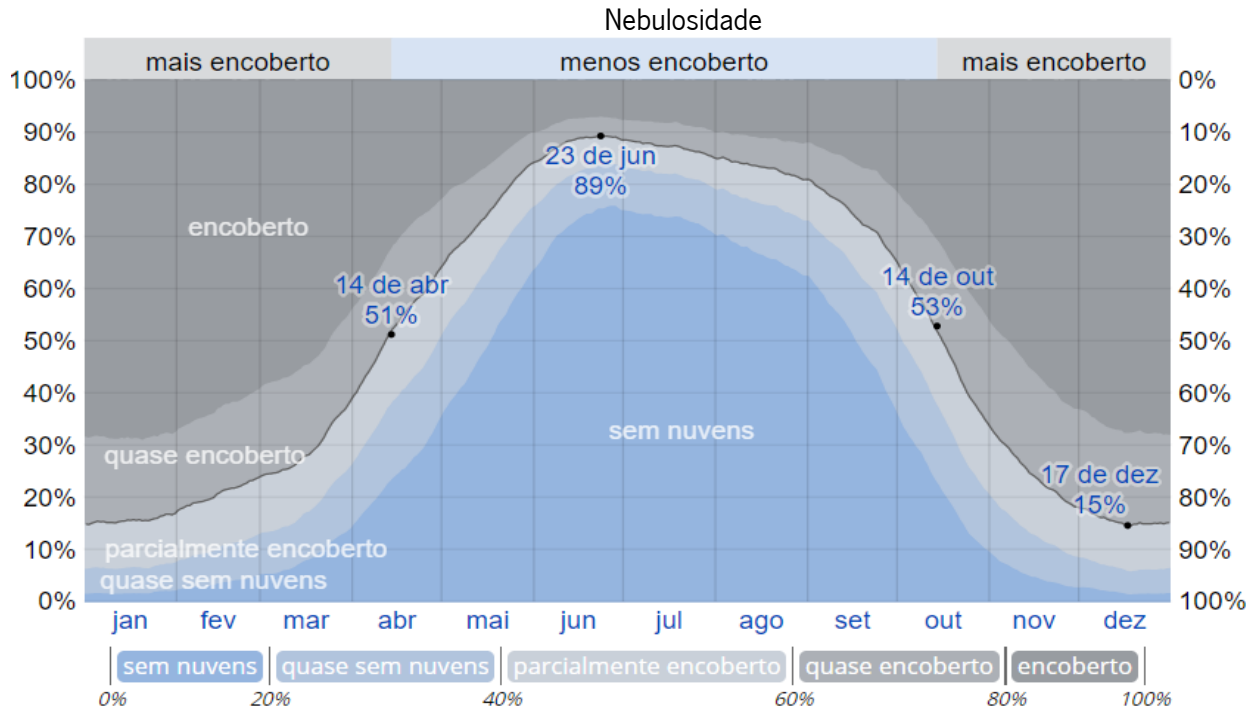


Gráfico A22: Percentagem de tempo passada em cada faixa de nebulosidade, categorizada pela percentagem de céu encoberto por nuvens. Fonte: INGC (2018).

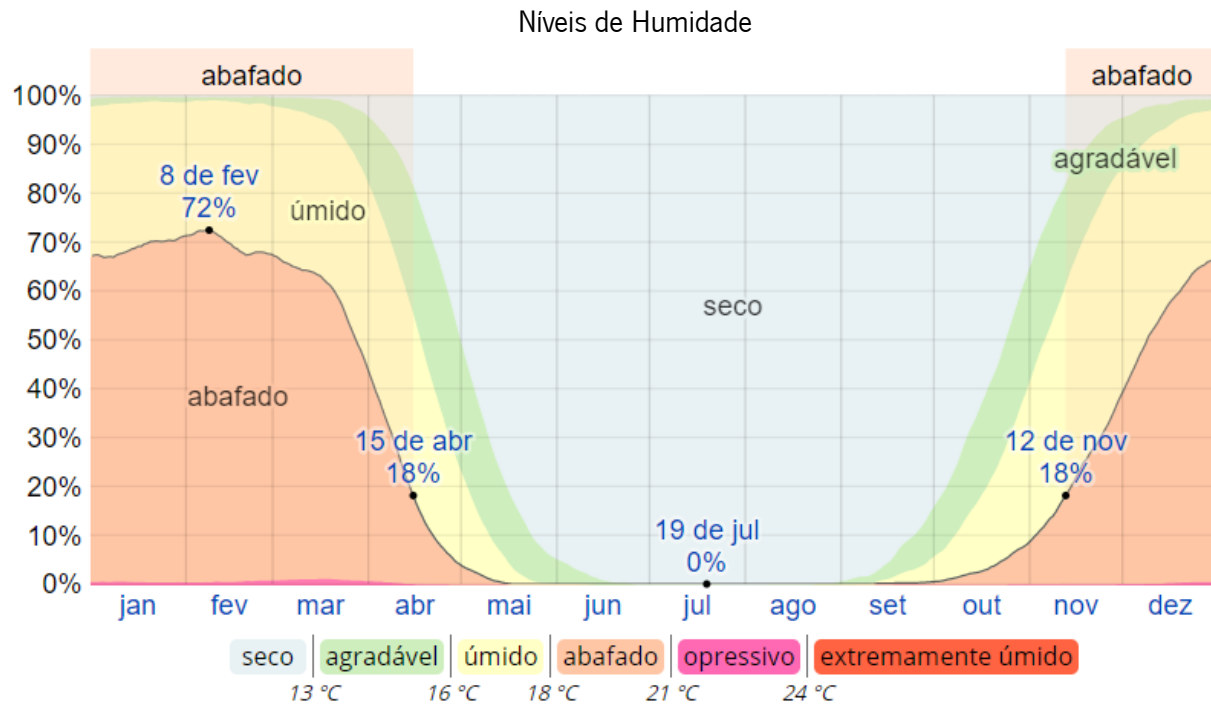


Gráfico A23: Níveis de umidade observada no Distrito de Marromeu. Fonte: INGC (2018).

Velocidade média do vento

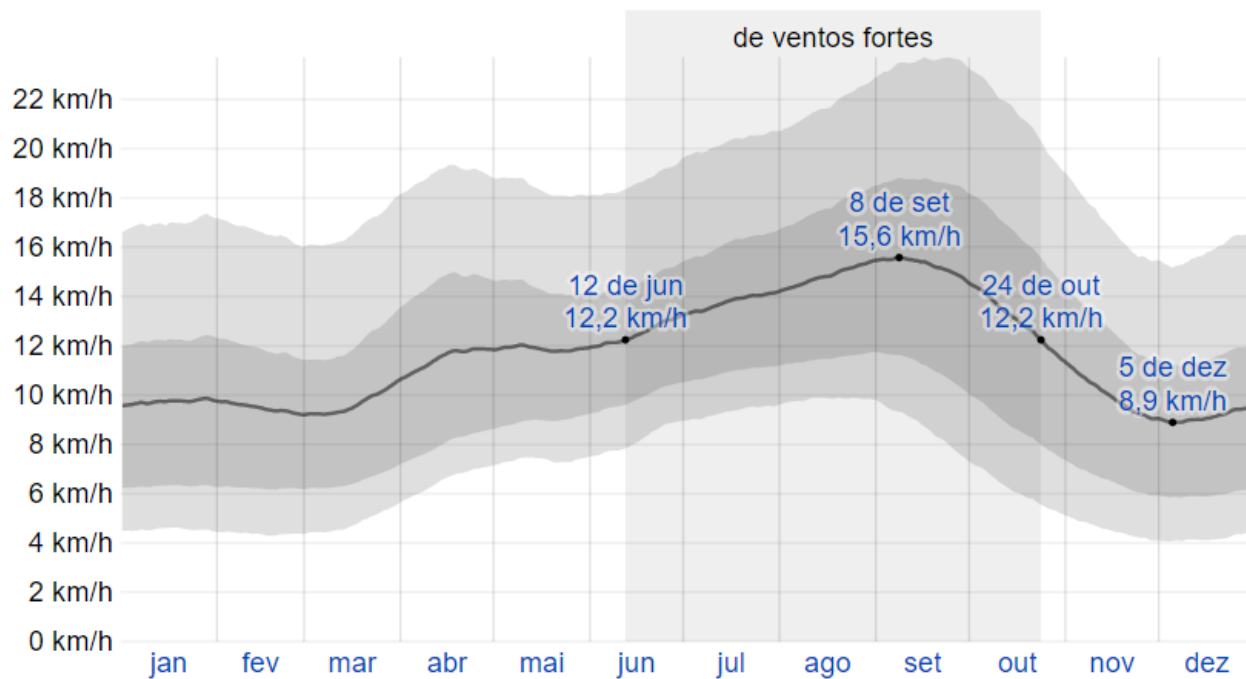


Gráfico A24: Velocidade média horária do vento (linha cinza escuro). Fonte: INGC (2018).

O Complexo de Marromeu - conjunto de áreas de conservação declarado sítio Ramsar (registado pela Convenção de Ramsar em 2004) - terra húmida de importância internacional, localizado no distrito de Marromeu, em Moçambique.

Reserva Especial de Protecção de Búfalos de Marromeu
maior população de búfalos (*Syncerus caffer*) do mundo



serviços prestados pelo ecossistema Marromeu

pesca artesanal



serviços prestados pelo ecossistema Marromeu

**monocultura
açucareira**



serviços prestados pelo ecossistema Marromeu



turismo cinegético
turismo rural e ecoturismo

serviços prestados pelo ecossistema Marromeu



controlo e regularização de máximos de inundação sazonal

VISTA AÉREA EM PERÍODO DE CHEIA - habitações de época chuvosa também inundadas - pico de cheia anómalo





DOMÍNIO ALVEOLAR

alvéolo com infiltração prevalente



DOMÍNIO ALVEOLAR

alvéolo com infiltração e emergência

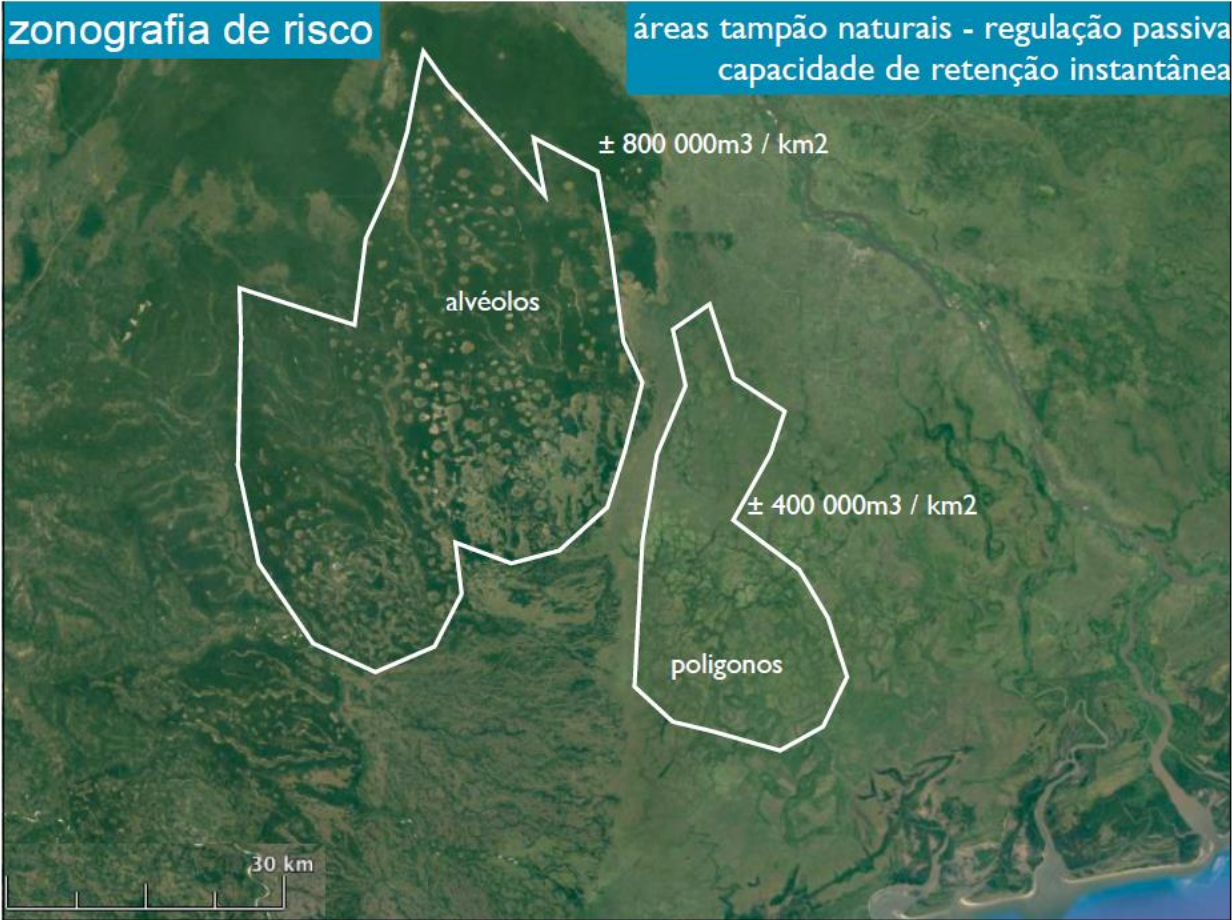


REDE ANOSTOMOSADA POLIGONAL - voo rasante em pico de cheia

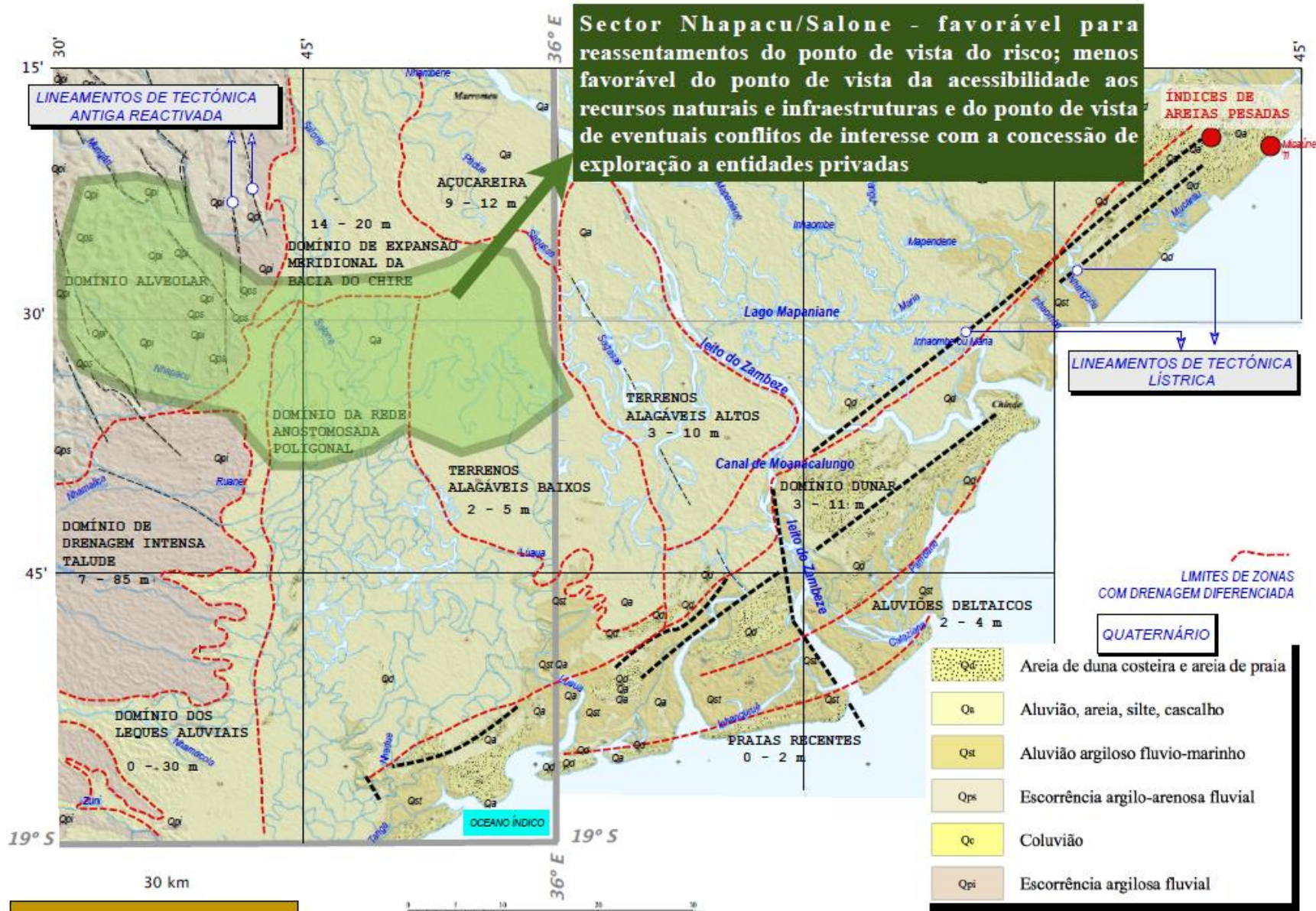


zonografia de risco

**áreas tampão naturais - regulação passiva
capacidade de retenção instantânea**



Áreas com menor risco de cheias/Inundações no distrito e favoráveis para os assentamentos populacionais



CARTA GEOLÓGICA E ZONOGRÁFIA DE INUNDAÇÃO DOS TANDOS DE MARROMEU

MODIFICADA A PARTIR DA COBERTURA 1:250 000 DA DIRECÇÃO NACIONAL DE GEOLOGIA DE MOÇAMBIQUE - FOLEAS:1835;1836