

Flávio Júlio Cândido

**ANÁLISE DE DIFERENTES SOLUÇÕES DE APROVEITAMENTO DE CRATERAS  
PARA CONSTRUÇÃO DE INFRA-ESTRUTURAS.**

**ESTUDO DE CASO: CRATERA DE MARRACUENE.**

Licenciatura em Engenharia de Construção Civil, com especialização em Construção e  
Manutenção de Edifícios

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Flávio Júlio Cândido

**ANÁLISE DE DIFERENTES SOLUÇÕES DE APROVEITAMENTO DE CRATERAS  
PARA CONSTRUÇÃO DE INFRA-ESTRUTURAS.  
ESTUDO DE CASO: CRATERA DE MARRACUENE.**

Monografia a apresentar à Faculdade de Engenharia e  
Tecnologias, para a obtenção do grau académico de licenciatura  
em Manutenção e Construção de Edifícios.

Arguente

Eng.Pacheo F. Macamo

Supervisor

Engº Eneas Emanuel Eduardo Arone

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

## Índice

|  |    |
|--|----|
| <b>Capítulo I: Contexto de Estudo</b> .....                                | 2  |
| <b>1. Problematização e problema.</b> .....                                | 2  |
| <b>1.1. Justificativa e Relevância da Pesquisa ou do Tema</b> .....        | 3  |
| <b>1.2. Formulação das Hipóteses</b> .....                                 | 3  |
| <b>1.3. Delimitação do Tema</b> .....                                      | 4  |
| <b>1.3.1. Delimitação Espacial</b> .....                                   | 4  |
| <b>1.3.2. Delimitação Temporal</b> .....                                   | 4  |
| <b>1.4. Objectivos</b> .....   | 4  |
| <b>1.4.1. Objectivo Geral</b> .....  | 4  |
| <b>1.4.2. Objectivos Específicos</b> .....                                 | 4  |
| <b>2. Estudo dos solos</b> .....   | 5  |
| <b>2.1. Índices físicos</b> .....  | 5  |
| <b>2.1.1. Relação entre pesos</b> .....                                    | 6  |
| <b>2.1.2. Relações entre volumes</b> .....                                 | 6  |
| <b>2.1.3. Relações entre pesos e volumes</b> .....                         | 6  |
| <b>2.2. Índice de plasticidade</b> .....                                   | 7  |
| <b>2.2.1. Outros índices</b> .....   | 7  |
| <b>2.3. Classificação de solo com base no triângulo de FERET</b> .....     | 10 |
| <b>2.3.1. Classificação Granulométrica</b> .....                           | 10 |
| <b>2.4. Definição de Talude</b> .....                                      | 11 |
| <b>2.4.1. Estabilidade de Taludes</b> .....                                | 12 |
| <b>2.4.2. Formas de ruptura de um talude de terra</b> .....                | 13 |
| <b>2.5. Métodos de cálculo de estabilidade</b> .....                       | 13 |
| <b>2.5.1. Método de Jambu / Jambu simplificado</b> .....                   | 14 |
| <b>2.5.2. Métodos de equilíbrio limite(das “fatias” ou lamelas);</b> ..... | 14 |
| <b>2.5.3. Método de Fellenius;</b> .....                                   | 15 |
| <b>2.5.4. Método de Bishop / Bishop simplificado;</b> .....                | 15 |
| <b>2.5.5. Método Infinito</b> .....  | 15 |
| <b>2.6. Mecanismo de Ruptura de Talude</b> .....                           | 16 |
| <b>2.7. Acções Instabilizadoras de Taludes</b> .....                       | 16 |
| <b>2.8. Factor de Segurança</b> .....                                      | 17 |
| <b>2.9. Movimentos gravitacionais de massa</b> .....                       | 18 |

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| <b>2.10.</b>  | <b>Classificação de movimentos de massa.....</b>                 | <b>19</b> |
| <b>2.11.</b>  | <b>Forças actuantes em um talude.....</b>                        | <b>19</b> |
| <b>2.12.</b>  | <b>Tensão no solo.....</b>                                       | <b>20</b> |
| <b>2.13.</b>  | <b>Comportamento tensão x deformação.....</b>                    | <b>21</b> |
| <b>2.14.</b>  | <b>Fundação.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.15.</b>  | <b>Parâmetros para a escolha de Fundação.....</b>                | <b>22</b> |
| <b>2.16.</b>  | <b>Patologia das Fundações.....</b>                              | <b>23</b> |
| <b>2.17.</b>  | <b>Recalque no leito do Aterro.....</b>                          | <b>24</b> |
| <b>2.18.</b>  | <b>Interacção Solo Estrutura.....</b>                            | <b>24</b> |
|               | <b>Capítulo III. Metodologia.....</b>                            | <b>26</b> |
| <b>4.</b>     | <b>Apresentação da área de Estudo.....</b>                       | <b>29</b> |
| <b>4.1.</b>   | <b>Descrição das crateras e os perigos que representam.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>4.2.</b>   | <b>Mecanismo de Protecção e Estabilidade de taludes.....</b>     | <b>32</b> |
| <b>4.3.</b>   | <b>Propostas de infra-estruturas a construir na cratera.....</b> | <b>33</b> |
| <b>4.3.1.</b> | <b>Proposta de Construção de Pavilhão desportivo.....</b>        | <b>33</b> |
| <b>4.3.2.</b> | <b>Proposta de Construção da Bacia de Retenção de Aguas.....</b> | <b>40</b> |
| <b>4.3.3.</b> | <b>Proposta da Construção de Aterro Sanitário.....</b>           | <b>46</b> |
|               | <b>Capítulo V.....</b>   | <b>47</b> |
| <b>5.</b>     | <b>Conclusão.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>5.1.</b>   | <b>Sugestões.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>6.</b>     | <b>Referências Bibliográficas.....</b>                           | <b>49</b> |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Diferentes camadas do solo .....  | 5  |
| Figura 2: Relação entre os diversos índices físicos. ....                                       | 7  |
| Figura 3: Índice de Plasticidade .....  | 9  |
| Figura 4: Triângulo de FERET .....  | 10 |
| Figura 5: Classificação do solo por granulometria desenvolvidas pelo USDA, ASTM e MIT.<br>..... | 10 |
| Figura 6: Ilustração de uma Cratera.....  | 11 |
| Figura 7: Ilustração de taludes ( fonte Bittencourt) .....                                      | 12 |
| Figura 8: Descrição de talude (Fonte Abel) .....  | 12 |
| Figura 9: Presença de uma descontinuidade em profundidade .....                                 | 13 |
| Figura 10: Ruptura de talude por escorregamento (fonte Gerschocovit).....                       | 16 |
| Figura 11: Movimento gravitacionais de massa .....  | 18 |
| Figura 12: Ilustração das forças actuantes na massa do solo. ....                               | 20 |
| Figura 13: Deformação cisalhante no plano XZ. ....  | 20 |
| Figura 14: Ilustração de tensões no solo .....  | 20 |
| Figura 15: Curva tensão x deformação .....  | 21 |
| Figura 16: Tipos de Fundações .....   | 22 |
| Figura 17: Fluxograma das etapas de projecto e possíveis causas de patologias .....             | 23 |
| Figura 18: Sistema de referência do Indeslocável (IWAMOTO, 2000). ....                          | 25 |
| Figura 19: Apresentação das crateras em estudo .....  | 29 |
| Figura 20: Imagem da localização da Cratera em estudo (fonte Google Earth).....                 | 30 |
| Figura 21: Vista Parcial da cratera 29 de setembro (fonte Autor). ....                          | 30 |
| Figura 22: Cratera de Magoanine (fonte Google Earth) .....                                      | 31 |
| Figura 23: Cratera de Guava (fonte autor) .....   | 32 |
| Figura 24: cratera de Tchumene .....  | 32 |
| Figura 25: Ilustração da intervenção do talude. ....  | 32 |
| Figura 26: Vista aérea da cratera .....   | 33 |
| Figura 27: Ilustração de Arquibancadas .....  | 34 |
| Figura 28: Ilustração de talude com reforço da tensão de resistência.....                       | 36 |
| Figura 29: Corte do muro de suporte .....   | 36 |
| Figura 30: Esquema de uma bacia de água (Adaptado de Avilez-Valente, 2020) .....                | 41 |
| Figura 31: Ilustração da bacia e condutas .....   | 41 |
| Figura 32: Pormenores da bacia.....   | 43 |
| Figura 33: tracado da bacia .....   | 43 |
| Figura 34: ilustração dos ângulos internos.....   | 43 |
| Figura 35: Areas e corte de cratera .....   | 45 |
| Figura 36: Representação da ocupação na cratera .....   | 45 |
| Figura 37: Desenho esquemático de um Aterro Sanitário. Fonte: Viasolo.....                      | 46 |
| Figura 38: Construção de um aterro sanitário.....   | 46 |
| Figura 39: Análise tátil visual .....   | 51 |
| Figura 40: Solo Solto, 2-Solo Friável, 3-Solo Firme, 4-Solo extremamente firme. ....            | 51 |
| Figura 41: Ilustração de plantas não adequadas para a proteção de taludes .....                 | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 42: Ilustração de plantas não adequadas para a protecção de taludes .....  | 55 |
| Figura 43: Corte transversal de estrutura de Arquibancadas .....  | 55 |
| Figura 44: Estrutura de Bancadas de um estádio. ....  | 56 |
| Figura 45: Detalhe dos assentos nos patamares e guarda-corpos (barreiras).....  | 56 |
| Figura 46: Detalhe do comprimento e numero maximo de assentos .....   | 57 |
| Figura 47: Detalhe das dimensoes dos assentos e dos patamares .....   | 58 |
| Figura 48. Detalhes do campo .....  | 58 |
| Figura 49: Ilustra uma tomada de água de uma bacia superficial seca típica. ....  | 60 |
| Figura 50: Perfil transversal tipo de uma bacia seca (Adaptado de Avilez-Valente, 2020) ....                                | 60 |
| Figura 51: Esquematisação de uma tomada de água de uma bacia de água permanente<br>(Adaptado de Avilez-Valente, 2020) ..... | 61 |
| Figura 52: Perfil Transversal de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente,<br>2020) .....                   | 61 |
| Figura 53: Previsão Climática.....  | 62 |
| Figura 54: Previsão de risco de ocorrência de cheias para OND-2021. ....  | 63 |
| Figura 55: Ilustração das Inundações na Cidade de Maputo .....  | 63 |
| Figura 56: Ilustração das Inundações na Matola.....   | 64 |
| Figura 57: Componentes hidráulicos de um sistema de drenagem tradicional.....   | 65 |
| Figura 58: Pormenores do sistema de drenagem na via publica (Fonte: Adaptado de Plinio<br>Tomaz 2010) .....                 | 65 |
| Figura 59: Cratera de Matola Gare .....   | 65 |
| Figura 60: Cratera de Sisuava .....   | 65 |
| Figura 61: Cratera da Mozal .....   | 66 |
| Figura 62: Cratera do Bairro T3.....  | 66 |
| Figura 63: Cratera de Konoluene.....  | 66 |

## Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1: Classificação granulométrica das fracções dos solos .....       | 10 |
| Quadro 2: Factores de segurança mínimos .....                             | 18 |
| Quadro 3: Classificação de Varnes .....                                   | 19 |
| Quadro 4: Técnicas para Contenção de taludes (Fonte Almeida).....         | 54 |
| Quadro 5: Barreiras antiesmagamento – posição e resistência mecânica..... | 57 |

## Lista de siglas, acrónimos, abreviaturas e símbolos

|                   |  |
|-------------------|--|
| EN1               | Estrada Nacional número 1.                               |
| ASTM              | American Society for Testing Materials                   |
| USDA              | United States Department of agriculture, Bureau of Soils |
| MIT               | Massachusetts Institute of Technology                    |
| SPT               | Standard Penetration Test                                |
| Ms                | peso do solo seco  |
| Mw                | peso da água   |
| MT                | peso total   |
| Vs                | Volume do solo seco                                      |
| Vw                | Volume da água   |
| Va                | Volume de ar   |
| Vv                | Volume de vazios   |
| VT                | Volume total   |
| v                 | Velocidade de queda                                      |
| $\gamma_s$        | Peso específico do material                              |
| $\gamma_w$        | Peso específico do fluído                                |
| $\mu$             | Viscosidade do fluído                                    |
| D                 | Diâmetro das partículas                                  |
| W                 | Peso da cunha de solo                                    |
| $\beta$           | Inclinação do talude com a horizontal                    |
| $\gamma$          | Peso específico do solo                                  |
| $\gamma_{sat}$    | Peso específico saturado do solo                         |
| $\gamma_w$        | Peso específico da água                                  |
| $\theta$          | Ângulo da superfície crítica com a horizontal            |
| $\sigma$          | Tensão normal  |
| $\tau$            | Tensão de cisalhamento                                   |
| $\phi'$           | Ângulo de atrito do solo                                 |
| $c'$              | Coesão do solo   |
| E                 | Empuxo de terra  |
| IP                | Índice de Plasticidade                                   |
| LL                | Limite de Liquidez                                       |
| IC                | Índice de Consistência                                   |
| IA                | Índice relativo de plasticidade                          |
| Fs                | Factor de segurança                                      |
| H                 | Profundidade da camada de solo                           |
| Na                | Componente normal de W com relação ao plano AC           |
| Nr                | Força total na base da fatia de solo                     |
| $P_n$ e $P_{n+1}$ | Forças na lateral da fatia de solo                       |
| R                 | Reacção à força peso                                     |
| Ta                | Componente tangencial de W com relação ao plano AC       |
| $T_n$ e $T_{n+1}$ | Forças cisalhantes nas laterais da fatia de solo         |
| Tr                | Tensão cisalhante na base da fatia de solo               |

### **Declaração de Honra**

Declaro por minha Honra, que esta Monografia é fruto da minha investigação pessoal e das orientações do meu supervisor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho nunca foi apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Novembro de 2023

---

(Flávio Júlio Cândido)

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser minha luz, minha salvação, meu guia, principal socorro presente nos momentos difíceis da vida, e a minha heroína mãe e toda minha família.

## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ser à base das minhas conquistas.

Agradeço a minha esposa Benilde, por todo apoio, paciência, companheirismo e ajuda ao longo do desenvolvimento do meu trabalho.

A minha mãe Isabel Luís por me apoiar nos estudos desde criança.

Ao Engenheiro Eneas E. E. Arone, pelos ensinamentos, disponibilidade, sua dedicação e por acreditar no meu trabalho.

A todo corpo Docente da Faculdade de Engenharia e Tecnológica, e aqueles que directa ou indirectamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho em particular o Mestre Magid, Arqt<sup>a</sup>. Sónia Alberto, Eng<sup>o</sup>. Juscelino Macamo, Eng<sup>a</sup>. Roberto Macarringue. Eng. José Simbine, Eng<sup>o</sup> Francisco Nhavotso, Eng<sup>o</sup>. Rachid Tamele, Eng<sup>o</sup> Fernando E. Namburete e a todos que não foram mencionados, por dedicação e competência na missão que foram incumbidos de modo a tornar me um profissional pronto a contribuir no desenvolvimento do país.

Muito obrigado.

## Resumo

O crescimento da Indústria de construção civil é proporcional aos desafios que o dia-a-dia apresenta principalmente para um país como nosso em vias de desenvolvimento. E preciso o aproveitamento máximo dos espaços para fazer face as exigências ou as necessidades da população, assim sendo este estudo tem como base a **Análise de diferentes Soluções do Aproveitamento de Cratera para Construção de Infra-estruturas**, o que é verificado em muitas zonas as crateras que acabam constituindo ameaça as populações por falta de projectos pré-definidos antes da sua criação ou exploração dos inertes para a Construção Civil.

Este estudo visa a colocar desafios para o Ramo da Construção e as entidades responsável pela Área de infra-estruturas no país, para a elaboração de projectos em função da sua localização com objectivo de aproveitar todas crateras possíveis.

Estudo propõe infra-estruturas que se adequam com a forma das crateras o que pode constituir vantagem na execução das mesmas, pois em algumas zonas as crateras são responsáveis pela erosão e colocam em risco as habitações e as infra-estruturas do uso público.

Para o melhor aproveitamento das crateras é indispensável a protecção de taludes principalmente em solos siltosos, depois de cortes não têm estabilidade prolongada a sua coesão não é apreciável. Mesmo em solos com estabilidade prolongada e é importante a protecção da talude para evitar a ruptura.

Neste estudo o actor apresenta algumas soluções para o controle de estabilidade de taludes e algumas técnicas de contenção que podem ser implementadas na protecção de taludes.

**Palavras Chave:** Crateras, taludes, estabilidade, ruptura e solos.

## **Astract**

The growth of the construction industry is proportional to the challenges that everyday life presents, especially for a developing country like ours. It is necessary to make the most of the spaces to meet the demands or needs of the population, therefore, this study is based on the Analysis of Solutions for the Use of Crater for the Construction of Infrastructures, which is verified in many areas the craters that end up constituting a threat to populations due to the lack of a pre-defined project before its creation or exploitation of aggregates for Civil Construction.

This study aims to pose challenges for the construction sector and the entities responsible for the Infrastructure Area in the country, for the preparation of projects depending on their location with the aim of taking advantage of all possible craters.

A study proposes infrastructures that adapt to the shape of the craters, which can be an advantage in their execution, since in some areas the craters are responsible for erosion and put houses and infrastructures for public use at risk.

For the best use of craters, it is essential to protect slopes, especially in silty soils, after cuts do not have prolonged stability and their cohesion is not appreciable. Even in soils with prolonged stability, it is important to protect the slope to avoid failure.

In this study, the actor presents some solutions for slope stability control and some containment techniques that can be implemented in slope protection.

**Keywords:** Craters, slopes, stability, rupture and soils

## **0. Introdução**

Na actualidade os espaços que se encontram nas proximidades das principais vias de acesso tem ganho muita atenção as autoridades e de grandes investidores para erguer infra-estruturas, e este estudo visa a demonstrar que as áreas ocupadas pelas crateras podem ser reaproveitadas para construção de infra-estruturas e esta pesquisa focou se nas crateras de Marracuene, localizadas na margem da Estrada Circular de Maputo.

Esta pesquisa apresenta uma lista de algumas infra-estruturas que podem ser construídas nessas crateras. E para além de surgimento de capim e arbustos estão ser usadas para depositar o lixo, também apresenta um risco a Estrada circular principalmente na época chuvosa. Bem Aproveitados estes espaços podem trazer uma paisagem diferente, atractiva ou em áreas de actividades recreativas.

Como pré-caução dos desastres são apresentadas algumas acções estabilizadoras de taludes e alguns procedimentos para evitar patologias nas fundações.

No desenvolvimento do trabalho são apresentadas algumas soluções e técnicas para protecção e contenção de taludes pois o maior desafio é evitar a ruptura, e para as infra-estruturas deve se garantir a interacção solo estrutura. Para o cálculo de estabilidade de modo a garantir o factor de segurança estão enumeradas métodos diversificados que são aplicados em função do tipo solo.

Este trabalho está dividido em cinco (5) capítulos, onde o primeiro, apresenta a introdução, problematização do trabalho, objectivos gerais e específicos e das hipóteses, assim como apresenta a justificativa. No segundo capítulo, tem a fundamentação teórica, O terceiro capítulo apresenta a metodologia usada para alcançar os objectivos pretendidos com o trabalho. O quarto capítulo apresenta o estudo de caso e Interpretação dos resultados, e no quinto capítulo e feita a apresentação da conclusão, sugestões, anexos e apêndice.

## **Capítulo I: Contexto de Estudo**

### **1. Problematização e problema.**

O problema que se levanta no trabalho é de perceber até que ponto as crateras resultantes da exploração das areias para as construções nas zonas de Marracuene e em geral contribuem para erosão, crescimento desordenado de matas ao redor, entre outros aspectos colocam em risco a vida das pessoas e das infra-estruturas ao redor das mesmas.

No caso de estudo a cratera de Marracuene que resulta da construção da Estrada Circular de Maputo há muito que se tornou um foco de preocupação da população, pois a mesma alberga um mata desorganizada, acumulo de águas resultantes da precipitação e que por sua vez causa o surgimento de mosquitos na área, contribuindo para o adoecimento da população ao redor, aumento da criminalidade, pois muitos criminosos cometem os crimes e correm para se esconder nas crateras onde ninguém se arrisca a entrar entre outros aspectos.

Também temos a cratera de CMC - Guava que tem acarretado preocupação para a população local e na sua maioria resultam da implantação de grandes projectos como é o caso da Circular de Maputo, pois é onde são extraídas as areias para fazer face as construções e algumas estão localizadas nas proximidades da cidade, outras estão em zonas de expansão.

O que tem se verificado é que após o abandono total desses lugares quando as obras terminam, não há nenhum plano em vista a recuperação ou reutilização das mesmas e por isso tem se verificado que em algumas crateras próximas as cidades, estas viram depósitos de resíduos sólidos por parte de alguns Municípios e de pequenas empresas, sem autorização do Município acaba poluindo o ambiente em volta. No período chuvoso há o problema da Erosão que pode culminar com a destruição ou arrastamento das construções em volta.

É, portanto verificar como se pode reaproveitar as presentes crateras para que se possa evitar os problemas acima levando-nos a questionar:

***Quais soluções devem ser adoptadas para o reaproveitamento das crateras na reconstrução de outras infra-estrutura que não comprometam a estabilidade das mesmas?***

## **1.1. Justificativa e Relevância da Pesquisa ou do Tema**

A escolha deste tema resulta da observância de inúmeras crateras sem projecto de reaproveitamento em vista, usando esses espaços que são propensos a erosão, será uma solução para mitigar os problemas do desabamento dos solos. Para além da protecção de taludes propõe-se a alocar infra-estruturas.

Com a construção de infra-estruturas a população terá como benefício postos de trabalho reduzindo deste modo o índice de desemprego. Quanto mais postos de trabalho existir mais será o poder de compra dos Municípios isso impulsionará na redução da fome e da pobreza.

Aos Municípios, esses locais serviram de fonte para angariar mais impostos o que pode ajudar no crescimento economia assim como o surgimento de outros empreendimentos de interesse da população.

Este trabalho tem como propósito colher dados para fonte de consulta sobre crateras (que tem surgido na Cidade de Maputo e Província, depois da exploração das areias são abandonadas sem nenhum plano de seguida), visto que há muito pouco escrito sobre o assunto no País. Para o sucesso desta pesquisa será usado recurso disponíveis.

## **1.2. Formulação das Hipóteses**

**H1:**A Construção de infra-estruturas para reaproveitamento das crateras poderão contribuir para a redução de matas, diminuição da criminalidade e de doenças resultantes das águas estagnadas nesses locais.

**H2:**A Construção de infra-estruturas para reaproveitamento das crateras não contribuirão para a redução de matas, diminuição da criminalidade e de doenças resultantes das águas estagnadas nesses locais;

**H3:** A construção de infra-estruturas é o meio viável para conter os solos do desabamento.

### **1.3. Delimitação do Tema**

#### **1.3.1. Delimitação Espacial**

O presente trabalho de pesquisa que centra-se na análise do reaproveitamento das crateras para reconstrução de infra-estruturas foi feito Cidade e Província de Maputo, o que permitiu um maior contacto entre o pesquisador os objectos de pesquisa uma vez que todos se encontram no mesmo local.

#### **1.3.2. Delimitação Temporal**

O presente trabalho de pesquisa centra-se entre os anos 2016-2023, pois foi o período onde se terminou a construção da Estrada Circular, e onde as crateras foram abandonadas ficando a merecer de malfeitores, da população e dos criminosos.

### **1.4. Objectivos**

#### **1.4.1. Objectivo Geral**

- Analisar as soluções mais viáveis para reconstruir em crateras de modo a garantir a estabilidade das infra-estruturas em crateras.

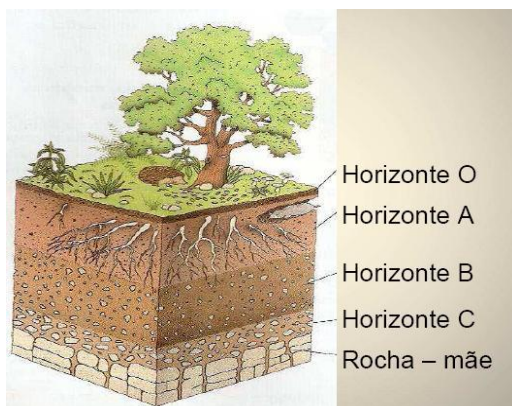
#### **1.4.2. Objectivos Específicos**

- Identificar e caracterizar as crateras existentes na Cidade e Província de Maputo;
- Descrever formas de conter a ruptura dos taludes em crateras;
- Definir o tipo de infra-estruturas mais sustentáveis em crateras;
- Propor métodos de construção que não comprometa a estabilidade das infra-estruturas.

## Capítulo II - Fundamentação

### 2. Estudo dos solos

Solo é um corpo de material inconsolidado, que recobre a superfície terrestre emersa, entre a litosfera e a atmosfera e é constituído de três fases sólida (minerais e matéria orgânica), líquida (solução do solo) e gasosa (ar). É produto do intemperismo sobre um material de origem, cuja transformação se desenvolve em um determinado relevo, clima, bioma e ao longo de um tempo. (Rodrigues 2012, p2.)



**Figura 1:** Diferentes camadas do solo

O estabelecimento da função, velocidade de queda-diâmetro de partícula se faz a partir do equilíbrio das forças actuantes (força peso) e resistentes (resistência viscosa) sobre a esfera, resultando:

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} D^2$$

#### 2.1. Índices físicos

O solo é constituído de 3 fases: partículas sólidas, água e ar. Costuma-se chamar de vazios o volume ocupado pela água e pelo ar. Portanto diz-se que o solo é constituído pelos grãos e pelos vazios (água e ar). Para identificar o estado do solo, foram definidos índices que correlacionam os pesos e os volumes das 3 fases.

### 2.1.1. Relação entre pesos

A **humidade** é dada em percentagem. Seus valores dependem do tipo de solo, mas situam-se geralmente entre 10 e 40%. Quando o solo está seco ao ar a humidade varia entre 3 e 5%. Existem solos que na natureza tem humidade muito alta, da ordem de 100 a 150%, como as argilas orgânicas. Alguns poucos solos podem chegar a humidades ainda maiores.

$$w = \frac{M_w}{M_s}$$

### 2.1.2. Relações entre volumes

#### ➤ Índice de vazios

O índice de vazios é um número adimensional. Seus valores variam normalmente entre 0,5 e 1,5. Nas argilas orgânicas estes valores podem chegar a 4. Nas turfas podem chegar a 9.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

#### ➤ Porosidade

A porosidade é dada em percentagem. Seus valores mais comuns estão entre 30 e 80%.

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

#### ➤ Grau de saturação

É dado em percentagem. Varia de zero (solo seco) a 100% (solo saturado).

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

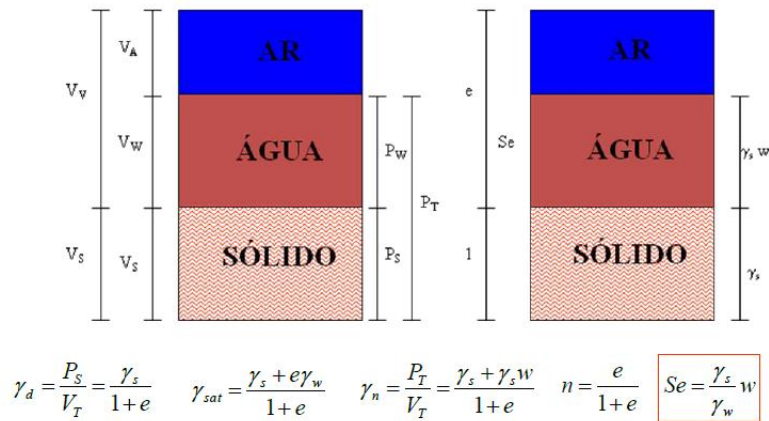
### 2.1.3. Relações entre pesos e volumes

**Peso específico dos sólidos (ou dos grãos):**

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s}$$

O peso específico dos sólidos varia pouco de solo para solo, estando geralmente em torno de 27 kN/m<sup>3</sup> ou 2,7 tf/m<sup>3</sup> ou 2,7 gf/cm<sup>3</sup>. Normalmente, este valor pode ser adoptado, quando não

se dispõe de resultados de ensaio. Os valores limites atingidos pelo peso específico dos sólidos são de 2,5 gf/cm<sup>3</sup> a 3,0 gf/cm<sup>3</sup>(Gonçalves, 2014, p14).



**Figura 2:** Relação entre os diversos índices físicos.

## 2.2. Índice de plasticidade

O índice de plasticidade deve ser obtido pela expressão:

$$IP = LL - LP$$

onde:

IP = índice de plasticidade

LL = limite de liquidez

LP = limite de plasticidade

O Índice de plasticidade deve ser expresso em porcentagem (inteira);

Quando não for possível determinar o limite de liquidez ou o limite de plasticidade, ou se for obtido LP maior ou igual à LL, anotar o índice de plasticidade como NP. (Almeida 2005, p.103)

### 2.2.1. Outros índices

O índice de consistência, **IC = (LL – h) / IP** indica a consistência aproximada de um solo (identificação de camadas argilosas ao natural). É um indicativo da capacidade de resistência à esforços de compressão (sem caráter decisivo), no teor de umidade h (geralmente a umidade natural). É pouco utilizado.

$$IC < 0 \quad 0 < IC < 0.5 \quad 0 < IC < 0.75 \quad 0.75 < IC < 1 \quad IC < 1$$

Muito Mole(vasa)      Consistência Mole      Consistência Media      Consistência Rija      Consistência Dura

O índice relativo de plasticidade  $R = (h - LP) / IP$  indica o estado de consistência do solo no estado plástico. Tem pouca utilidade, e a semelhança de termos pode causar confusão com o IC.

#### Consistência no Estado Plástico

|                       |                                      |                         |                             |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| $0 < R < 1/4$<br>Rija | $1/4 < R < 1/2$<br>Medianamente Mole | $1/2 < R < 3/4$<br>Mole | $3/4 < R < 1$<br>Muito mole |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|

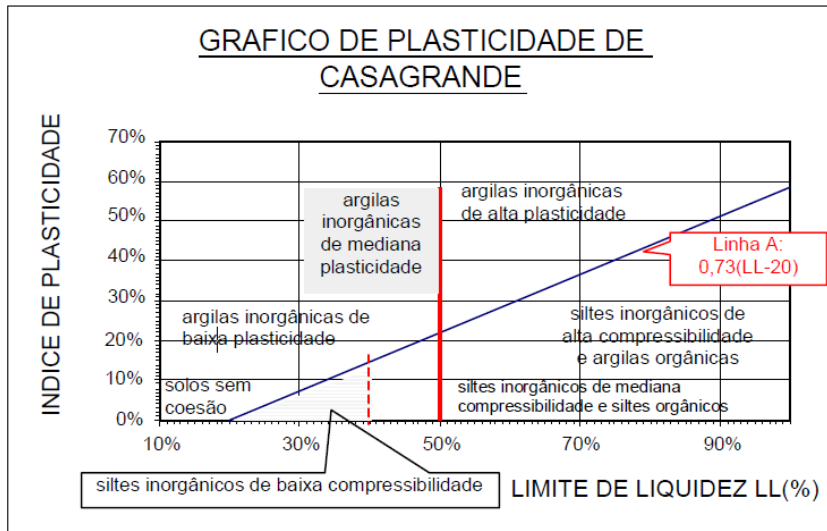
O índice de atividade (IA) indica a capacidade da argila do solo de transmitir plasticidade, e seu valor fornece uma indicação mineralógica sobre sua parte argilosa.

#### IA = IP (% de Argila)

|                              |                                     |                              |
|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| IA < 0.7<br>Atividade normal | $0.7 < IA < 1.5$<br>Atividade media | IA > 1.5<br>Atividade grande |
|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|

O gráfico de plasticidade de Casagrande permite caracterizar solos finos a partir do IP e do LL: Os solos com LL maior que 50% são muito compressíveis e abaixo de 40% tem baixa ou nenhuma ( $LL < 20\%$ ) compressibilidade. Acima da linha A situam-se as argilas inorgânicas (mais plásticas) e abaixo, argilas orgânicas e siltes.

Para a definição da origem orgânica, deverão ser realizados dois ensaios para a determinação do Limite de Liquidez: um com o solo secado em estufa (LLs) e o outro nas condições naturais, (LLn). Se a relação:  $LLs / LLn$  for menor que 0,75, o solo deve ser considerado orgânico. (Almeida 2005, p.104)



**Figura 3:** Índice de Plasticidade

No que tange à mecânica dos solos os três tipos básicos de solos são: arenoso, siltoso e argiloso.

Solos arenosos São aqueles em que a areia predomina. Esta compõe-se de grãos grossos, médios e finos, mas todos visíveis a olho nú. Como característica principal a areia não tem coesão, ou seja, os seus grãos são facilmente separáveis uns dos outros. Por exemplo, pense na areia seca das praias, em como é fácil separar seus grãos.

Solo Argilosos caracteriza-se pelos grãos microscópicos, de cores vivas e de grande impermeabilidade. Como consequência do tamanho dos grãos, as argilas:

- São fáceis de serem moldadas com água;
- Têm dificuldade de desagregação;
- Formam barro plástico e viscoso quando húmido. Permitem taludes com ângulos praticamente na vertical.

Solos siltosos, o Silte está entre a areia e a argila e é o “primo pobre” destes dois materiais nobres. É um pó como a argila, mas não tem coesão apreciável. Também não tem plasticidade digna de nota quando molhado. Estradas feitas com solo siltoso formam barro na época de chuva e muito pó quando na seca. Cortes feitos em terreno siltoso não têm estabilidade prolongada, sendo vítima fácil da erosão e da desagregação natural precisando de mais manutenção e cuidados para se manter.

### 2.3. Classificação de solo com base no triângulo de FERET

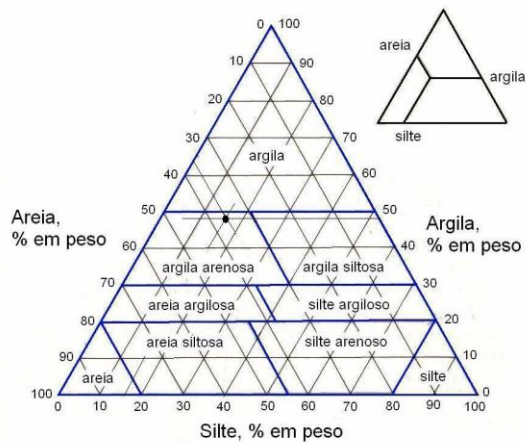


Figura 4: Triângulo de FERET

#### 2.3.1. Classificação Granulométrica

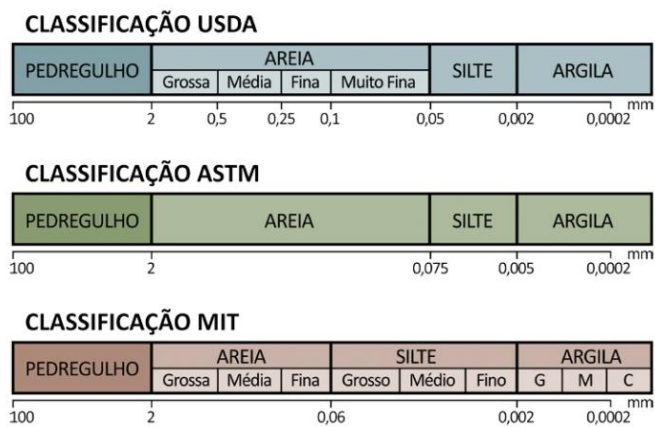


Figura 5: Classificação do solo por granulometria desenvolvidas pelo USDA, ASTM e MIT.

| Fração       | Limites          |
|--------------|------------------|
| Pedregulho   | > 2mm            |
| Areia grossa | 0,6mm a 2,0mm    |
| Areia média  | 0,20mm a 0,6mm   |
| Areia fina   | 0,06mm a 0,2mm   |
| Silte        | 0,002mm a 0,06mm |
| Argila       | < 0,002mm        |

Quadro 1: Classificação granulométrica das fracções dos solos

**Cratera** é Abertura larga por onde o vulcão expelle as matérias inflamadas. Depressões do terreno (principalmente na superfície lunar). (Dicio 2018)

**Cratera** é uma depressão existente no solo de qualquer corpo celeste. É caracterizada por bordas elevadas do que o terreno que as cerca. Pode ser provocada pelo impacto de um meteorito ou asteroide com a superfície de um planeta, satélites ou outros asteroides.

O termo é também utilizado para designar a depressão formada pelos vulcões; o termo *cratera* vulcânica não deve ser confundido com caldeira (geologia), uma estrutura de colapso ou abatimento formada pela descompressão nos sistemas vulcânicos. Outras crateras podem ser provocadas pela erosão, afundamento do terreno, mineração, terremotos, explosões, desmoronamento de cavernas. (Dicionário Online 2020)

A cratera em estudo resulta da acção humana, onde extraiu-se as áreas para a terraplanagem da estrada circular.

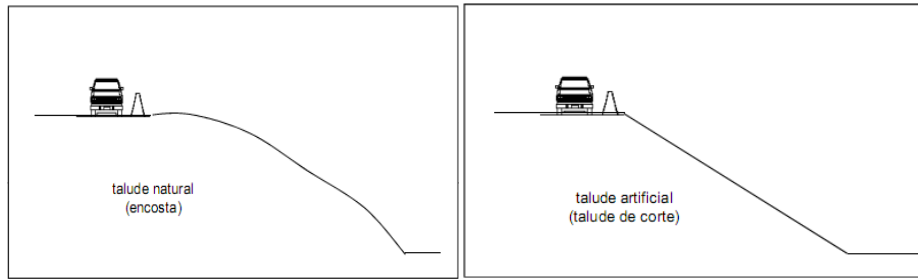


**Figura 6:** Ilustração de uma Cratera.

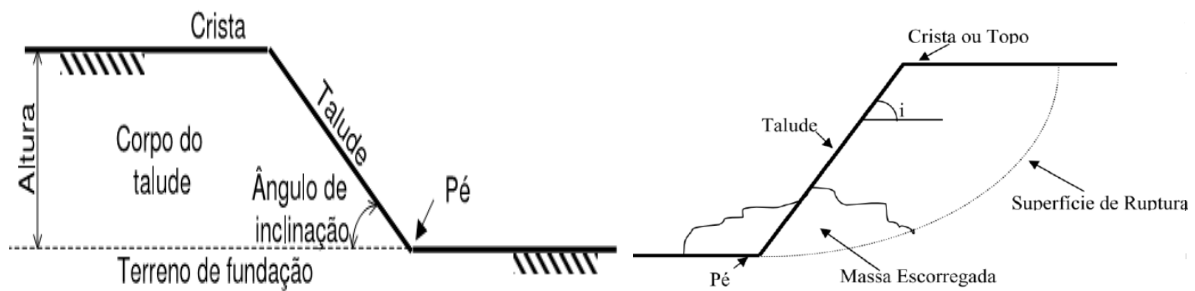
#### **2.4. Definição de Talude**

"Talude a qualquer superfície inclinada em relação a horizontal que delimita um a massa de solo, rocha ou outro material qualquer (minério, escória, lixo etc.). Podem ser naturais (encostas) ou construídos pelo homem (cortes e aterros)". (Bittencourt 2017, p2)

Os taludes artificiais são os declives de aterros construídos pelo homem. Eles alteram as paisagens originais, actuando sobre os factores ambientais, modificando a vegetação, alterando topografias, podendo inclusive interferir sobre o clima da região (GERSCOVICH, 2012 apus FAVACHO 2014, p.10).



**Figura 7:** Ilustração de taludes ( fonte Bittencourt)



**Figura 8:** Descrição de talude (Fonte Abel)

#### 2.4.1. Estabilidade de Taludes

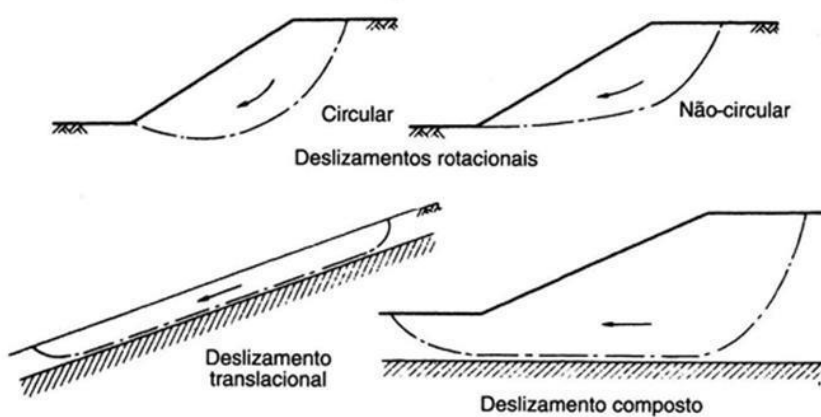
- Influência da água intersticial.
- Aumento do peso específico do solo pela retenção parcial das águas de infiltração.
- Desenvolvimento de opressões no terreno, com conseqüente redução das tensões efectivas;
- Eliminação coesão aparente (sucção) em solos não saturados;
- Perda da cimentação existente entre as partículas de solo;
- Introdução de uma força de percolação na direcção do fluxo, que tende a arrastar as partículas do solo.

- **Acção Antrópica**

- Execução de cortes com geometria incorrecta;
- Execução deficiente de aterros (geometria, compactação e fundação);
- Lançamento de lixo, entulho nas encostas ou nos taludes;
- Remoção da cobertura vegetal;

- Lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas;
- Vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões etc.

#### 2.4.2. Formas de ruptura de um talude de terra



**Figura 9:** Presença de uma descontinuidade em profundidade

#### 2.5. Métodos de cálculo de estabilidade

Métodos de cálculo de estabilidade é feita avaliando -se as condições de equilíbrio da massa de solo num estado de ruptura iminente com as Seguintes Hipóteses básicas (Bittencourt 2017):

- A superfície potencial de ruptura é pré-definida e de geometria qualquer;
- Equações de equilíbrio estático válidas até a iminência de ruptura;
- Validade do critério de ruptura ao longo de toda a superfície de ruptura considerada;
- FS é constante ao longo de toda a superfície de ruptura considerada;
- A Superfície potencial de ruptura ,associada ao FS mínimo, é determinada por um processo de procura (processo iterativo).

Existe vários Métodos de cálculo de estabilidade de taludes, nomeadamente:

- Método de Morgenstern-Price;
- Método de Spencer;
- Método de Sarma;
- Método das cunhas;

### 2.5.1. Método de Jambu / Jambu simplificado

Método de Jambu Generalizado Jambu (1954, 1957, 1973) desenvolveu um Método rigoroso E generalizado, que satisfaz a todas as equações de equilíbrio. A massa de solo é subdividida em fatias infinitesimais e feito o equilíbrio de Forças e de Momentos em cada fatia. Usando o equilíbrio de Forças horizontais como critério de estabilidade para toda a massa, Jambu definiu o Fator de Segurança Como:

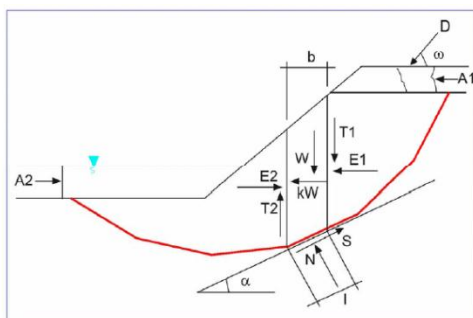
$$FS = \frac{\sum b \left[ c' + \left( \frac{W+dX}{b} - u \right) \text{tg} \phi' \right]}{dE + \sum [dx(W+dX) \text{tg} \alpha]} \cdot \frac{1}{n_\alpha}$$

em que  $n_\alpha$  é dado por

$$n_\alpha = \frac{1 + \text{tg} \alpha \text{tg} \phi' / FS}{1 + \text{tg}^2 \alpha} = \cos^2 \alpha \left( 1 + \text{tg} \alpha \frac{\text{tg} \phi'}{FS} \right)$$

Analogamente ao observado em outros métodos de estabilidade, o FS é calculado de forma iterativa, pois aparece em ambos os lados da equação.

### 2.5.2. Métodos de equilíbrio limite (das “fatias” ou lamelas);



$$S = \tau l = \frac{s l}{FS_{local}} = \frac{l}{FS_{local}} [c' + (\sigma - u) \tan \phi']$$

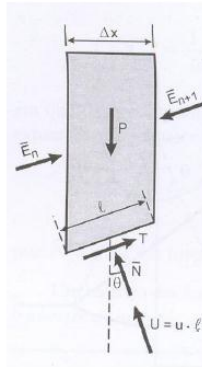
### 2.5.3. Método de Fellenius;

Equilíbrio de forças na direcção normal para pressões neutras elevadas o método pode induzir erro

$$\bar{N} + U = P \cdot \cos \theta$$

$$\bar{N} = P \cdot \cos \theta - u \cdot \Delta x \cdot \sec \theta$$

$$F = \frac{\sum [c' \cdot \ell + (P \cdot \cos \theta - u \cdot \Delta x \cdot \sec \theta) \cdot \operatorname{tg} \phi']}{\sum (P \cdot \operatorname{sen} \theta)}$$

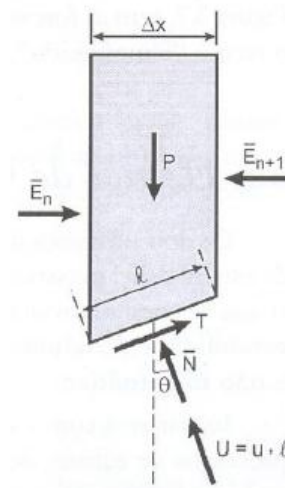


### 2.5.4. Método de Bishop / Bishop simplificado;

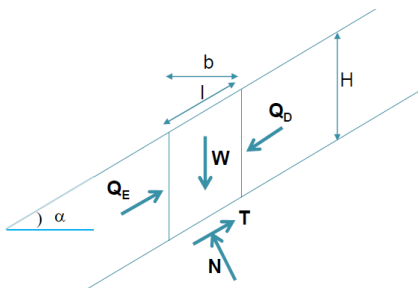
$$(\bar{N} + U) \cdot \cos \theta + T \cdot \operatorname{sen} \theta = P$$

$$\bar{N} = \frac{P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}}{\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}}$$

$$F = \frac{\sum \left[ c' \cdot \ell + \frac{P - u \cdot \Delta x - c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta / F}{\cos \theta + \operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta / F} \cdot \operatorname{tg} \phi' \right]}{\sum (P \cdot \operatorname{sen} \theta)}$$



### 2.5.5. Método Infinito.



$$\cos \alpha = \frac{b}{l}$$

$$W = \gamma b H$$

$$Q_E = -Q_D$$

$$T = W \sin \alpha = \gamma b H \sin \alpha$$

$$N = W \cos \alpha = \gamma b H \cos \alpha$$

$$T = \frac{s l}{F}$$

$$F = \frac{s l}{T} = \frac{(c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi') l}{T} = \frac{c' l + N \operatorname{tg} \phi'}{T}$$

$$F = \frac{c' l + \gamma b H \cos \alpha \operatorname{tg} \phi'}{\gamma b H \sin \alpha}$$

$$F = \frac{c' + \gamma H \cos^2 \alpha \operatorname{tg} \phi'}{\gamma H \sin \alpha \cos \alpha}$$

$$Q_E = -Q_D$$

$$T = W \sin \alpha = \gamma b H \sin \alpha$$

$$N = W \cos \alpha = \gamma b H \cos \alpha$$

$$T = \frac{s l}{F}$$

$$F = \frac{s l}{T} = \frac{(c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi') l}{T}$$

$$F = \frac{c' l + (N - U) \operatorname{tg} \phi'}{T}$$

$$F = \frac{c' + (\gamma H \cos^2 \alpha - u) \operatorname{tg} \phi'}{\gamma H \sin \alpha \cos \alpha}$$

## 2.6. Mecanismo de Ruptura de Talude

A ruptura de um talude acontece na maioria das vezes quando uma fundação é carregada até essa ruptura ou quando ocorre o escorregamento de um respectivo talude. Somente em condições especiais as rupturas por tensões de tracção podem ocorrer (HORST, 2007 apud SILVA, 2018, ).



**Figura 10:** Ruptura de talude por escorregamento (fonte Gerschocovit)

O movimento dos taludes acontece quando uma massa de solo ou rocha se desliga da restante, perdendo a capacidade de equilíbrio (Varnes 1978, Silva 2018).

## 2.7. Acções Instabilizadoras de Taludes

As principais acções instabilizadoras são, segundo Cunha (1991, p.61):

- Escorregamento devido à inclinação: ocorre quando a inclinação do talude excede aquela imposta pela resistência ao cisalhamento do maciço e nas condições de presença de água.

- Escorregamento por descontinuidade: O contacto solo-rocha constitui, em geral, uma zona de transição entre esses materiais. Quando ocorre um contraste de resistência acentuado entre eles, com inclinação forte e, principalmente, na presença de água, a zona de contacto pode condicionar a instabilidade do talude. Ou seja, não há uma ligação forte entre o solo com a rocha, ocasionando o escorregamento.
- Escorregamentos por percolação de água: são registados nos períodos de chuva quando há elevação do nível do lençol freático ou, apenas, por saturação das camadas superficiais de solo
- Escorregamento em aterro: podem ocorrer nas laterais do aterro, devido à má compactação, mas, geralmente, de pequenas proporções. O material solto tende a escorregar e, se não houver tratamento, poderá evoluir por erosão.

## 2.8. Factor de Segurança

A estabilidade de um talude pode ser avaliada por um factor de segurança.

$$F_s = \frac{\tau_r}{\tau_a}$$

Onde:

$\tau_r$ : tensão de cisalhamento média resistentes do solo;

$\tau_a$ : tensão de cisalhamento atuante na superfície de ruptura analisada.

O Factor de segurança é a relação entre as forças (ou momentos) estabilizantes e instabilizantes. Portanto, quando ocorre um escorregamento o factor de segurança é igual a 1.

A partir do conceito de Factor de Segurança, avalia-se se um talude é estável ou não. Para casos gerais, as condições de estabilidade são (GERSCOVICH, 2016 apud

Joinville 2018, p 23 )

- **FS > 1: Obra estável;**
- **FS = 1: Equilíbrio indiferente;**
- **FS < 1: Ruptura.**

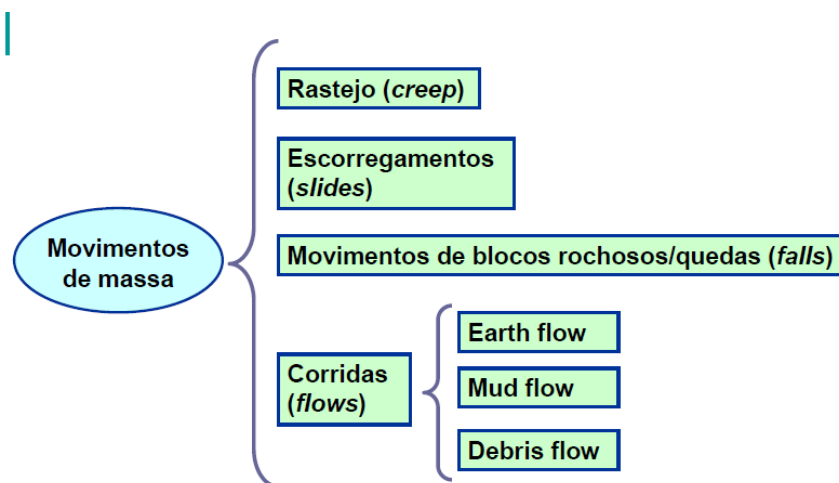
| Nível de segurança contra danos materiais e ambientais | Nível de segurança contra perdas humanas |       |       |
|--|--|-------|-------|
|  | Alto                                     | Médio | Baixo |
| Alto   | 1,5                                      | 1,5   | 1,4   |
| Médio  | 1,5                                      | 1,4   | 1,3   |
| Baixo  | 1,4                                      | 1,3   | 1,2   |

**Quadro 2:** Factores de segurança mínimos

## 2.9. Movimentos gravitacionais de massa

"Os problemas associados a instabilidade de encostas são responsáveis por promover a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, que ao longo dos anos e foram classificados segundo diferentes metodologias, como, por exemplo, Hutchinson (1968), Varnes (1978), e Guidicini & Nieble (1983). A classificação de Varnes (1978) tornou-se referência para muitos pesquisadores, sendo ela considerada oficial pela International Association of Engineering Geology and the Environmental Engineering – IAEG" (Conti. 2012, apud Joinville 2018, p16).

Esta classificação abrange os movimentos que envolvem materiais rochosos, porém, em se tratar deste trabalho de encostas constituídas por solo, a coluna destinada a tais movimentos foi convenientemente suprimida.



**Figura 11:** Movimento gravitacionais de massa

## 2.10. Classificação de movimentos de massa

| Tipo de Movimentos |               |                 | Solos de Engenharia                           |                        |
|--------------------|---------------|-----------------|---|------------------------|
| Quedas             |               |                 | Predominantemente grosso                      | Predominantemente fino |
| Desabamento        |               |                 | De detritos                                   | De terra               |
| Escorregamento     | Rotacional    | Poucas Unidades | De detritos                                   | De terra               |
|                    | Translacional | Muitas Unidades | De detritos                                   | De solo                |
| Espalhamento       |               |                 | De detritos                                   | De solo                |
| Corridas           |               |                 | De detritos                                   | De lama                |
| Complexo           |               |                 | Combinação de dois ou mais tipos de movimento |                        |

### Quadro 3: Classificação de Varnes

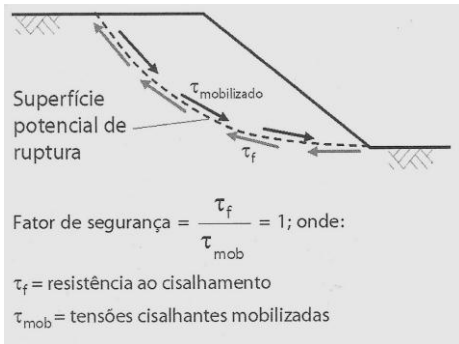
## 2.11. Forças actuantes em um talude

### Forças instabilizadoras

- Induzem o movimento de massa ao longo da superfície de ruptura por meio das tensões cisalhantes mobilizadas
- Comumente forças gravitacionais e/ou de percolação

### Forças resistentes

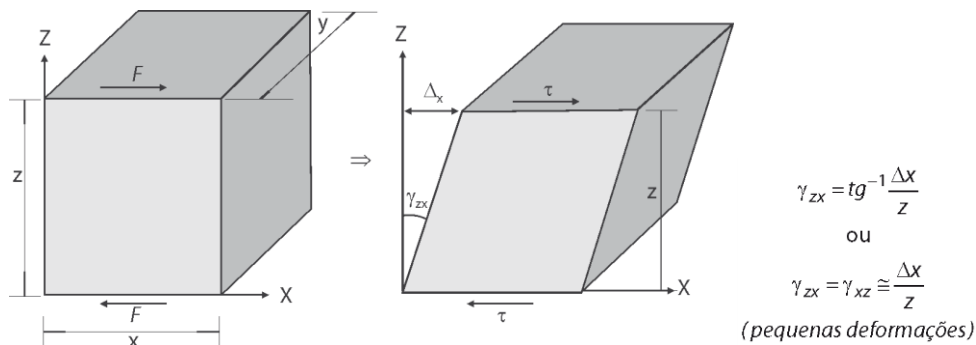
- Se opõem a acção do movimento de massa, em função da resistência ao cisalhamento do material.



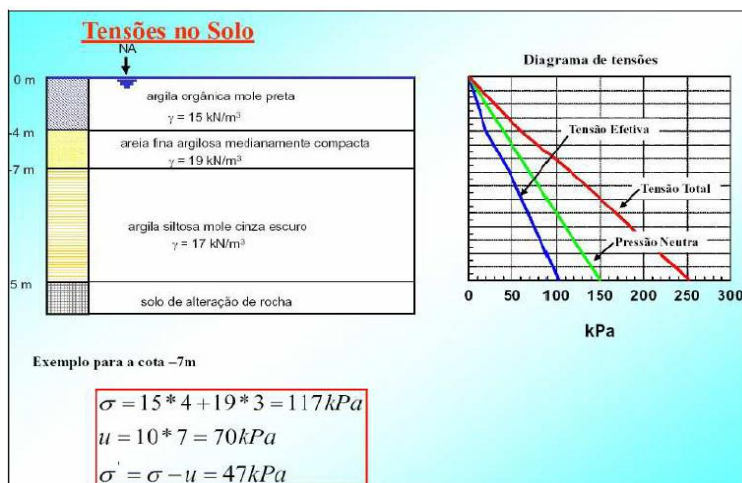
**Figura 12:** Ilustração das forças actuantes na massa do solo.

## 2.12. Tensão no solo

O autor Define a Tensão como "Qualquer ponto no interior da massa de solo esta sujeito a esforços, em razão do peso próprio, além daqueles gerados pela acção de forças externas. Esses esforços podem ser representados por suas resultantes, actuantes nas direcções normal (Ra) e tangencial (Ta) (Gerscovich 2016, p 42)



**Figura 13:** Deformação cisalhante no plano XZ.

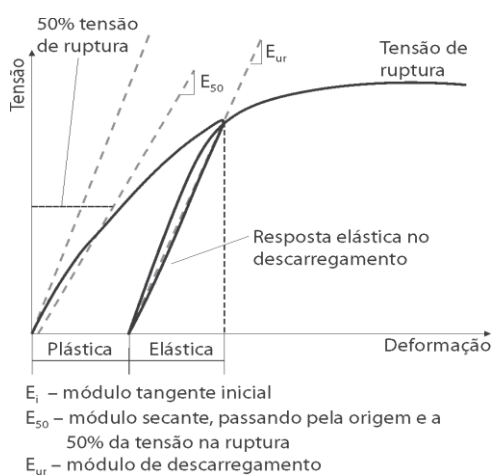


**Figura 14:** Ilustração de tensões no solo

### 2.13. Comportamento tensão x deformação

Em solos, as relações tensão  $\times$  deformação são não lineares. Os módulos de elasticidade ou de deformabilidade, ou módulo de Young ( $E$ ), que caracterizam a inclinação da curva, variam em função do nível de tensões e da sua trajectória de tensões.

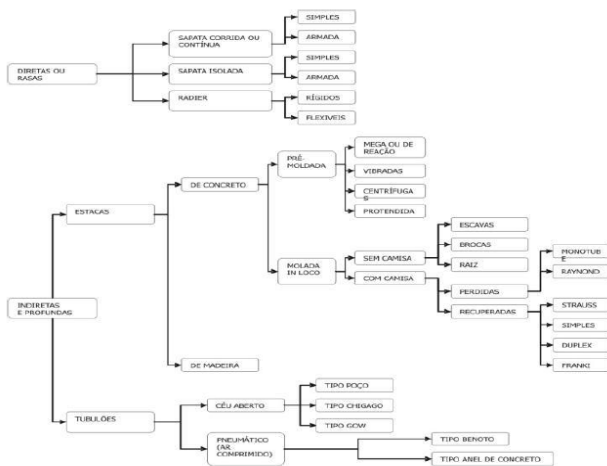
Quando o solo é descarregado, a inclinação da curva muda, indicando que o módulo de deformabilidade no descarregamento ( $E_{ur}$ ) é significativamente maior do que no carregamento ( $E_{ur} > E$ ). Após o descarregamento, as deformações não são recuperadas integralmente, permanecendo um resíduo denominado deformação plástica.



**Figura 15:** Curva tensão x deformação

### 2.14. Fundação

As fundações são os elementos estruturais que tem como função transmitir as cargas de uma estrutura para o terreno, sendo divididas em fundações directas ou rasas e fundações indirectas ou profundas. A fundação ideal para determinada obra será baseada através de estudos do solo proporcionados pelas sondagens. (AZEREDO, 1997 apud MATHEUS, 2019 p.)



**Figura 16:**Tipos de Fundações

Enquadram-se nesta definição:

Segundo Monteiro (2001), “As Fundações são elementos estruturais destinados a suportar toda carga de pressão proveniente dos carregamentos de esforços oriundos do peso próprio dos elementos estruturais como num todo, acrescido dos carregamentos provenientes do uso.” E ainda acrescenta dizendo que “ Esse elemento tem por finalidade distribuir os esforços estruturais para o terreno (solo), dando assim estabilidade a obra. ”

### 2.15. Parâmetros param a escolha de Fundação

Para (Nobrega apud Braga, 2009, p31.) podem ser considerados como factores

Principais que determinam a escolha de um determinado tipo de fundação os seguintes:

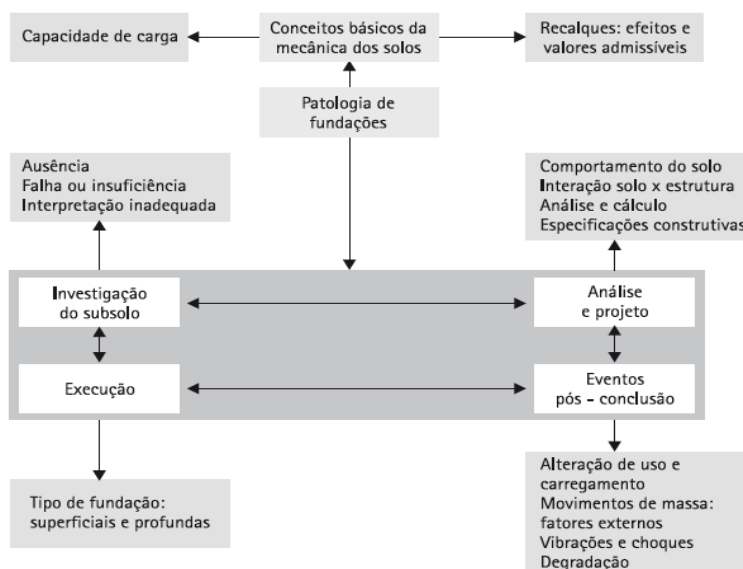
- A carga da edificação, ou seja, a carga proveniente dos pilares. Assim, é importante conhecer o carregamento dos pilares, identificando a ocorrência de esforços de compressão, tracção ou de flexão;
- O tipo de solo, que através dos relatórios de sondagem, é possível identificar a presença de argilas moles orgânicas, de solos muito resistentes, de nível d’água e de actuações;

- As vizinhanças, pois a localização da obra tem sido um factor determinante na escolha, visto que alternativas à percussão como estacas pré-moldadas de concreto, metálicas e Franki são evitadas devido aos incómodos sofridos pelos vizinhos;
- O cronograma de execução, buscando alternativas com menor prazo de execução;
- E o custo, um factor importante, mas que não pode superar os factores técnicos de projecto.

## 2.16. Patologia das Fundações

"As patologias são decorrentes das incertezas e riscos inerentes à construção e vida útil das fundações. Na busca de solu - condições do subsolo são causas frequentes na adopção de soluções inadequadas, (Milititsky et al, 2015, p10):"

- Análise e projecto de fundações, destacando-se os mecanismos de interacção solo x estrutura, cálculos, detalhadamente e especificações construtivas;
- Procedimentos construtivos dos diferentes tipos de fundações, tanto superficiais como profundas;
- Eventos pós-conclusão, como alterações de uso e carregamentos, movimentos de massa por escavações e efeitos de choques e vibrações, bem como a degradação dos elementos de fundação.



**Figura 17:** Fluxograma das etapas de projecto e possíveis causas de patologias

Em síntese, de acordo com Zichetti (2015) as causas principais de patologias em fundações, pode-se citar a ausência ou insuficiência de investigações geotécnicas, má interpretação dos dados colectados pelos ensaios realizados, avaliação errada dos valores dos esforços provenientes da estrutura, adoção inadequada de tensão admissível do solo, modelos matemáticos desfasados para cálculo de fundações, má execução por imperícia e falta de treinamento de Mão-de-obra, sequência construtiva inadequada, influências externas como escavações e deslizamentos e ampliações de áreas e acréscimo de pavimento sobrecarregando a fundação.

### **2.17. Recalque no leito do Aterro**

Recalques totais e diferenciais do corpo do aterro, causados pelo seu peso próprio e/ou pelo carregamento provocado pela fundação, ocorrem normalmente como são arrolados Milititsky et. al. (2015) nos seguintes casos:

- Quando da execução de aterros cujo material é disposto sem compactação (no caso de solos argilosos) ou sem vibração (no caso de solos arenosos). Tomlinson (1996) observou em tais casos a ocorrência de recalques lentos, porém contínuos, contabilizando a diminuição de 1 a 2% da espessura da camada de aterro no período de 10 anos;

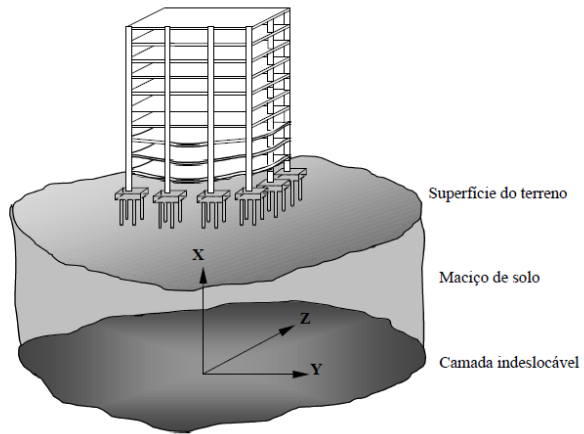
### **2.18. Interação Solo Estrutura**

Para Carvalho (2010, p40), ele defende que, "Quando uma fundação transfere a carga ao solo essa transferência é considerada isolada, mas quando à volta da nossa estrutura existem outras estruturas que transmitem cargas ao solo, acontece o fenómeno de sobreposição de esforços; esta concentração de esforços pode provocar o assentamento das estruturas.

Segundo Antniazzi (2011, p.15) A interação solo - estrutura nada mais é do que esta ligação entre a estrutura, as fundações e o solo. O processo em inicio juntamente com a fase inicial da construção e se estende ate que haja uma situação de equilíbrio, isto é, quando as tensões e deformações tanto na estrutura como no solo já estiverem estabilizadas.

Ainda o autor salienta que "Um ponto importante quando se trata de interacção solo – estrutura é a escolha do ponto de referência, uma escolha lógica seria um ponto abaixo da

superfície do solo na profundidade onde se consideraria a camada indeslocável" (IWAMOTO, 2000 apud Bradão, et al 2008, p.4)



**Figura 18:** Sistema de referência do Indeslocável (IWAMOTO, 2000).

## **Capítulo III. Metodologia**

### **3. Metodologia da pesquisa**

Neste capítulo apresentam-se de forma clara todos os passos que serão seguidos para a realização do trabalho, onde optaremos pela abordagem qualitativa que esperamos que culmine com a revisão bibliográfica/documental bem como a realização do trabalho de campo para a colecta de dados junto dos grupos que serão envolvidos no estudo.

A primeira fase da pesquisa consistiu na recolha e sistematização de informações acerca do assunto pesquisado e para a sua concretização recorreu-se a revisão bibliográfica e documental e através de buscas pela internet de artigos, relatórios e outro tipo de informações que fossem pertinentes e ligadas à temática em pesquisa. Para esta fase, o objectivo central era conhecer a literatura existente acerca do assunto e através destas leituras delimitarmos a pesquisa e o problema que se pretendia pesquisar.

A segunda fase da pesquisa refere-se ao trabalho de campo que consistirá na recolha de dados a respeito do assunto abordado na pesquisa.

#### **3.1. Método de Abordagem**

No que diz respeito à natureza, a pesquisa é aplicada, segundo Gehardt e Silveira (2009), é aquela que não se preocupa com a representatividade numérica, mas sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc.

Como método de abordagem, recorreremos ao qualitativo. Segundo Minayo (2003), a pesquisa qualitativa se preocupa com um nível de realidade que não pode ser quantificado. Ou seja, ela trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenómenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis. A escolha da pesquisa qualitativa deve-se ao facto desta ser exploratória, permitindo compreender e interpretar comportamentos de grupos ou indivíduos, assim como organizações.

### **3.2. Método de procedimento**

Como método de procedimento será usado o hipotético-dedutivo pois o mesmo pode ser explicado a partir do seguinte esquema: problema – hipóteses – dedução de consequências observadas – tentativa de falseamento – corroboração. Quando os conhecimentos disponíveis sobre um determinado assunto são insuficientes para explicar um fenómeno, surge o problema. Para tentar explicar o problema, são formula das hipóteses; destas deduzem-se consequências que deverão ser testa das ou falsea das. Falsear significa tentar tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses (Gerhardt e Silveira, 2009).

Quanto ao método de procedimento, adoptamos o método monográfico, também considerado estudo de caso que segundo Gil (2008), partedo princípio de que o estudo de um caso em profundidade pode ser considerado representativo de muitos outros ou mesmo de todos os casos semelhantes. Estes casos podem ser indivíduos, instituições, grupos, comunidades, etc.

O estudo de caso é um método qualitativo que consiste, geralmente, em uma forma de aprofundar uma unidade individual e em responder questionamentos que o pesquisador não tem muito controlo sobre o fenómeno (Gil, 2008). Daí que se fez o uso deste método para analisar o reaproveitamento das crateras para reconstrução das infraestruturas.

### **3.3. Método de colecta de dados**

Os procedimentos técnicos usados no estudo de caso foi a análise de documentos publicados, artigos da internet e outros citados na bibliografia, máquinas fotográficas, científicas, software *Google Earth Pro*, para medição e captação de dados.

### **3.4. População e Amostra**

Para Silva e Meneses (2001:32), população ou universo da pesquisa é a totalidade de indivíduos, que possuem as mesmas características definidas para um determinado estudo, enquanto amostra é a parte da população ou universo, seleccionado de acordo com uma regra ou plano.

A observação de acontecimentos no local em estudo, entrevistas não - estruturadas, foram métodos usados para a colecta e interpretação de alguns dados.

Para esta pesquisa tem a população é de dez (10) Crateras da Cidade e Província de Maputo resultante de extracção de areia para a construção.

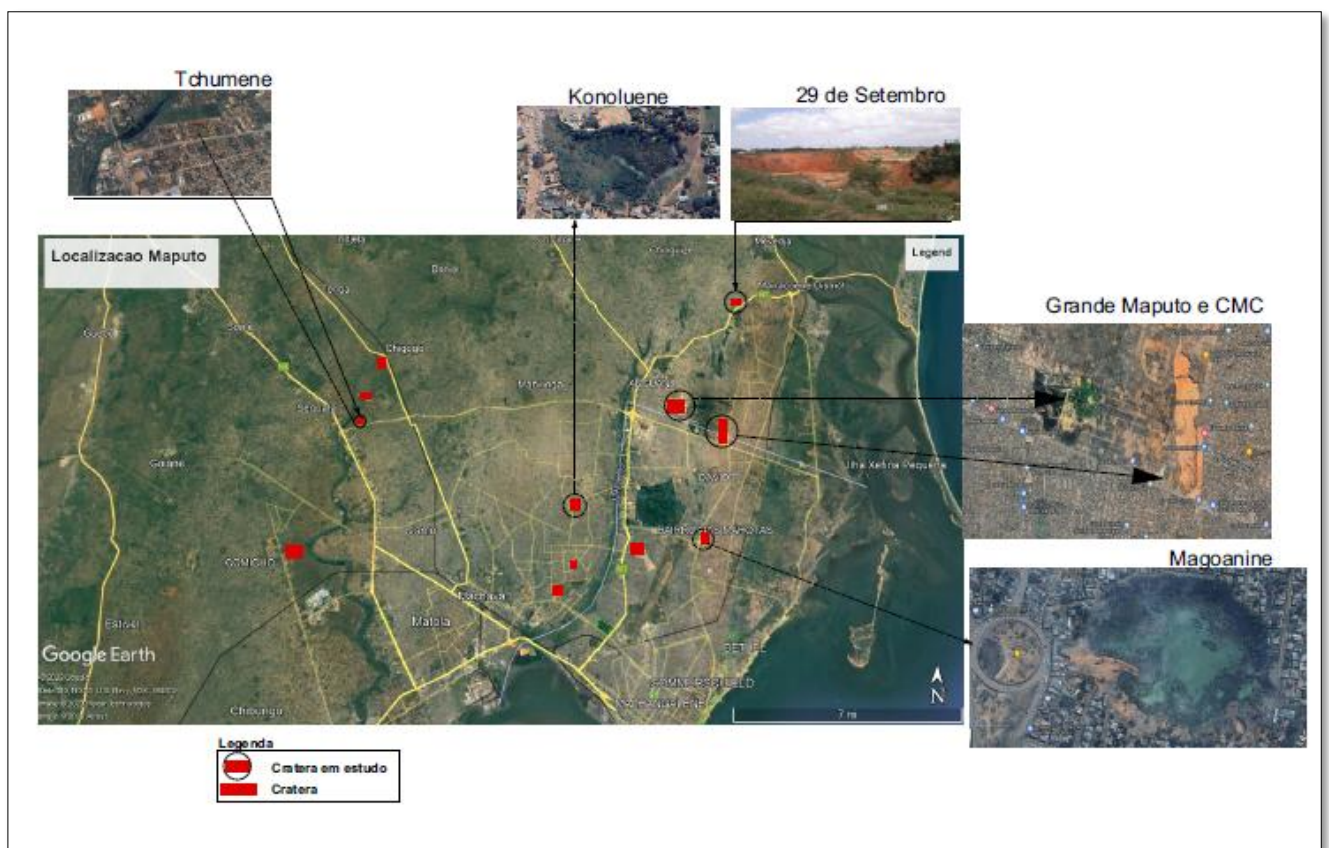
A amostra são diversas Crateras da Cidade e Província de Maputo no total de oito e a sua amostragem não foi probabilística e é o estudo de caso da cratera localizada no Distrito de Marracuene nas proximidades da extensão da EN1.

As informações colhidas obedeceu todos os padrões éticos e foram usadas exclusivamente para fins académicos, sem mencionar qualquer identidade que contribuiu para o sucesso da pesquisa e o objectivo final é elaboração de um material que servira fonte de consulta.

## Capítulo IV. Análise e Interpretação dos Dados/Resultados

Neste capítulo será feito a análise e discussão dos resultados alcançados, com o intuito de os compreender e de estabelecer correspondências com estudos análogos referidos na fundamentação teórico. É também o objectivo de responder à pergunta de partida formulada no objecto de estudo, suportada pelas hipóteses positivas.

### 4. Descrição das Crateras em Estudo

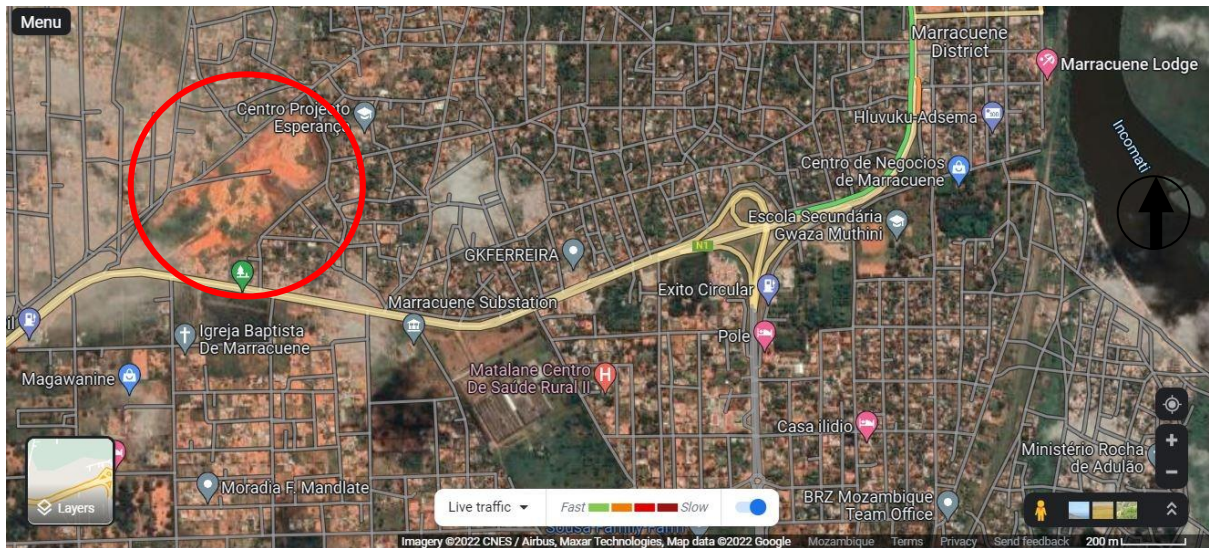


**Figura 19:** Apresentação das crateras em estudo

#### 4.1. Apresentação da área de Estudo de Caso

A base de estudo é uma Cratera no bairro 29 de Setembro, bem próximo na Av. de Moçambique, no Distrito de Marracuene e compreende uma área de **126,139.09m<sup>2</sup>** e o perímetro é de **2412.71m**. Esta cratera surgiu em 2014 onde retiravam areia que foi usada para a construção da Estrada Circular de Maputo. Actualmente ao redor dela tem residências

e é atravessado pelos postes de Alta tensão. A sua profundidade é aproximadamente a um edifício de 03 pisos, em algumas partes a população já iniciou com o deposição de lixo.



**Figura 20:**Imagem da localização da Cratera em estudo (fonte Google Earth)



**Figura 21:**Vista Parcial da cratera 29 de setembro (fonte Autor).

#### **4.2. Descrição das crateras e os perigos que representam**

A maioria das crateras de extração de areia se encontra - se em zonas onde estão rodeadas de habitações, empresas e de infra-estruturas do uso público. No início eram espaços sem construções a volta, mas com o crescimento de zonas de expansão as pessoas constroem nas bermas das crateras colocando em risco as suas habitações, e na época chuvosa as Infra-

estrutura correm risco de colapso devido a erosão e pode culminar com o arrastamento dos solos.

Para além da erosão que cria desconforto aos moradores também constitui preocupação a existência de vegetação ao redor e no interior das crateras. O levantamento feito das crateras existentes a mais de 10 anos virou depósitos de lixo de forma desordenada. isto coloca em risco a saúde das famílias residentes ao redor, nomeadamente:

- Cratera no Bairro 29 de Setembro em Marracuene
- Crateras de Guava
- Cratera de Magoanine
- Crateras de Matola Gare
- Cratera da Mozal
- Cratera no Bairro T3
- Cratera de Xiboene
- Cratera de Tchumene
- Cratera de Konoluene



**Figura 22:**Cratera de Magoanine (fonte Google Earth)

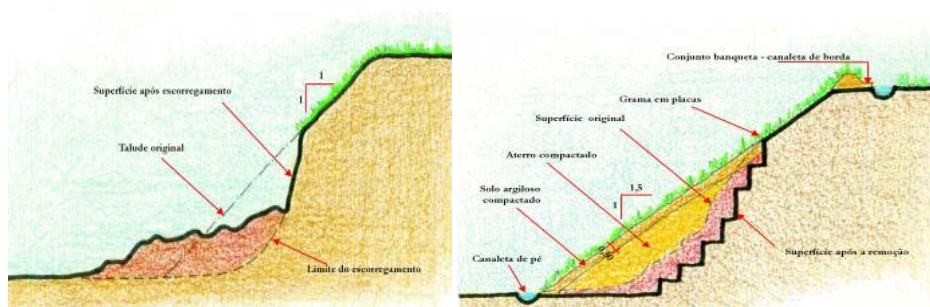


**Figura 23:**Cratera de Guava (fonte autor)



**Figura 24:**cratera de Tchumene (fonte Google Earth)

### 4.3. Mecanismo de Protecção e Estabilidade de taludes



**Figura 25:**Ilustração da intervenção do talude.

#### 4.4. Propostas de infra-estruturas a construir na cratera

A cratera apresenta a forma trapezoidal com a base menor na superfície, a sua geometria pode facilitar na construção de algumas infra-estruturas que se adequam ao formato da cratera como:

- Instalações desportiva (campo de futebol, basquetebol, voleibol, atletismo);
- Bacia de Retenção de Águas pluviais;
- Aterro Sanitário.

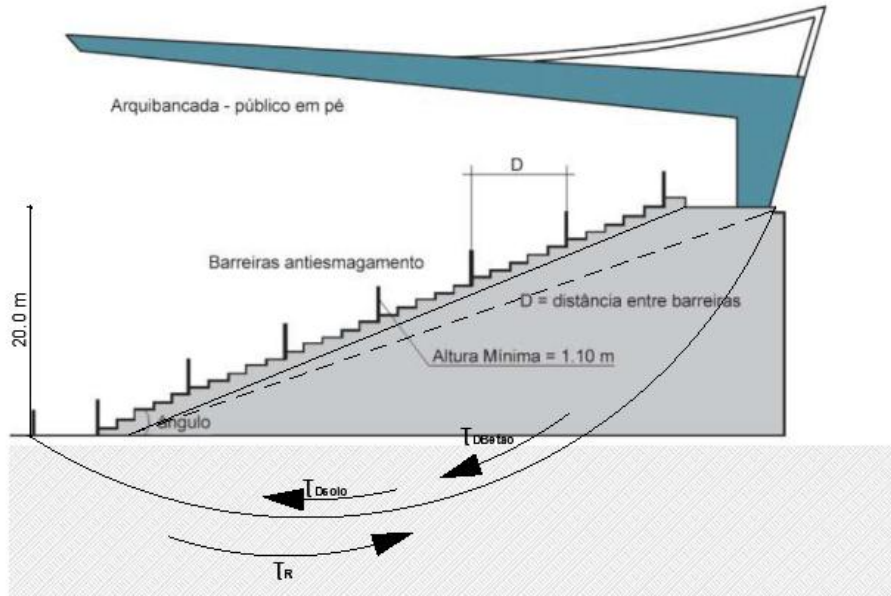
##### 4.4.1. Proposta de Construção de Pavilhão desportivo

Para o caso em estudo levou o actor a propor a construção de uma instalação desportiva onde as bancadas serviram de estrutura e de estabilidade do talude aproveitando a sua profundidade do no máximo.



**Figura 26:** Vista aérea da cratera fonte (Google Earth)

Para a cratera em estudo recorreu-se o **Método de Talude Infinito** isto porque a relação entre as suas grandezas geométricas, extensão e espessura é muito grande. Nestes taludes alinha potencial de ruptura é paralela à superfície do terreno, temos como exemplo:



**Figura 27:** Ilustração de Arquibancadas

**Dados.**

$H = 20.0 \text{ m}$

$\varphi = 22^\circ$

$\gamma = 17 \text{ kNm}^3 \text{ (Solo)}$

$\gamma = 25 \text{ kNm}^3 \text{ (betão)}$

$c' = 7\text{kpa}$

$\beta = 25^\circ$

$\theta = 22^\circ$

Para o cálculo de talude recorre-se a seguinte formula:

**Formulas**

$F_s = \frac{\tau_r}{\tau_a}$

$\tau_a = \frac{H \cdot \gamma \cdot [\sin(\beta - \theta)] \cdot \sin \theta}{2 \cdot \sin \beta} \quad \sigma' = \frac{H \cdot \gamma \cdot [\sin(\beta - \theta)] \cdot \cos \theta}{2 \cdot \sin \beta}$

$\tau_r = c' + \sigma' \cdot \tan \theta'$

**Resolução**

Cálculo de tensão de cisalhamento actuante

$\tau_a = \frac{20 \cdot 17 \cdot [\sin(25 - 22)] \cdot \sin 22}{2 \cdot \sin 25} \rightarrow \tau_a = 8.0 \text{ KN/m}^2$

De seguida o cálculo da tensão do Betão, substituindo o peso específico da argila por peso específico de Betão Armado.

$$\tau_{ab} = \frac{20 \cdot 25 \cdot [\sin(25-22)] \cdot \sin 22}{2 \cdot \sin 25} \rightarrow \tau_{ab} = 12 \text{ KN/m}^2$$

A tensão total actuante será o somatório de tensão do solo e tensão do betão armado.

$$\sum \tau_{ab} = \tau_a + \tau_{ab} \rightarrow \tau_{ab} = 8 + 12$$

$$\tau_{ab} = 20 \text{ KN/m}^2$$

Passo a seguir cálculo de tensão de resistência a cisalhamento

$$\tau_r = c' + \sigma' \cdot \tan \theta'$$

$$\sigma' = \frac{20 \cdot 17 \cdot [\sin(25 - 20)] \cdot \cos 22}{2 \cdot \sin 25}$$

$$\sigma' = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_r = 7 + 20 \cdot \tan 22$$

$$\tau_r = 15 \text{ KN/m}^2$$

Para o cálculo de factor de segurança teremos:

$$F_s = \frac{\tau_r}{\tau_a} \rightarrow F_s = \frac{15}{20} \rightarrow F_s = 1.0$$

Pode se dizer que o talude da questão **não está estável**, visto que

$$F_s = 1,0 < 1,5$$

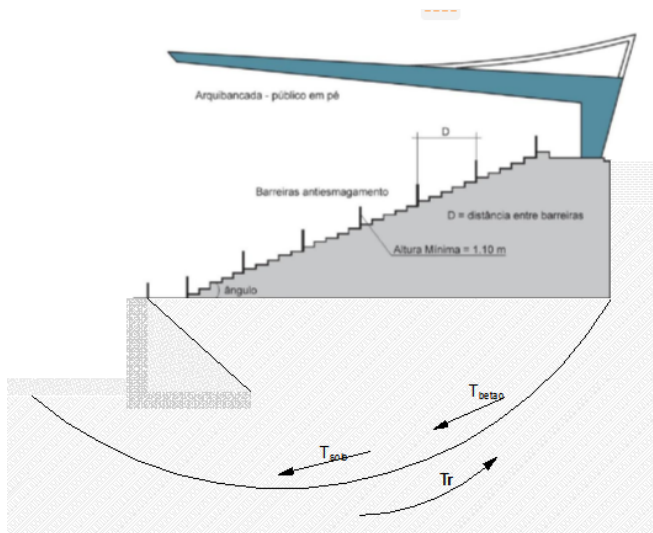
Para impedir a ruptura deve se calcular a tensão resistente que possa vencer a tensão actuante, neste caso vai se recorrer a seguinte formula:

Adoptando **Fs = 1.5**

$$F_s = \frac{\tau_r}{\tau_{ab}} \quad \text{e teremos} \quad \tau_r = F_s \cdot \tau_{ab}$$

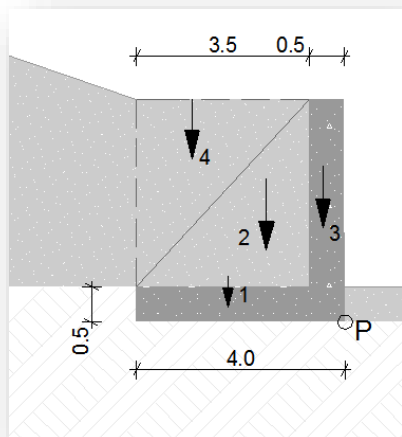
$$\tau_r = 1.5 \cdot 20 \rightarrow \tau_r = 30 \text{ Nk/m}^2$$

Neste caso garantir a segurança desse talude, a tensão de resistência deve ser  **$\tau_r = 30 \text{ Nk/m}^2$**



**Figura 28:** Ilustração de talude com reforço da tensão de resistência

#### 4.4.2. Dimensionamento do muro de suporte



**Figura 29:** Corte do muro de suporte

$$\gamma_{betao} = 25 \text{ kN/m}^3$$

**Cálculo do Peso Próprio**

$$\sum W$$

$$W_t = W1+W2+W3+W4$$

$$W = 4 \times 0.5 \times 25 + .5 \times \frac{5.5}{2} \times 25 + 0.5 \times 5.5 \times 25 + 3.5 \times \frac{5.5}{2} \times 20$$

$$W = 50 + 240.625 + 68.75 + 192.5$$

$$w = 551.88 \text{ KN}$$

### Momento resistente (em relação ao ponto P)

$$M_R = 50 \times 2.0 + 240.625 \times 1.67 + 68.75 \times 0.25 + 192.5 \times 2.83$$

$$M_R = 1063.65 \text{ KNm}$$

### Empuxo activo

Coulomb, para levar em conta atrito solo-“muro”  
Atrito na vertical pela extremidade interna do muro

$$Ea = Ka \times \gamma \times H \times \frac{H}{2}$$

$$\delta = \varphi$$

| $\varphi$       | 15°   | 20°   | 25°   | 27.5° | 30°   | 32.5° | 35°   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\delta = 0^0$  | 0.590 | 0.491 | 0.406 | 0.369 | 0.334 | 0.301 | 0.272 |
| $\delta = 5^0$  | 0.557 | 0.466 | 0.386 | 0.351 | 0.318 | 0.288 | 0.261 |
| $\delta = 10^0$ | 0.534 | 0.448 | 0.372 | 0.340 | 0.309 | 0.281 | 0.253 |
| $\delta = 15^0$ | 0.517 | 0.435 | 0.364 | 0.332 | 0.302 | 0.274 | 0.248 |
| $\delta = 20^0$ | -     | 0.428 | 0.358 | 0.328 | 0.300 | 0.271 | 0.246 |
| $\delta = 25^0$ | -     | -     | 0.357 | 0.327 | 0.298 | 0.271 | 0.246 |
| $\delta = 30^0$ | -     | -     | -     | -     | 0.297 | 0.273 | 0.248 |

$$Ka = 0.297$$

$$Ea = 0.297 \times 20 \times 6 \times \frac{6}{2}$$

$$Ea = 106.92 \text{ KN}$$

$E_{ah} = E_a \cos \delta = 106,92 \cos 30 = 92,6 \text{ kN}$  com braço  $0,5 \times 6,0 = 3,0 \text{ m}$  em relação ao pé do muro; quando há reaterro admite-se uma distribuição entre a triangular (0,33) e a retangular (0,5), por causa dos efeitos da compactação.

$E_{av} = E_a \sin \delta = 53,46 \text{ kN}$  agindo para baixo, com braço de  $4,0 \text{ m}$  em relação ao pé do muro.

Rankine

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad K_a = 0.33$$

$E_{av} = 0$  (Hipótese do processo de Rankine)

$$E_{ah} = 0.33 \times 20 \times 6 \times \frac{6}{2}$$

$$E_{ah} = 120 \text{ KN}$$

### Empuxos de água

Sistema de drenos conservador (frequentemente se utiliza apenas um dos drenos inclinados apresentados), mas mesmo assim pode haver pequeno acúmulo de água à esquerda da sapata do muro ( $E_{wh}$ ), e também sob o muro ( $E_{wv}$ ), na forma de subpressão.

$$E_{wh} = 10 \times 0.5 \times \frac{0.5}{2} = 1.25 \text{ KN}$$

com braço  $0,5/3 = 0,17$  m em relação ao pé do muro

$$E_{wv} = 10 \times 0.5 \times \frac{4.0}{2} = 10.0 \text{ KN}$$

com braço  $2 \times 4,0/3 = 2,67$  m em relação ao pé do muro.

### Empuxo passivo

$$E_p = K_p \times \gamma \times H \times \frac{H}{2}$$

Cacquot-Kérisel, para levar em conta atrito solo-muro

| $\phi'$ (°) | $\delta'$ (°) |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|-------------|---------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0             | 5    | 10   | 15   | 20    | 25    | 30    | 35    | 40    | 45    |
| 20          | 2,04          | 2,26 | 2,43 | 2,55 | 2,70  |       |       |       |       |       |
| 25          | 2,46          | 2,77 | 3,03 | 3,23 | 3,39  | 3,63  |       |       |       |       |
| 30          | 3,00          | 3,43 | 3,80 | 4,13 | 4,40  | 4,64  | 5,03  |       |       |       |
| 35          | 3,69          | 4,29 | 4,84 | 5,34 | 5,80  | 6,21  | 6,59  | 7,25  |       |       |
| 40          | 4,69          | 5,44 | 6,26 | 7,05 | 7,80  | 8,51  | 9,18  | 9,83  | 11,03 |       |
| 45          | 5,83          | 7,06 | 8,30 | 9,55 | 10,80 | 12,04 | 13,26 | 14,46 | 15,60 | 18,01 |

$\kappa_p = 5,03$  (se admitida interface rugosa muro-solo e, portanto,  $\delta = \varphi$ )

$$E_p = 5,03 \times 20 \times 0,5 \times \frac{0,5}{2} = 12,58 \text{ KN}$$

(componente vertical agindo para cima, com braço nulo; componente horizontal com braço da ordem de 0,3 m)

Rankine seria conservador (por outro lado, no empuxo passivo Coulomb seria muito contra a segurança, e portanto inaceitável)

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad \mathbf{k_p = 3}$$

$E_{pv} = 0$  (hipótese do processo de Rankine)

$$E_p = 3 \times 20 \times 0,5 \times \frac{0,5}{2} = 7,5 \text{ KN}$$

Empuxo passivo desconsiderado sempre que houver possibilidade de escavação junto ao pé do muro durante a vida útil da construção. Será desconsiderado no caso presente.

### **Atrito na interface muro-solo de fundação**

Adesão (função da coesão) nessa interface é frequentemente desconsiderada.

Coefficiente de atrito ( $\tan \emptyset$ ) é usualmente minorado em função das condições executivas e possibilidade de acompanhamento técnico de obra. São comuns redutores entre  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$ .

$$T = N' \times \frac{2}{3} \tan \phi$$

$$T = (551,88 - 10,0) \times \frac{2}{3} \tan 25 = 185,07 \text{ KN}$$

### **Segurança contra escorregamento**

$$F_e = \frac{T}{E_{ah} - T E_{av} + E_{wh}}$$

$$F_e = \frac{168.46}{92.6 - 53.46 \times \frac{2}{3} \times \tan 25 + 1.25} = \frac{168.46}{77.23} = 2.18 > 1.5$$

Caso houvesse sido utilizado o processo de Rankine:

$$F_e = \frac{T}{E_{ah} + E_{wh}}$$

$$F_e = \frac{168.46}{120.0 + 1.25} = \frac{168.46}{121.25} = 1.39 < 1.5$$

Nesta situação é necessário alterar dimensões do muro

### **Segurança contra tombamento**

$$M_R = 1063.65 \text{ KNm}$$

Em relação ao ponto P.

$$M_s = 92.6 \times 3.0 - 53.46 \times 4.0 + 1.25 \times 0.17 + 10.0 \times 2.67$$

$$M_s = 90.83 \text{ KNm}$$

$$F_t = \frac{M_R}{M_s}$$

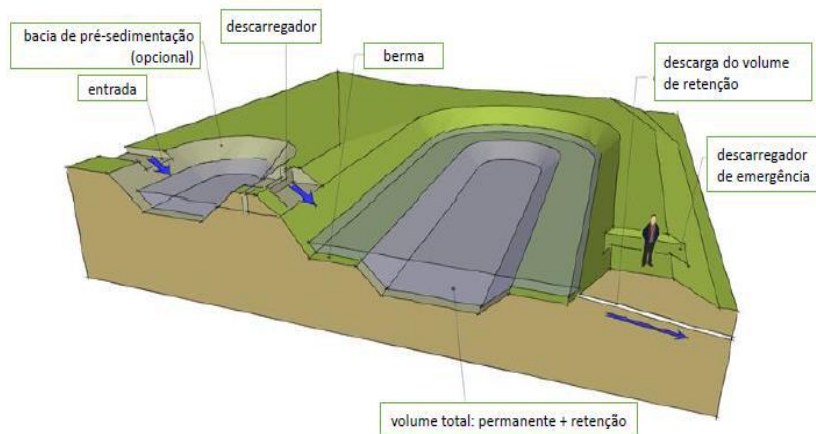
$$F_t = \frac{1063.65}{90.83} = 11.71 > 1.5$$

### **Factor de segurança aceitável**

#### **4.4.3. Proposta de Construção da Bacia de Retenção de Águas**

Devido ao facto de serem bacias enterradas, (Lourenço, 2014). As estruturas são, geralmente, executadas em betão armado ou em materiais sintéticos como, por exemplo, PEAD, PP ou aço.

Com a construção da bacia em estrutura de betão armado protegera o talude da cratera, assim torna uma infra-estrutura sólida e sustentável.



**Figura 30:**Esquema de uma bacia de água (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

➤ **Dimensionamento hidráulico**

O dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção consiste, fundamentalmente, no cálculo do volume necessário ao armazenamento do caudal afluente, correspondente à precipitação com um determinado período de retorno, por forma a que o caudal máximo efluente não ultrapasse um determinado valor pré-estabelecido.

O volume de armazenamento pode ser calculado através de expressões geométricas expressas em função da profundidade. Pode, por conseguinte, ser calculado através de mapas topográficos em formato digital introduzidos num software próprio (por exemplo ArcGIS), ou manualmente através do método da média das áreas ou fórmula da secção prismática. (Matias, 2006. P.73)



**Figura 31:** Ilustração da bacia e condutas (fonte Google Earth)

Dados

$$A = 220035 \text{ m}^2 \approx 22 \text{ ha}$$

$I = at^{-b}$  (I em mm/min), curva I-D-F da regioao.

$$t = 60 \text{ min} = 1 \text{ h}$$

$$T = 20 \text{ anos}$$

$$C = 0.6$$

$$q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s} = 600 \text{ l/s Caudal efluente (considerado constante);}$$

### Formulas/Resolucao

$$V = 10 \times A \times C_1 \times \left( \frac{-b \times q_s}{1+b} \right) \times t_c$$

$$q_s = 6 \times 10^{-3} \times \frac{q}{C_1 \times A} \quad t_c = \left( \frac{q_s}{a \times (1+b)} \right)^{1/b} \quad q = C' \times I \times A = C' \times a \cdot t^b \times A$$

$$q_s = \left( \frac{q}{C \times A} \right) \times 6 \times 10^{-3} \rightarrow q_s = \left( \frac{600}{0.6 \times 22} \right) \times 6 \times 10^{-3}$$

$$q_s = 0.27 \text{ mm/min}$$

$$V = 10 \times C \times A \left[ \frac{-bq}{(1+b)} \right] \times \left[ \frac{q_s}{a \times (1+b)} \right]^{1/b}$$

$$V = 10 \times 0.6 \times 22 \times \left[ \frac{0.58 \times 0.27}{(1-0.582)} \right] \times \left[ \frac{0.27}{14.9 \times (1-0.582)} \right]^{-1/0.58}$$

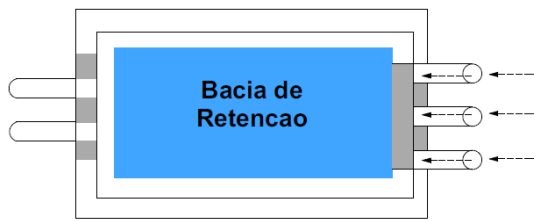
$$V = 10955 \text{ m}^3$$

$$t_c = \left[ \frac{q_s}{(a \times (1+b))} \right]^{1/b}$$

$$t_c = \left[ \frac{0.27}{(14.94 \times (1-0.582))} \right]^{-1/b}$$

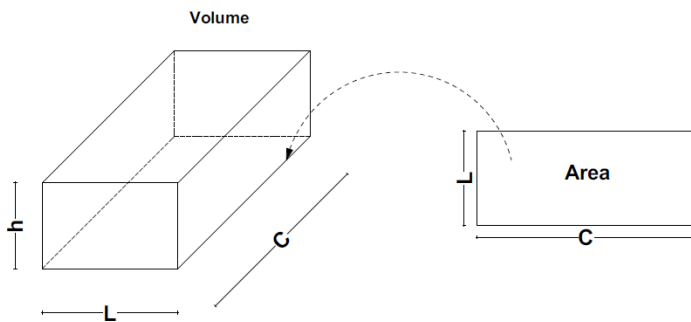
$$t_c = 221 \text{ min}$$

➤ **Processo Construtivo da Bacia**



**Figura 32:** Pormenores da bacia

Para o dimensionamento da bacia de retencao adoptou se uma altura de 7m.



**Figura 33:** tracado da bacia

➤ **Calculo da area que vai ocupar a bacia na base do volume.**

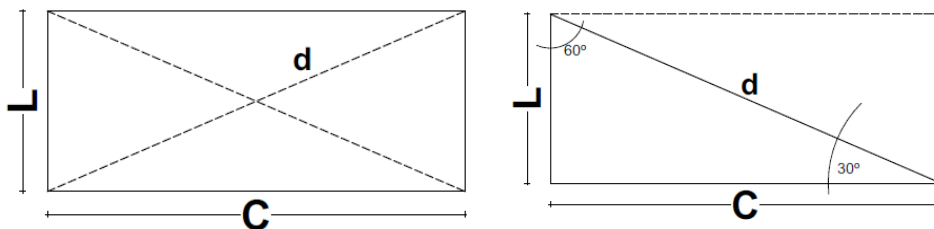
$$h = 7m$$

$$V=10955m^3$$

$$V=A \times h$$

$$A = V/h \quad A= 10955/7 \rightarrow A = 1565 m^2$$

➤ **Calculo do Comprimento e largura**



**Figura 34:** ilustração dos ângulos internos

1º Passo calculo da diagonal

$$A = b \times h = \frac{d^2}{2} \times \text{sen } 60$$

$$d^2 = \frac{2 \times A}{\text{sen } 60} \rightarrow d = \sqrt{\frac{2 \times 1565}{\text{sen } 60}} = 60 \text{ m}$$

2º Passo calculo do Comprimento e largura

$$\cos 60 = \frac{L}{d} \rightarrow L = \cos 60 \times d$$

$$L = \cos 60 \times 60$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$A = C \times L \rightarrow C = \frac{A}{L}$$

$$C = \frac{1565}{30} = 52 \text{ m}$$

A bacia tera as seguintes dimensoes

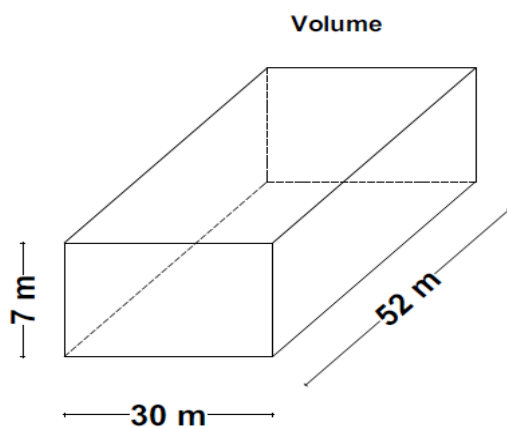
$$A = 1565 \text{ m}^2$$

$$V = 10955 \text{ m}^3$$

$$H = 7 \text{ m}$$

$$C = 52 \text{ m}$$

$$L = 30 \text{ m}$$



3º Calculo do volume dos solos para o aterro na construcao da bacia.

As crateras apresentam um formato trapezoidal e a cratera em estudo tinha uma profundidade inicial de 9.30 m.



**Figura 35:** Areas e corte de cratera (fonte Google Earth)

$$\text{Area da base (A3)} = 34250 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{cratera}} = A_b \times h$$

$$V_{\text{cratera}} = 34250 \times 9.3$$

$$V_{\text{cratera}} = 318525 \text{ m}^3$$

O volume dos solos para aterro sera a diferenca dos volumes da bacia e o volume da cratera.

$$V_{\text{solos}} = V_{\text{cratera}} - V_{\text{bacia}}$$

$$V_{\text{solos}} = 318525 - 10955$$

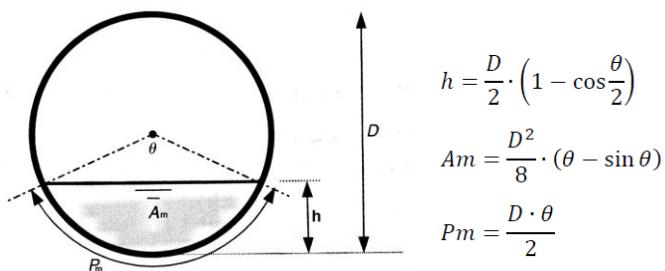
$$V_{\text{solos}} = 307570 \text{ m}^3$$



**Figura 36:** Representação da ocupação na cratera (fonte Google Earth)

➤ **Calculo do diametro do tubo**

Em secções circulares, a altura do escoamento (h), a área molhada (Am) e o perímetro molhado (Pm) são dadas em função do ângulo ao centro (em radianos, (Marques, et al., 2013))



Dados

$H = 0.6 \text{ m}$

$\theta = 147$

$$h = \frac{D}{2} \times \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) \rightarrow D = \frac{2 \times h}{\left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right)} \rightarrow D = \frac{2 \times 0.6}{\left(1 - \cos \frac{147}{2}\right)} \rightarrow D = 0.9 \text{ m}$$

#### 4.4.4. Proposta da Construção de Aterro Sanitário

O aterro sanitário é a solução mais adequada ambientalmente para a disposição dos resíduos sólidos urbanos.

O local é preparado previamente com o nivelamento de terra e com o selamento da base com argila, mantas e geomembranas evitando que o lençol freático seja contaminado pelo chorume.



**Figura 37:** Desenho esquemático de um Aterro Sanitário. Fonte: Viasolo



**Figura 38:** Construção de um aterro sanitário.

## **Capítulo V.**

### **5. Conclusão**

Para a contenção dos taludes é importante o conhecimento profundo das características do solo, isto porque vai facilitar a escolha do método eficaz para estabilizar o talude. Visto que os solos arenosos não têm coesão, os solos argilosos tem dificuldades de degradação e permitem taludes com ângulos praticamente na vertical e os solos siltosos não tem coesão apreciável, são propensos a erosão, a desagregação natural precisando de mais manutenção e cuidados para se manter estáveis. Com o estudo geotécnico é possível ter os dados reais referentes aos solos.

O processo de execução de estabilização de taludes é imperioso fazer se a remoção do solo partir do topo do talude, para evitar acidentes com deslizamentos. Em taludes contínuos com mais de 5m de altura deve se escalonar degraus (bermas ou banquetas). Depois do corte, para minimizar o recalque o solo deve ser compactado. Para o corpo dos aterros a espessura de cada camada não deve ser acima de 20 cm para compactação manual, e 30cm na compactação mecanizada.

## **5.1. Sugestões**

Sugere-se que a autoridade reguladora de construção no País deve estabelecer leis no âmbito do encerramento de exploração de areia deve impor aos responsáveis das crateras a protecção dos taludes, a sinalização do local de modo a evitar desastres, acidentes e erosão. Na época chuvosa a cratera em estudo esteve perto a cortar a Estrada Nacional N° 1. Após a rápida intervenção da empresa que extraiu a areias no local conseguiu evitar o pior.

As crateras que se encontram nas proximidades da cidade, podem ser usadas para construção de infra-estruturas sustentáveis e resilientes de modo a beneficiar a população. Para o melhor aproveitamento deve se observar todas medidas regentes nas leis de construção.

## 6. Referências Bibliográficas

ABEL, Luís. *Estabilidade de Taludes*.

ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo. *Característica Física e Classificação dos Solos*,2005.

ANTONIAZZI, J. P. *Interacção Solo Estrutura de Edifícios com Fundações Superficiais*. Santa Maria, RS, Brasil, 2011.

BACCARELLI, M. R. T. *Manual Para Citações Bibliográficas*. Jaguariúna 2009.

BITTENCOURT, D. M. A. *Estabilidade de Taludes, Geotecnia II*.

CHINEM, R. M. *Avaliação Da Estabilidade Global de Edifícios*. Goiânia, 2010.

CARVALHO, D. M. de C. *Patologias das Fundações: Fundações em Depósitos de Vertente Na Cidade De Machico*. Funchal, Junho de 2010.

CONSTANCIO,D. *Elementos especiais de fundação e Escolha do tipo de fundação. Americana*. Junho de 2005.

DAS, B. M. *Fundamentos da Engenharia Geotécnica*. 6ª Edição, norte americana.

DICIO, dicionario Online de Português. *Significado de Crateras*, Disponível em:<<https://www.dicio.com.br/crateras/>> Acesso em 21 de Fevereiro de 2023

FARINHA. J. S. B. REIS, A. C. *Tabela Técnica*, 1993.

FERREIRA, J. L. F. *Análise De Estabilidade De Taludes Pelos Métodos De Janbu E Spencer*, Porto, Fevereiro 2012 p.4.

GERSCOVICH, D. M. S. *Estabilidade de Taludes*. 2ª Edição, São Paulo, 2016.

GENE S., *Exercícios Resolvidos de Estabilidade de Taludes*. São Carlos 1979.

GONCALVES, H. H. S., et al. *Mecânica dos Solos e Fundações PEF 522*, 2014

MARINHO,Filipe, Disponível em <<https://www.guiadaengenharia.com/taludes-infinitos-analise/>>Acesso em 19 de Fevereiro de 2023.

MARINHO,F. Disponível: <<https://www.guiadaengenharia.com/taludes-infinitos-exercicios/>> Acesso em: 16 de Janeiro de 2023.

NOVAKI, A. *Análise De Estabilidade De Aterros E Pavimentos Sobre Solos Moles Na Duplicação Da Pr-415 Utilizando Solos Reforçados Com Geogrelha*, Curitiba 2017

SOUSA, J. S., MOTA, C. B. W. *Mecânica dos solos*, Brasília 2015.

STOLOVAS, S. *Análise e Projecto Estrutural com foco no Desempenho Funcional 2009*  
UNIVERSIDADE PEDAGÓGICA MAPUTO, . *Normas para Produção e Publicação  
de Trabalhos Científicos. Abril 2009.*

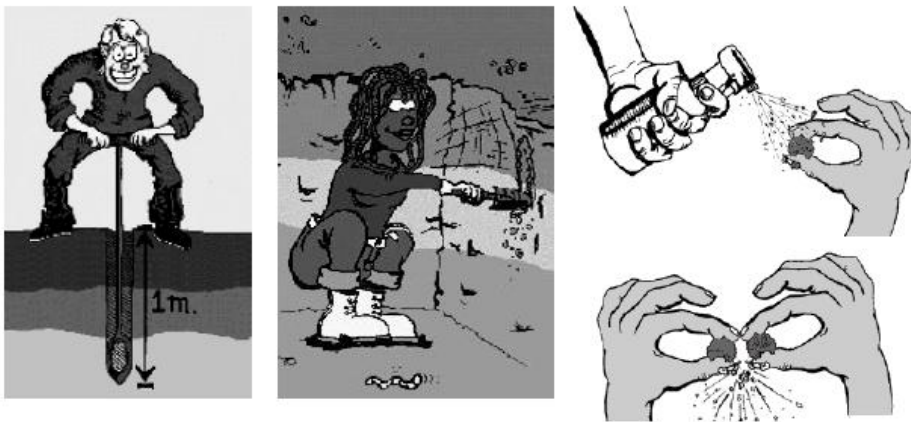
VIANA, H. M. F.. *Exemplo da classificação de solo com uso do triângulo de FERET, e  
exercício de classificação dos solos pelo triângulo de FERET.*

ZUCHETTI, P. A. B. *Patologias da Construção Civil: Investigação Patológica em Edifício  
Corporativo De Administração Pública No Vale Do Taquari/Rs. Lajeado, Novembro de 2015*  
p.3.

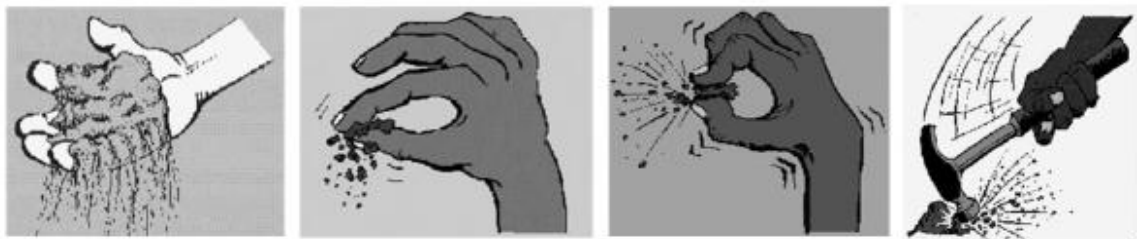
## Apêndices

### Identificação Visual-tátil dos solos

As argilas são plásticas, permitem ser moldadas, enquanto os siltes e as areias não. Fazendo-se bolinhas de solo e deixando-as secar, pode-se verificar a resistência a pressão dos dedos que nas argilas será elevada e baixa nos solos arenosos e siltosos. Para estimar a quantidade de areia pode-se dissolver o solo em um recipiente com água limpa. A areia irá para o fundo rapidamente e a argila demorará a se decantar.

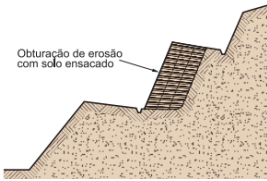


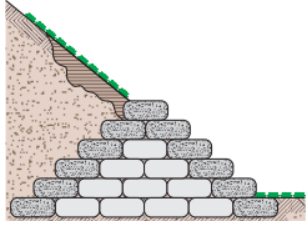
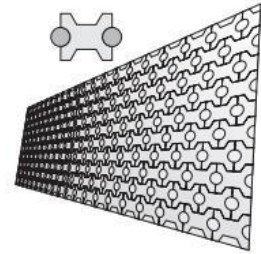
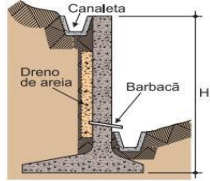
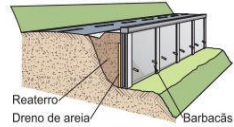
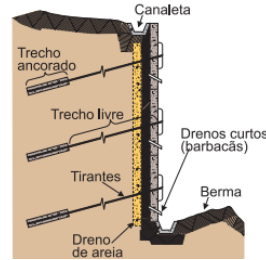
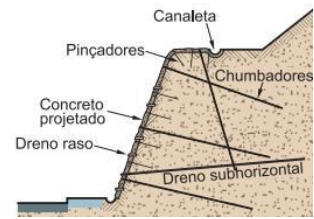
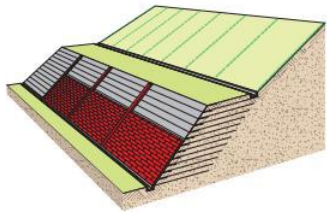
**Figura 39:**Análise tátil visual



**Figura 40:**Solo Solto, 2-Solo Friável, 3-Solo Firme, 4-Solo extremamente firme.

## Soluções Técnicas para Contenção de taludes

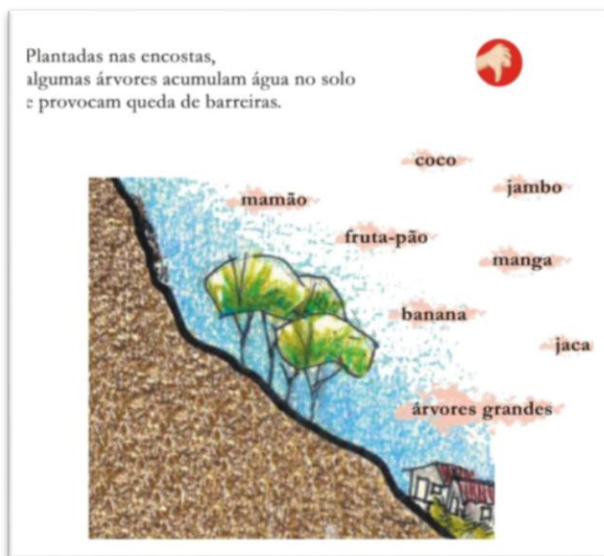
| Imagem da Solução   | Nome da Técnica   | Indicação do uso  |
|---|---|---|
|    | <p><b>Muro de pedra seca</b><br/>Realizado o embricamento de pedras arrumadas manualmente</p>                                     | <p>Taludes pequenos, até 1.5 m de altura facilidade de construção e baixo custo.</p>                        |
|    | <p><b>Muro de pedra argamassada</b><br/>Se difere em relação aos vazios que são preenchidos com argamassa</p>                     | <p>Taludes até 3.0m de altura facilidade de construção e baixo custo</p>                                    |
|   | <p><b>Muro de Betão ciclótipo</b><br/>Estrutura feita de betão e agregados grandes com dimensões variadas</p>                     | <p>Obras rodoviárias em áreas íngremes e locais pouco estáveis</p>  |
|  | <p><b>Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de betão (crib-wall)</b><br/>Sistema de peças de betão encaixadas entre si</p> | <p>Obras rodoviárias em áreas íngremes e locais pouco estáveis</p>  |
|  | <p><b>Muro de arrimo de gabiões</b><br/>Formado por redes de aço preenchidos por pedras</p>                                       | <p>Muros de contenção, protecção de margens de cursos de água, controle de erosão e obras de emergência</p> |
|  | <p><b>Muro de arrimo de solo-cimento ensacado</b><br/>Mistura de cimento e solo aumentando as características de cada</p>         | <p>Muros de contenção, protecção superficial de taludes e de margens de cursos de água,</p>                 |

|   |  |  |
|---|--|--|
|    | <p><b>Muro de arrimo de “Bolsacreto”</b><br/>Formas têmeis preenchidos com betao fino</p>  | <p>Contenção de taludes, protecção de margens e controle de erosão</p> |
|    | <p><b>Muro de arrimo “Rimobloco”</b><br/>Utiliza-se peças pré-moldadas com chumbadores de 3m de comprimento</p>                          | <p>Contenções em corte e aterro</p>                                    |
|    | <p><b>Muro em “L” de betão</b><br/>Construído em betão armado, possível em secções transversais esbeltaz</p>                             | <p>Associados à execução de aterros ou reaterros</p>                   |
|   | <p><b>Cortina cravada</b><br/>Estacas ou perfis cravados no terreno</p>  | <p>obras de contenção provisórias</p>                                  |
|  |  |  |
|  | <p><b>Tela metálica fixada por chumbadores e recoberta por betão projectado</b><br/>Reforço do maciço pela introdução de chumbadores</p> | <p>taludes de corte em solo</p>  |
|  | <p><b>Estruturas de contenção com solo reforçado com geossintéticos</b><br/>Maciços intercalados com aterro e geossintéticos</p>         | <p>contenção de taludes</p>  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>Canalleta<br/>Vista frontal<br/>Aterro compactado<br/>Solo residual<br/>Camada de areia e = 20cm<br/>Manta de geotêxtil L = 4,30m<br/>Dreno longitudinal<br/>Escamas de concreto pré-fabricadas<br/>Armaduras de aço galvanizado<br/>Blocos estruturais de concreto</p> <p>Seção típica</p> | <p><b>Terra armada</b><br/>Sistema constituídos pela associação de solo compactado e armaduras</p>  | <p>aterros até 20 m de altura</p>   |
| <p>Chumbadores<br/>Geotêxtil<br/>Dreno de brita n=2<br/>Barbacá<br/>Microestaca inclinada 45°<br/>Microestaca vertical<br/>Blocos estruturais de concreto</p>  | <p><b>Muro de blocos estruturais de betão apoiado sobre micro estacas e contido por chumbadores</b><br/>Microestacas em intervalos de 2m a 2,5m</p> | <p>obras viárias urbanas para alturas até 4 m em terrenos naturais sem matacões</p> |
| <p>Lamela<br/>Planta<br/>Viga de corcamento<br/>Parede diafragma<br/>Tirantes<br/>Seção transversal</p>  | <p><b>Paredes-diafragma</b><br/>Cortinas de betão armado moldadas no solo em painéis sucessíveis.</p>   | <p>quando da execução de escavações profundas junto a edificações preexistentes</p> |

**Quadro 4:** Técnicas para Contenção de taludes (Fonte Almeida)

**Proteção de Taludes na base de Plantas**



**Figura 41:** Ilustração de plantas não adequadas para a proteção de taludes

## Certo

### É bom plantar nos morros

As plantas ajudam a conservar o terreno,  
pois evita que a terra seja carregada pela água da chuva.  
Além disso, é muito agradável um jardim em volta de nossa casa.

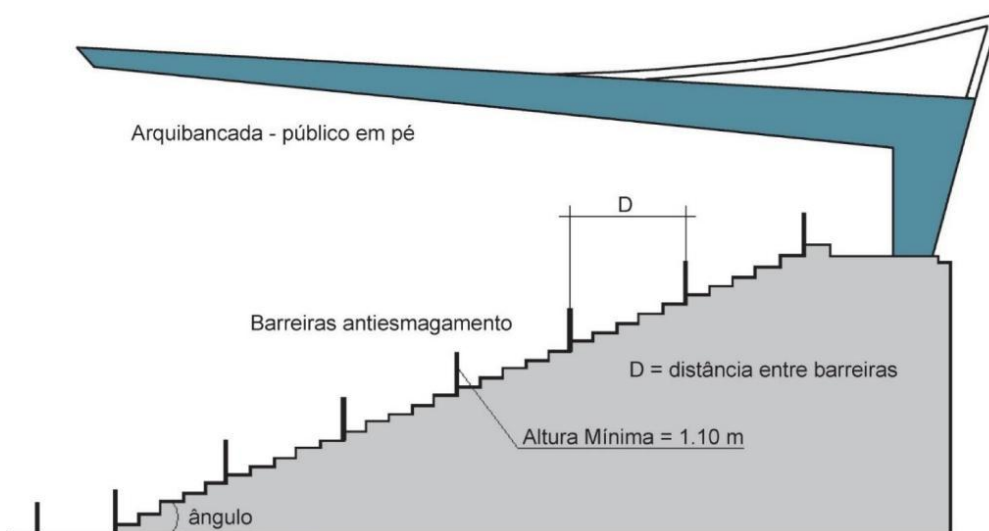


### Plantar perto das casas:

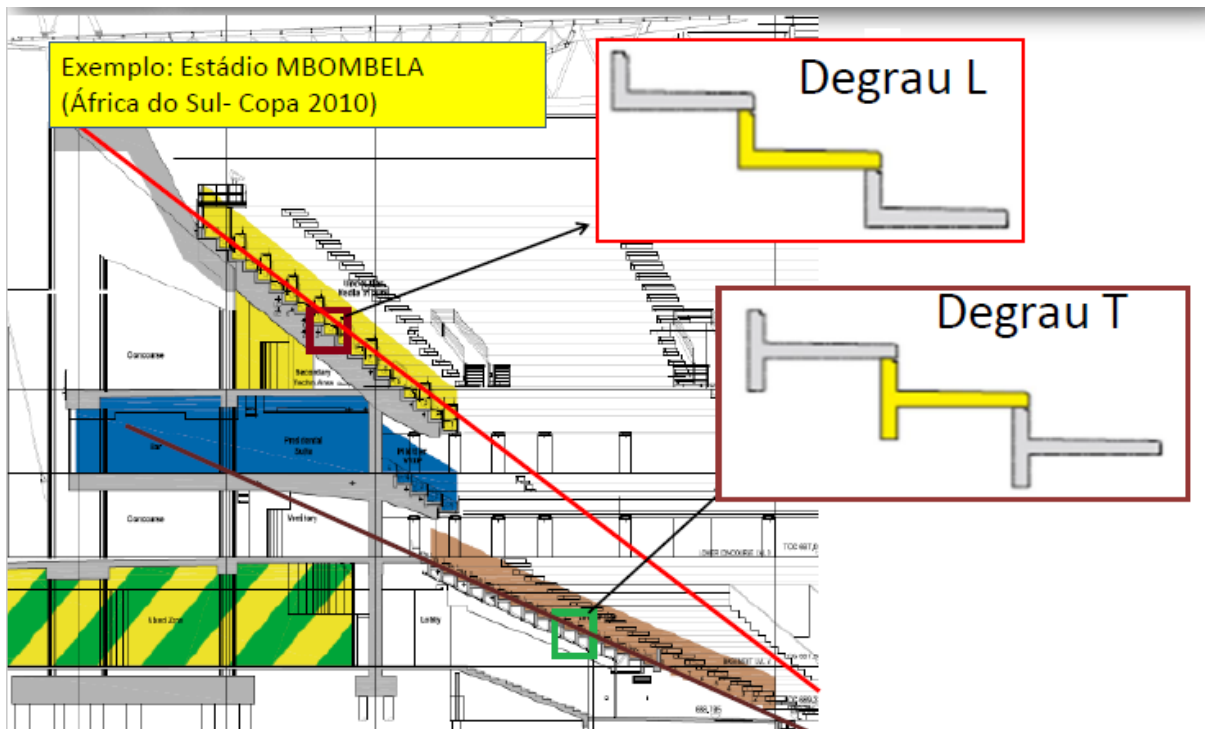
pequenas fruteiras,  
plantas medicinais e de jardim.

goiaba, pitanga, carambola,  
laranja, limão, araçá,  
pinha, acerola, urucum,  
jasmim, rosa, leucena,  
pata-de-vaca, hortelã,  
cidreira, boldo e capim santo

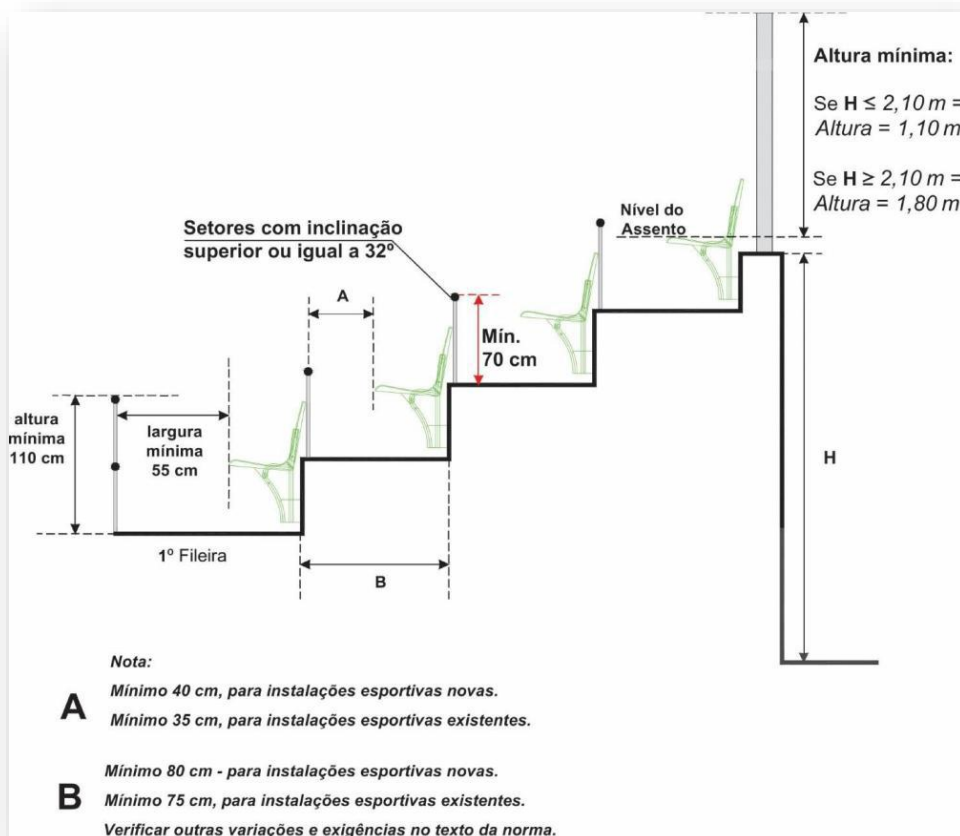
**Figura 42:** Ilustração de plantas não adequadas para a protecção de taludes



**Figura 43:** Corte transversal de estrutura de Arquibancadas

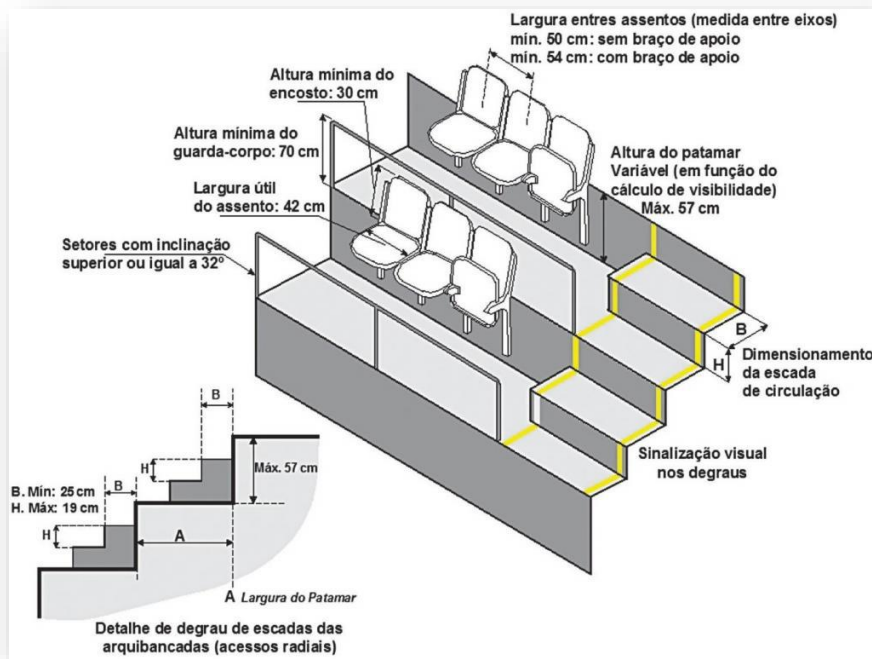


**Figura 44:** Estrutura de Bancadas de um estádio.

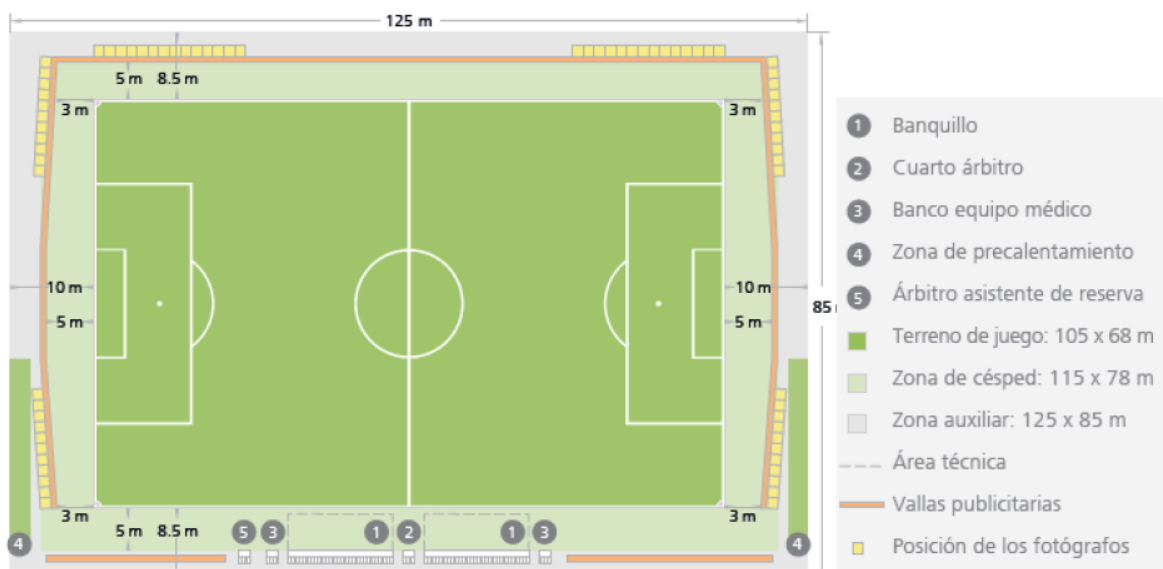


**Figura 45:** Detalhe dos assentos nos patamares e guarda-corpos (barreiras).





**Figura 47:** Detalhe das dimensões dos assentos e dos patamares



**Figura 48.** Detalhes do campo

## **Bacia de Retenção de Água**

As bacias de retenção estão entre os métodos de SUDS mais implementados um pouco por todo o planeta. São bastante utilizadas devido à relação custo - benefício que propõem. Uma boa execução do projecto apresenta vantagens a nível estético e ambiental. (Branco 2022, p.15)

As bacias de retenção são estruturas de armazenamento de águas pluviais, com o objectivo de regularizar o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta e permitindo compatibilizar o seu valor com limites previamente fixados, ou impostos pela capacidade de vazão do meio receptor ou de um colector ou emissário existente ou a construir (Avilez-Valente, 2020, Pud Branco 2022, p15).

## **Tipologias de bacias de retenção**

As bacias de retenção podem ser:

- Subterrâneas, formando verdadeiros reservatórios de regularização enterrados;
- Superficiais, constituindo reserva de água ao ar livre;

As bacias de retenção superficiais podem classificar-se, quanto ao seu comportamento hidráulico, em:

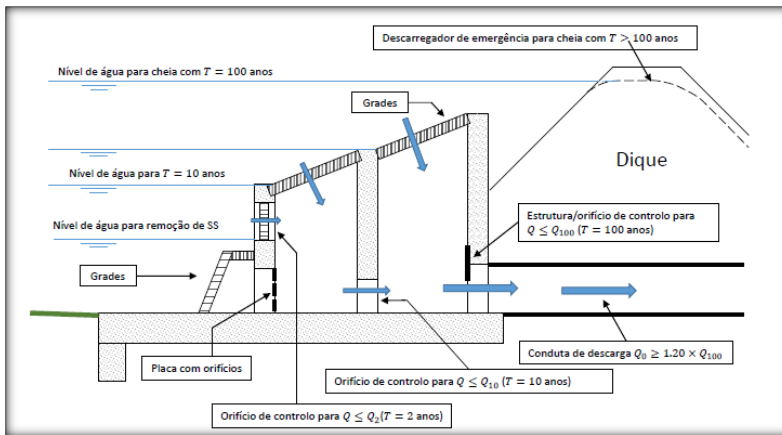
- Bacias secas, se contiverem água apenas num período relativamente curto a seguir à chuvada;
- Bacias de água permanente, se contiverem água mesmo em período de estiagem.

As bacias de retenção podem ser classificadas consoante:

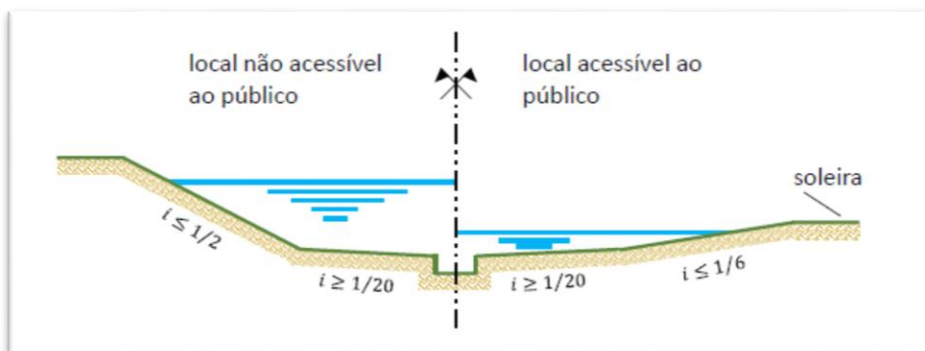
- Posicionamento no sistema de drenagem;
  1. Bacias em série ou on-line;
  2. Bacias em paralelo ou off-line;
- Implantação no terreno
  1. Bacias subterrâneas ou enterradas;
  2. Bacias superficiais ou a céu aberto.

As bacias superficiais, consoante o seu comportamento hidráulico ou regime de armazenamento, podem se subdividir em:

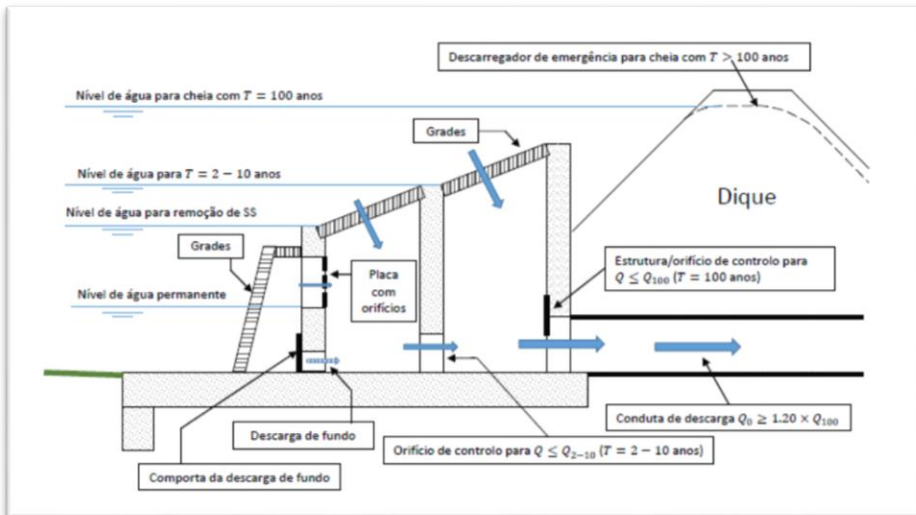
- Bacias secas ou temporárias;
- Bacias de água permanente, ou simplesmente, permanente, ou de detenção.



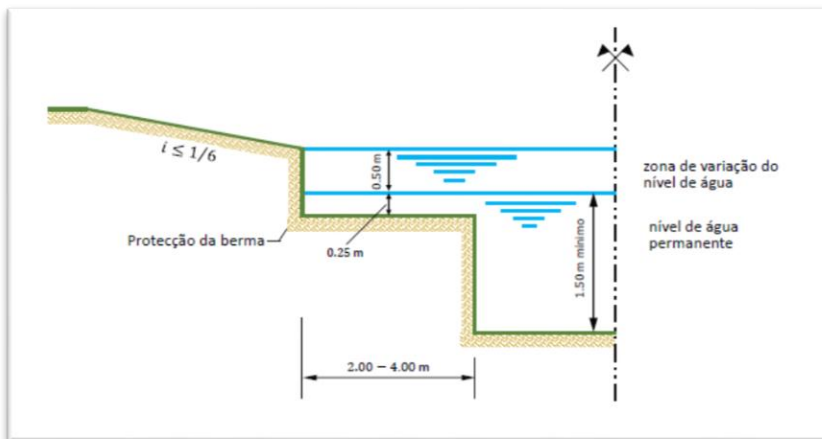
**Figura 49:** Ilustra uma tomada de água de uma bacia superficial seca típica.



**Figura 50:** Perfil transversal tipo de uma bacia seca (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)



**Figura 51:** Esquematização de uma tomada de água de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

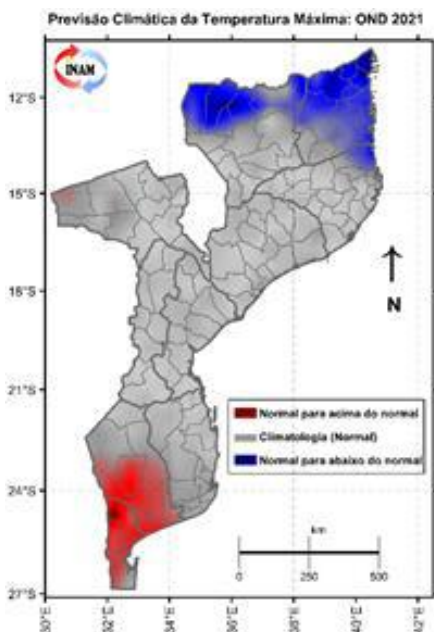


**Figura 52:** Perfil Transversal de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

## ANTEVISÃO DA TEMPERATURA PARA O PERÍODO DE OUTUBRO 2022 À MARÇO 2023

Usando as condições prevalecentes no mês de Julho de interacção oceano - atmosfera que influenciam o comportamento da temperatura nas escalas global, regional a nacional, os prognósticos de padrões de circulação global, o Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) prognostica para o período Outubro - Novembro - Dezembro (OND) de 2021, uma maior probabilidade de ocorrência de:

- **Temperatura normal com tendência para abaixo da normal** para os distritos a noroeste da província de Niassa e grande extensão de Cabo Delgado e o extremo nordeste de Nampula.
- **Temperatura normal** para os distritos da parte central a sul de Niassa, as províncias de Nampula, Zambézia, Tete, Manica, Sofala, Inhambane e os distritos a norte da província de Gaza.
- **Temperatura normal com tendência para acima do normal** nos distritos a sul da província de Gaza e a província de Maputo.



**Figura 53:** Previsão Climática

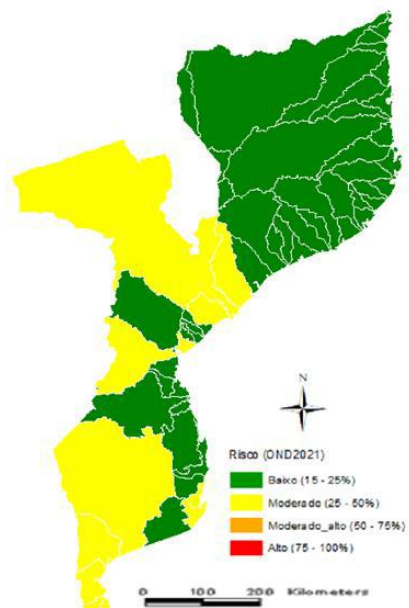
### **Análise de Risco de Cheias nas Bacias Hidrográficas**

Para a elaboração da previsão hidrológica foram considerados os seguintes pressupostos:

- i. Interpretação quantitativa das previsões

SARCOF 25 e do INAM

- ii. Índice de humidade do solo;
- iii. Nível de enchimento das albufeiras nacionais e dos países à montante e;
- iv. Nível de vulnerabilidade das bacias em relação às infra-estruturas de defesa.



**Figura 54:** Previsão de risco de ocorrência de cheias para OND-2021.

### Principais áreas críticas



**Figura 55:** Ilustração das Inundações na Cidade de Maputo



**Figura 56:** Ilustração das Inundações na Matola

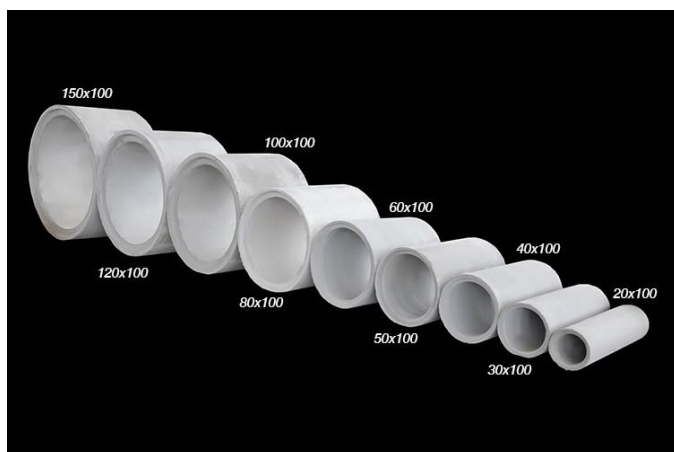
$$Q = 1,533nD^{2,5}$$

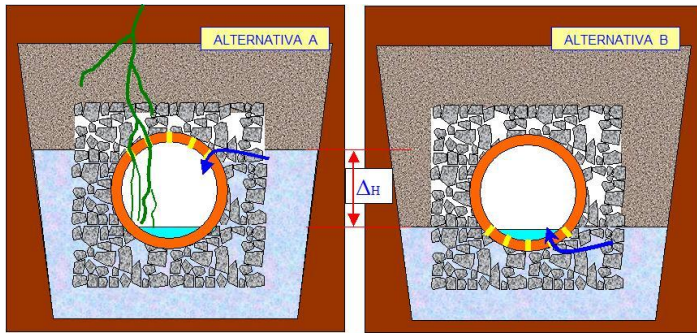
Onde:  $Q$  = vazão, em m<sup>3</sup>/s;  
 $n$  = número de tubos;  
 $D$  = diâmetro do tubo, em m.

Período de retorno dos sistemas de drenagem pluvial urbana em função do tipo de ocupação. (Marques, et al., 2013)

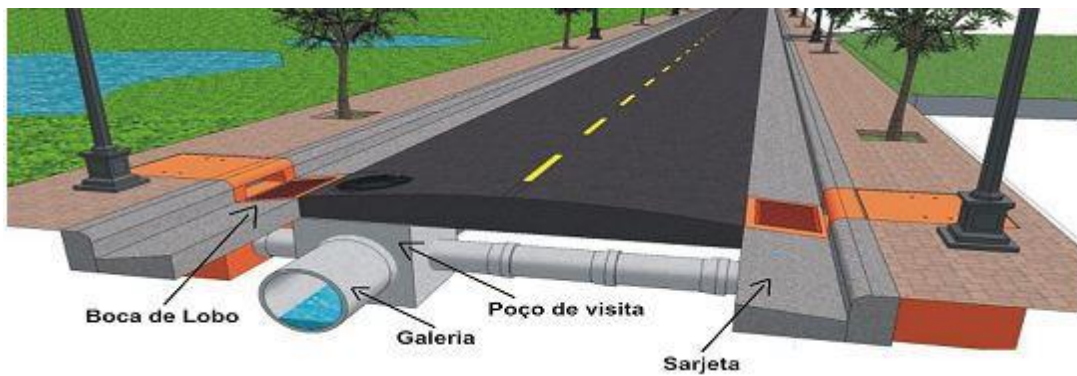
| Tipo de Ocupação                   | Período de retorno (Anos) |
|------------------------------------|---------------------------|
| Residencial                        | 2                         |
| Áreas comerciais                   | 5                         |
| Áreas industriais                  | 10                        |
| Áreas comerciais muito valorizadas | 5 a 10                    |

### Seccao dos Condutores





**Figura 57:** Componentes hidráulicos de um sistema de drenagem tradicional



**Figura 58:** Pormenores do sistema de drenagem na via pública (Fonte: Adaptado de Plínio Tomaz 2010)



**Figura 59:** Cratera de Matola Gare



**Figura 60:** Cratera de Sisuava



**Figura 61:** Cratera da Mozal



**Figura 62:** Cratera do Bairro T3



**Figura 63:** Cratera de Konoluene