



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante Miguel A. M. Mungoi Junior entregou no dia ___/___/___ as 02 cópias do relatório do seu Estágio Profissional intitulado: Protecção de Torres de Energia Eléctrica contra erosão.

Maputo, ___ de _____ de 20___

A Chefe da Secretaria



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Relatório de Estágio Profissional

**PROTECÇÃO DE TORRE DE ENERGIA ELÉCTRICA
CONTRA EROSÃO FLUVIAL**

Miguel Mungoi Júnior

Supervisores:

Prof. Doutor Carlos Quadros, (Professor Auxiliar)

Eng. Sidney de Abreu (TÉCNICA - Engenheiros Consultores, Lda.)

Maputo, março de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Relatório de Estágio Profissional

**PROTECÇÃO DE TORRE DE ENERGIA ELÉCTRICA
CONTRA EROSÃO FLUVIAL**

Miguel Mungoi Júnior

Supervisores:

Prof. Doutor Carlos Quadros, (Professor Auxiliar)

Eng. Sidney de Abreu, (TÉCNICA - Engenheiros Consultores, Lda.)

Maputo, março de 2022

Relatório de Estágio Profissional apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Civil

Autor

(Miguel Mungoi Junior)

Supervisores

(Eng. Carlos Quadros)

(Eng. Sidney de Abreu)

I. DEDICATÓRIA

Este trabalho é todo dedicado aos meus pais, Miguel Alfabeto Mungoi e Celeste Manuel Uqueio que sempre acreditaram no meu potencial e foram responsáveis na criação de todas condições necessárias para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

II. AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus pelo dom da vida e por me guiar em todos os passos da minha vida.

Aos meus pais, Miguel Alfabeto Mungoi e Celeste Manuel Uqueio, Pelo acompanhamento e apoio incondicional durante o longo do período de formação.

Aos meus Irmãos, Lúgia, Manuel e Inocência Mungoi pelo apoio;

Ao supervisor, Prof. Doutor Carlos Quadros pela disponibilidade, orientação e conhecimentos transmitidos ao longo deste período de trabalho até a finalização deste relatório, pelo apoio fornecido especialmente na tomada de decisões e pela disponibilidade para atender aos meus problemas.

Ao co-supervisor, Eng. Sidney de Abreu pelo acolhimento no departamento de Geotecnia, assim como pelas sugestões valiosas e esclarecimento de dúvidas durante o estágio.

A todo corpo docente do Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da UEM e colegas que contribuíram para o sucesso desta jornada.

Aos amigos e colegas, por todo apoio prestado ao longo do curso.

III. RESUMO

O presente documento apresenta o relatório de Estágio Profissional realizado ao longo de 16 semanas com o objetivo de adquirir o grau de licenciado em Engenharia Civil pela UEM.

O estágio profissional foi realizado na empresa TÉCNICA Engenheiros Consultores Lda., na sua sede em Maputo e teve como principal tema a protecção de torre de energia eléctrica contra erosão fluvial.

O Departamento de Geotecnia da Técnica Engenheiros Consultores Lda., realizou um estudo para protecção de uma torre da EDM contra erosão fluvial na cidade da Beira.

Para além de todos os conhecimentos obtidos associados à realização dos trabalhos de protecção contra erosão fluvial, esta experiência possibilitou a percepção do funcionamento de uma empresa ligada ao sector, assim como a preparação para uma futura inserção no mercado de trabalho.

IV. ÍNDICE

I. DEDICATÓRIA.....	i
II. AGRADECIMENTOS.....	ii
III. RESUMO	iii
IV. ÍNDICE.....	iv
V. LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	vi
VI. LISTA DE FIGURAS	vii
VII. LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos.....	1
1.1.1. Gerais	1
1.1.2. Específicos.....	1
1.2. Condicionantes.....	1
1.3. Metodologia	1
1.4. Descrição da área de estudo.....	2
1.5. Estrutura do relatório	3
2. APRESENTAÇÃO GERAL DA EMPRESA	4
3. DESCRIÇÃO DAS ACTIVIDADES DESENVOLVIDAS	7
3.1. Apresentação do projecto.....	7
3.2. Plano de estágio.....	7
3.3. Actividades desenvolvidas	8
4. PROTECÇÃO CONTRA EROSÃO FLUVIAL	9
4.1. Erosão.....	9
4.1.1. Classificação.....	9
4.2. Métodos de protecção contra erosão fluvial	11

4.3.	Breve revisão literária sobre esporões	17
4.3.1.	Classificação dos esporões	17
4.3.2.	Aplicação dos esporões	18
4.3.3.	Constituição de esporão	18
4.3.4.	Dimensionamento	19
4.4.	Caso de estudo– Aplicação dos procedimentos.....	28
4.4.1.	Determinação da velocidade de progressão da erosão.....	28
4.4.4.	Dimensionamento do sistema de esporões	34
4.4.5.	Dimensionamento da protecção directa.....	40
4.4.6.	Sistema de Protecção	42
5.	CONCLUSÕES	43
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

V. LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

EDM – Electricidade de Moçambique.

Técnica – Técnica Engenheiros Consultores Lda.

T353 – Torre 353;

B03, B04, CL71 – Linhas de energia eléctrica da Electricidade de Moçambique;

S – Espaçamento entre esporões;

B – Largura estável do rio;

Q – Caudal do rio;

Dm – Dimensão característica do sedimento no fundo do rio;

B – Ângulo de desvio teórico do fluxo;

km – Quilómetros;

m – Metros;

m/s – Metros por segundo;

m³/s – Metros cúbicos por segundo;

VI. LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da Torre 353 (Imagem-Satélite do Google Earth).....	2
Figura 2.1- Logotipo da Empresa.	4
Figura 2.2- Estrutura orgânica da Técnica.....	6
Figura 4.1- Solos sujeitos a erosão	9
Figura 4.2- Protecção de margens com enrocamento.....	11
Figura 4.3- Protecção de margens com enrocamento sintético.....	12
Figura 4.4- Colchão formado por peças articuladas de betão.	13
Figura 4.5- Colchão de gabião	14
Figura 4.6- Uso de colchão de gabião e gabião-caixa.....	15
Figura 4.7- Recuperação de margem com recurso a gabiões caixa	15
Figura 4.8- Painéis de betão armado	16
Figura 4.9- Campo de esporões	17
Figura 4.10- Constituição de esporão.....	19
Figura 4.11- Método gráfico para definir a separação entre esporões em trechos rectos	20
Figura 4.12- Método I para definir a separação entre os esporões	22
Figura 4.13- Método II para definir a separação entre espigões	23
Figura 4.14- Método III para definir a separação entre espigões	24
Figura 4.15- Secção longitudinal de esporão em concreto.....	25
Figura 4.16- Secção transversal de esporão em sacos de geossintéticos	26
Figura 4.17 - Comprimento do esporão	26
Figura 4.18 - Profundidade da ancoragem	27
Figura 4.19- Posição da margem externa do rio em função do tempo. (Imagem-Satélite do Google Earth)	28
Figura 4.20- Vista do talude da margem do rio mesmo à frente da torre desprovida de vegetação e exposta à erosão.....	29
Figura 4.21 – Torre 353 à 6.0 m de distância da margem do rio	30
Figura 4.22- Solução em protecção directa (Imagem-Satélite do Google Earth).....	31
Figura 4.23-Secção transversal do rio próximo a torre.....	32
Figura 4.24- Nível máximo e mínimo do rio.....	33
Figura 4.25- Localização dos esporões K, I e II (Imagem-Satélite do Google Earth) 34	

Figura 4.26- Localização dos esporões III (Imagem-Satélite do Google Earth).....	35
Figura 4.27- Localização em planta do sistema de esporões(Imagem-Satélite do Google Earth)	36
Figura 4.28- Secção transversal dos esporões	36
Figura 4.29- Secção Longitudinal do esporão K.....	37
Figura 4.30- Secção Longitudinal do esporão I	38
Figura 4.31- Secção Longitudinal do esporão II e III	39
Figura 4.32- Localização da protecção directa (Imagem-Satélite do Google Earth).	40
Figura 4.33- Corte e aterro para protecção directa.....	41
Figura 4.34- Secção transversal da protecção directa	41
Figura 4.35- Localização do Sistema de protecção (Imagem-Satélite do Google Earth)	42

VII. LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1- Plano de estágio.....	7
Tabela 4-1- Distância entre a margem e a torre 353 (Tempo).....	29
Tabela 4-2- Velocidade da erosão em função do tempo	30

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objectivos

1.1.1. Gerais

Aumentar os conhecimentos técnicos e científicos na área de Engenharia Civil, no ramo de Geotecnia e adquirir competências necessárias para tornar possível a realização de estudos desta natureza.

1.1.2. Específicos

- Descrever os métodos de protecção contra erosão fluvial;
- Escolher a solução de protecção contra erosão fluvial para o caso de estudo;
- Dimensionar a solução de protecção contra erosão fluvial para o caso de estudo.

1.2. Condicionantes

Este trabalho foi condicionado pelo não acompanhamento de atividades para obtenção dos parâmetros de dimensionamento da solução de protecção da torre, pelos custos de locomoção à área de estudo.

1.3. Metodologia

Para a elaboração do presente relatório, foi aplicada a seguinte metodologia:

- Pesquisas bibliográficas em manuais, livros e estudos referentes a protecção contra erosão fluvial;
- Pesquisas na Internet sobre protecção contra erosão fluvial;
- Estudo de caso;
- Elaboração de desenhos com recurso a Autocad 2019;
- Processamento dos dados usando Microsoft Excel 2019;
- Compilação de informação com recurso a Microsoft Word 2019;
- Ilustração e medição de distâncias com recurso a Google Earth Pro.

1.4. Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado na província de Sofala, nas proximidades do rio Púnguè, a aproximadamente 30 km de Dondo. A torre em causa localiza-se na curva externa do rio e tem como coordenadas 660650.73 E; 7849369.41 S como mostra a figura a seguir.



Figura 1.1 - Localização da Torre 353 (Imagem-Satélite do Google Earth)

1.5. Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se organizado em 7 capítulos, que se distinguem pelos diversos conteúdos que abordam.

No primeiro capítulo realiza-se uma breve introdução ao documento e estágio efectuado;

No capítulo 2 apresenta-se a empresa onde decorreu o estágio profissional;

No terceiro capítulo descrevem-se as actividades desenvolvidas ao longo do estágio profissional, apresentando o projecto, o plano geral do estágio e as actividades desenvolvidas;

No capítulo 4 faz-se uma breve introdução sobre erosão, apresentação das soluções para protecção de margens contra erosão fluvial, breve revisão literária sobre esporões e apresenta-se a aplicação dos procedimentos para escolha da solução para o caso de estudo.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões

No sexto capítulo são apresentadas as diversas bibliografias consultadas e que permitiram a percepção do conteúdo aqui apresentado.

2. APRESENTAÇÃO GERAL DA EMPRESA



Figura 2.1- Logotipo da Empresa.

A TÉCNICA Engenheiros Consultores Lda é uma das mais antigas e reputadas empresas moçambicanas multidisciplinar de engenharia. A empresa iniciou a sua actividade em 1989 no sector da construção civil. Desde então, TEC desenvolveu competências em outros ramos em resposta às necessidades do mercado.

Missão:

- Por uma Engenharia de elevada Qualidade.

Visão:

- Estar implantada em todo o país;
- Estar associado aos Grandes empreendimentos;
- Internacionalizar a atividade.

Valores:

- Competência, Arrojo e Elevada Qualificação;
- Satisfação do Cliente;
- Dedicção, Disciplina, Responsabilidade e Perseverança;
- Honestidade, Integridade, Justiça e Solidariedade;
- Comunicação, Colaboração e Complementaridade.

Política:

A gestão da TÉCNICA assenta nos seguintes princípios:

- **Satisfação dos seus clientes** – Prestando serviços diferenciadores e competentes que de forma consistente e competitiva excedam as suas expectativas.
- **Compromisso**- Trabalhando em conformidade com a Legislação Aplicável, integrando as melhores práticas de engenharia a nível mundial.
- **Melhoria do resultado operacional** – Procurando ativamente e continuamente a implementação dos serviços soluções mais eficientes.
- **Engenho**- Incorporando nos serviços soluções adaptadas às condições locais e recursos disponíveis.
- **Reconhecimento pela competência**- Garantindo um elevado grau de cumprimento dos objectivos, actualização contínua e partilha do conhecimento.
- **Bem-estar da Organização** - Oferecendo condições adequadas ao desenvolvimento profissional e pessoal.
- **Responsabilidade** - Mantendo uma atitude social e ambientalmente responsável que contribua para o desenvolvimento sustentável.

Estrutura orgânica

A Estrutura orgânica da TÉCNICA Engenheiros Consultores, Lda. é a seguinte:

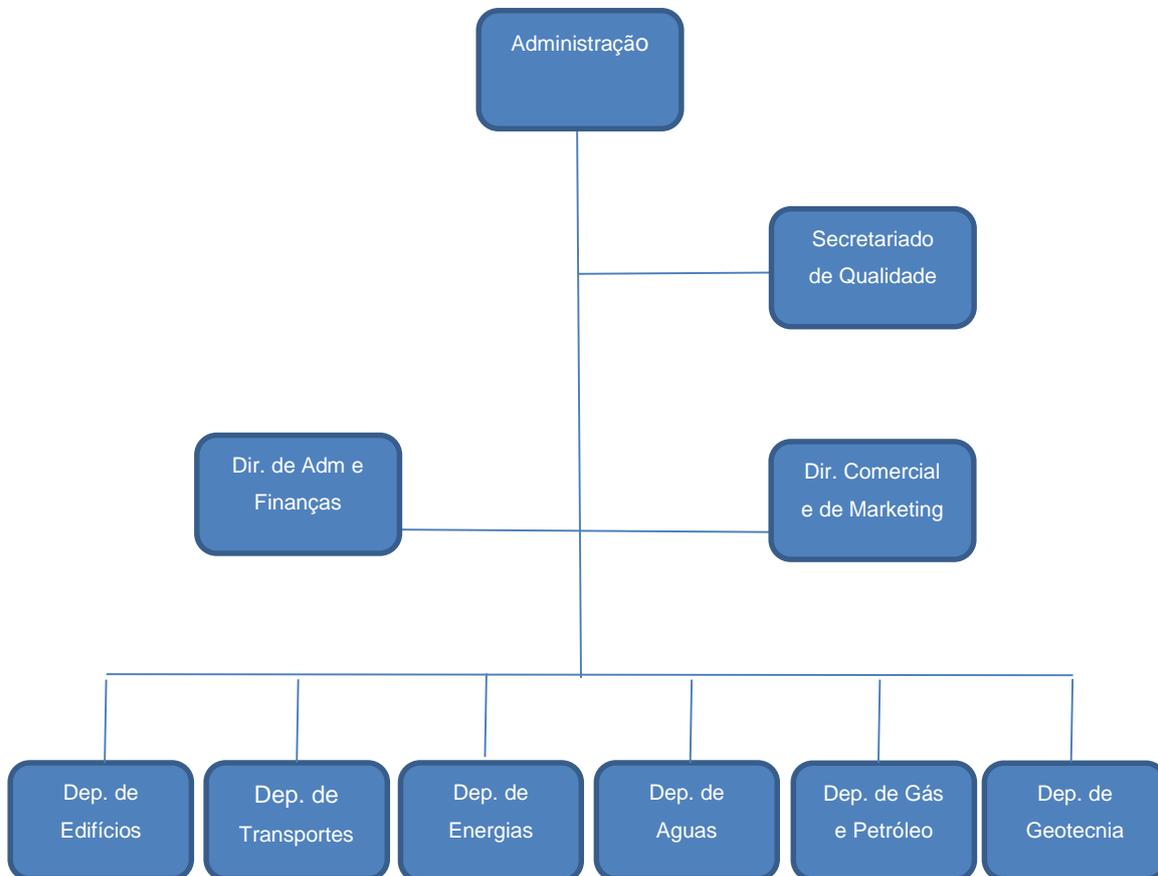


Figura 2.2- Estrutura orgânica da Técnica

Área de afetação do estudante

Durante o processo de estágio profissional, a área de afectação do estudante foi o departamento de Geotecnia.

3. DESCRIÇÃO DAS ACTIVIDADES DESENVOLVIDAS

3.1. Apresentação do projecto

Os trabalhos consistiram na elaboração de uma solução para protecção da torre de energia eléctrica contra erosão fluvial.

3.2. Plano de estágio

O Plano de Estágio consistia no seguinte:

Tabela 3-1- Plano de estágio.

Actividades	Número de semanas desde o começo dos trabalhos															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tema1: Microestacas																
Pesquisas acerca do tema;	■															
Compilação da informação				■												
Preparação de apresentações					■											
Tema 2: Caso de estudo																
Pesquisas acerca do tema;						■										
Compilação da informação						■										
Preparação de apresentações							■									
Escolha da solução de protecção								■								
Dimensionamento da solução										■						
Elaboração de desenhos															■	■

3.3. Actividades desenvolvidas

Durante o período de estágio, foram desenvolvidas as seguintes actividades no sector de Geotecnia:

3.3.1. Microestacas

- Pesquisas acerca do tema;
- Compilação da informação;
- Preparação de apresentações;

3.3.2. Projecto de protecção contra erosão fluvial

- Pesquisas acerca do tema;
- Compilação de informação relevante para o projecto;
- Preparação de apresentações;
- Escolha da solução;
- Dimensionamento da solução;
- Elaboração de desenhos.

4. PROTECÇÃO CONTRA EROSÃO FLUVIAL

4.1. Erosão

Erosão é o processo de desgaste, transporte e sedimentação do solo, dos subsolos e das rochas como efeito da ação dos agentes erosivos, tais como a água, os ventos e os seres vivos (PINTO, ANTÓNIO AUGUSTO SAMPAIO, 2017).

A erosão é um processo com graves consequências (económicas e sociais), pois coloca em causa a estabilidade de diversas infraestruturas e a segurança dos seus utilizadores (DE SOUSA, 2012).



Figura 4.1- Solos sujeitos a erosão

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tipos-erosao.htm>, 29 de Março de 2022

4.1.1. Classificação

Há vários tipos de erosão, que podem ser elencadas conforme o tipo de agente erosivo actuante.

Erosão fluvial O processo de erosão fluvial ocorre, quando a ação dos rios proporciona desgastes das margens e do fundo do canal e carrega o material removido ao longo do leito. Os materiais erodidos e depositados em um trecho específico do canal costumam apresentar-se balanceados (CUNHA, 1996 APPUD OLIVEIRA).

Erosão pluvial é o desgaste provocado pelo leito dos rios tanto quando eles se excedem e avançam sobre as margens quanto quando a vegetação ciliar é removida e desprotege o relevo ao redor dos cursos de água (GUERRA; BOTELHO, 1996, P. 105 APPUD OLIVEIRA).

Erosão Marinha, designada também de erosão costeira, modifica todo o litoral e é causada, fundamentalmente, pela ação de três fatores: ondas, correntes e marés (ARMESTO, 2012; CECCARELLI, 2009 APPUD OLIVEIRA).

Erosão eólica, os principais fatores que controlam a erosão eólica são o clima, o solo e a vegetação (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2008 APPUD OLIVEIRA)

Erosão glacial é o tipo de erosão causado pela ação do gelo, tanto da neve quanto das geleiras. Geralmente ocorre porque as variações de temperatura congelam e descongelam a água, que se dilata e se comprime, afetando as rochas e os solos (ARMESTO, 2012; CECCARELLI, 2009 APPUD OLIVEIRA).

Erosão por gravidade ocorre em áreas montanhosas de acentuada declividade. Em alguns casos, quando o relevo é muito inclinado, pode ocorrer a movimentação de massas de terra, fenômeno que pode ser intensificado pela saturação dos solos pela água das chuvas (GUERRA; BOTELHO, 1996, P. 105 APPUD OLIVEIRA).

Erosão geológica é também conhecida como erosão natural ou que não sofreu a interferência humana. Atua modelando as paisagens, com uma combinação de vários outros tipos de ações erosivas. Um exemplo é a modelagem de um vale pelas águas e pelos ventos (GUERRA; BOTELHO, 1996, P. 105 APPUD OLIVEIRA).

Este trabalho é focado no estudo de protecção contra erosão fluvial.

4.2. Métodos de protecção contra erosão fluvial

Os métodos de protecção podem ser directos e indirectos (BRIGHETTI E MARTINS 2001).

4.2.1. Protecções directas

As protecções directas são aquelas em que o revestimento aplicado fica em contacto directo com a superfície das margens. Esse tipo de revestimento pode ser flexível, quando acompanham as deformações sofridas pelo material que compõe a margem sem perder a integridade ou rígidas quando o revestimento não acompanha suas deformações (BRIGHETTI E MARTINS 2001).

4.2.1.1. Protecção com enrocamento

Os enrocamentos baseiam-se no revestimento de taludes com pedras arrumadas ou lançadas com dimensões compatíveis com as velocidades de escoamento, com objectivo de formar um maciço de pedras destinados a proteger aterros, encostas, taludes, margens de rios dos efeitos da erosão. (BRIGHETTI e MARTINS, 2001).



Figura 4.2- Protecção de margens com enrocamento

Fonte: http://www.boulder-walls.com/?page_id=69 , 29 de Março de 2022

A estabilidade desse tipo de revestimento é função de diversos factores como a velocidade de escoamento, as condições de turbulência do fluxo, as propriedades físicas das rochas, etc.

O princípio que norteia o uso de enrocamento para protecção de margens de rios contra efeitos da erosão é o Equilíbrio de Lane, que postula que quanto maior é o diâmetro do material do leito do curso de água menor será a quantidade de material do leito transportada pela água.

Recomenda-se a colocação de enrocamento para taludes com inclinação máxima de 65°.

a) Enrocamentos sintéticos

São revestimentos executados com sacos de geossintéticos preenchidos “in-situ” com diversos materiais como areia, betão, argamassa e solo-cimento. Após preenchidos, os sacos são dispostos junto à margem acompanhando o talude do rio (BRIGHETTI E MARTINS 2001).



Figura 4.3- Protecção de margens com enrocamento sintético

Fonte: http://www.wulwith.com/geobag.php?lang=en#tabs|Tabs_Group_name:Tab_1_name, 29 de Março de 2022

4.2.1.2. Proteção com colchões

Colchões são elementos de revestimento, que apresentam uma grande resistência à ação de ondas e correntes em função de seu funcionamento em conjunto. Geralmente sua resistência é superior aos esforços hidráulicos a que estão submetidos, devendo-se dar especial atenção à transição entre o material de base da margem e o elemento de revestimento (BRIGHETTI e MARTINS, 2001).

a) Elementos articulados

São blocos de betão com ligação entre si, oferecendo grande flexibilidade e resistência principalmente contra a ação de ondas, podendo também ser elementos articulados de madeira, unidos por barras metálicas, posteriormente preenchidas com enrocamento, aumentando assim a resistência do conjunto (BRIGHETTI e MARTINS, 2001).



Figura 4.4- Colchão formado por peças articuladas de betão.

fonte: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.thebluebook.com%2FProView%2F806016%2Fbasalite-concrete-products-llc%2Fmanufacturers%2Fgallery%2F585911_civil-site-development%2F804359_humboldt-river-repair-articulated-concrete-block-mats.html&psig=AOvVaw3UwPX_wY0dojYvNvGoJJ6x&ust=1648668184592000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwjXvZ3dhez2AhXL8IUkHZm5CgoQjhx6BAgAEAo.

Os blocos mais frequentemente aplicados são os pré-fabricados de betão, sendo a sua aplicação recomendada para taludes de inclinação inferior a 25° (SCARAMEIRA, 1998).

b) Colchões de gabiões

Os colchões de gabiões são elementos de revestimento flexível constituídos de caixa formada por tela metálica e enchimento em pedra. Eles têm a vantagem, pela menor espessura, de exigirem pedras menores e propiciam conseqüente menor consumo de material (BRIGHETTI e MARTINS, 2001).



Figura 4.5- Colchão de gabião

Fonte: MACCAFERRI

Para instalação do colchão o talude deve ser estável, sendo previamente preparado e nivelado. Os colchões devem ser montados e transportados até o local definido em projeto, posicionados de forma apropriada e costurados entre si em todas as arestas de contato. Após a instalação, inicia-se o enchimento dos colchões. As pedras devem ser colocadas de forma arrumada para se reduzir o índice de vazios, e o tamanho das pedras deve ser levemente superior às aberturas das malhas do colchão.

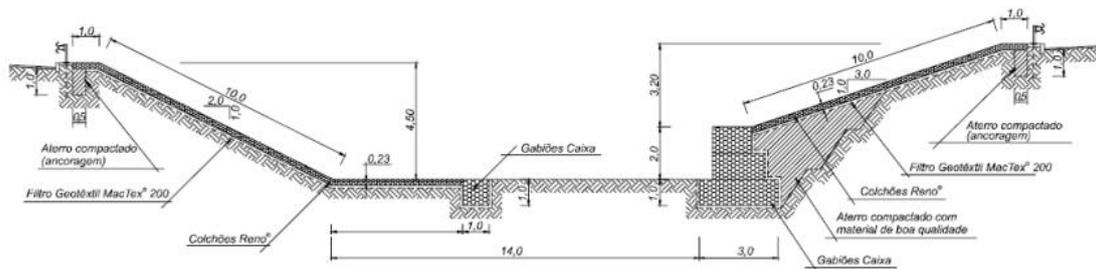


Figura 4.6- Uso de colchão de gabião e gabião-caixa

Fonte: BRIGHETTI e MARTINS 2001

4.2.1.3. Gabiões caixa

Os gabiões tipo caixa são estruturas em forma de prisma retangular, fabricadas com malha hexagonal de dupla torção produzidas com arame tratado contra a corrosão. Os gabiões são subdivididos em células por diafragmas cuja função é reforçar a estrutura. (MACCAFERRI, 2005)

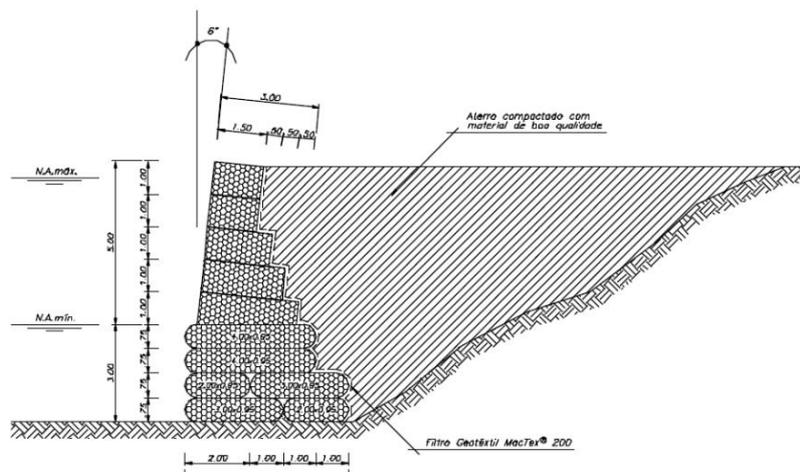


Figura 4.7- Recuperação de margem com recurso a gabiões caixa

Fonte: BRIGHETTI e MARTINS 2001

Quando instalados e cheios de pedra, os gabiões se convertem em elementos estruturais flexíveis, armados, drenantes e aptos a serem utilizados na construção dos mais diversos tipos de estruturas, como muros de contenção, barragens, etc. Na proteção de margens são muito empregados na forma de muros pois conferem resistência hidráulica e estabilidade geotécnica às margens.

A implantação dos gabiões é adequada para margens com taludes aproximadamente verticais.

4.2.1.4. Painéis de Betão armado

Consistem em placas de betão armado apoiadas no terreno, conferindo a este resistência a abrasão e impermeabilização. É recomendado para taludes pouco íngremes e caracteriza-se por ser um método de custo elevado. Deve-se tomar o cuidado de prever drenos horizontais para alívio das pressões da água sob o revestimento.



Figura 4.8- Painéis de betão armado

Fonte: BRIGHETTI e MARTINS 2001

4.2.2. Protecções indirectas

Protecções indirectas tem por finalidade desviar o fluxo de água das margens a serem protegidas, criando até mesmo condições para ocorrência de deposição de material, aumentando-se assim a eficiência da protecção.

4.2.2.1. Diques

Os diques são obras que se desenvolvem no sentido longitudinal do curso de água que, quando construídos junto às margens constituem protecção para estas.

Esse tipo de construção tem como vantagens a não obstrução ao escoamento e a fácil adaptação do mesmo a geometria do canal. A principal desvantagem é o elevado custo de construção pelo fato da obra ser contínua, risco de ruptura do talude e conseqüente dano à estrutura.

4.2.2.2. Esporões

As considerações sobre esporões serão descritas na secção 4.3.

4.3. Breve revisão literária sobre esporões

Esporões são estruturas transversais que avançam desde a margem, em direção ao eixo do escoamento, até o limite adequado para exercer sua proteção ou linha de margem desejada (BRIGHETTI e MARTINS, 2001).



Figura 4.9- Campo de esporões

Fonte: <http://edsonprof.blogspot.com/2018/02/estruturas-de-protecao-costeira-parte.html>

4.3.1. Classificação dos esporões

Segundo ALFREDINI (2005) os esporões podem ser classificados em:

a) Esporões Isolados

Para afastamento do escoamento da margem são indicados somente em condições específicas, como a proteção de encontros de pontes, proteção de taludes de ensecadeiras, pois podem provocar escavações na margem oposta e escavação a jusante de sua extremidade. Consiste em um escarpamento artificial destinado a empurrar a corrente de água para longe da margem.

b) Esporões de repulsão

São impermeáveis e constituídos por um campo de esporões que se protegem mutuamente, induzindo a presença de uma massa de água estagnada entre a margem e a correnteza fluvial. O espaçamento dos esporões normalmente é maior nos rios mais largos do que nos estreitos, adotando-se espaçamentos referenciados ao comprimento do esporão. Os comprimentos vão crescendo de montante para jusante, sendo que o primeiro a montante deve ser o menor possível e capaz de resistir a ação da correnteza.

c) Esporões de sedimentação

Permitem a percolação de água a velocidades reduzidas para favorecer a sedimentação do transporte sólido em suspensão, implantados em série para favorecer o depósito de sedimentos sobre a margem visando protegê-las. São eficazes em rios com elevado transporte de sólidos em suspensão.

4.3.2. Aplicação dos esporões

Segundo a MACAFERRI 2012, as aplicações dos esporões são:

- Estabilizar o curso do rio;
- Reduzir a velocidade do fluxo nas imediações da margem, a montante e jusante, para valores tais que não possam produzir erosão;
- Favorecer a sedimentação do material de arraste entre os mesmos;
- Desviar o fluxo para o centro do canal desviando de eventuais zonas críticas, para prevenção de erosão;
- No caso de rios navegáveis, centralizar a corrente para aprofundar o canal.

4.3.3. Constituição de esporão

Segundo a MACAFERRI 2012, um esporão é constituído pelas seguintes partes:

- Cabeça;
- Corpo central;
- Crista ou superfície superior;
- Ancoragem ou extremidade enterrada;
- Face lateral de montante;
- Face lateral de jusante;

- Base de proteção contra erosão, formado através do aprofundamento da estrutura ou por uma proteção horizontal (cobrindo o leito).

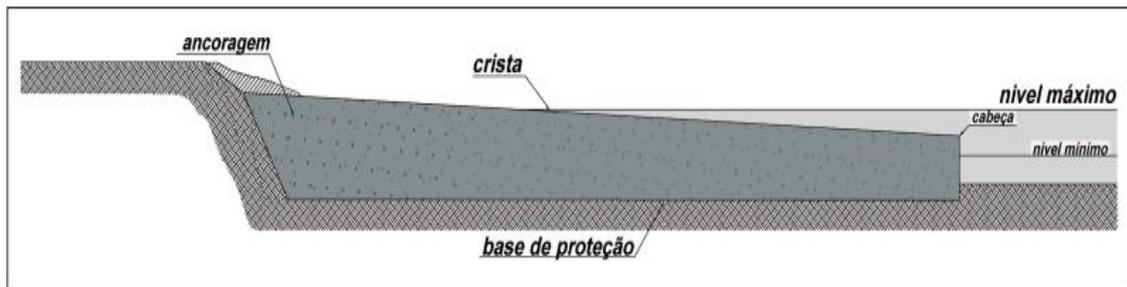


Figura 4.10- Constituição de esporão

Fonte: MACCAFERRI 2012

4.3.4. Dimensionamento

O dimensionamento descrito é com base nos procedimentos descritos no manual da MACCAFERRI 2012.

4.3.4.1. Parâmetros de entrada

Os parâmetros de entrada considerados para o dimensionamento dos esporões são os seguintes:

a) Parâmetros de fluxo

- Níveis mínimos, máximos e médios;
- Quantificação do material de arraste;
- Regime hidráulico.

a) Parâmetros do canal

- Declividade;
- Dimensões e forma;
- Características morfológicas.

b) Parâmetros para escolha do material de construção

Essas estruturas podem ser constituídas por diversos materiais, dentre eles: madeira, troncos, pedras, elementos pré-fabricados de concreto, gabiões e geossintéticos, etc. Os parâmetros importantes para a escolha do material de construção são:

- Disponibilidade do material e distância de transporte;
- Disponibilidade de mão de obra e equipamentos necessários para a construção;
- Custos de material, mão de obra e equipamentos;
- Prazo de construção;
- Nível de água durante a construção.

4.3.4.2. Localização em planta dos esporões

4.3.4.2.1. Trechos rectos

Para definir S (espaçamento entre esporões) nos trechos retos leva-se em conta o β (ângulo de desvio teórico do fluxo), medido na ponta do esporão.

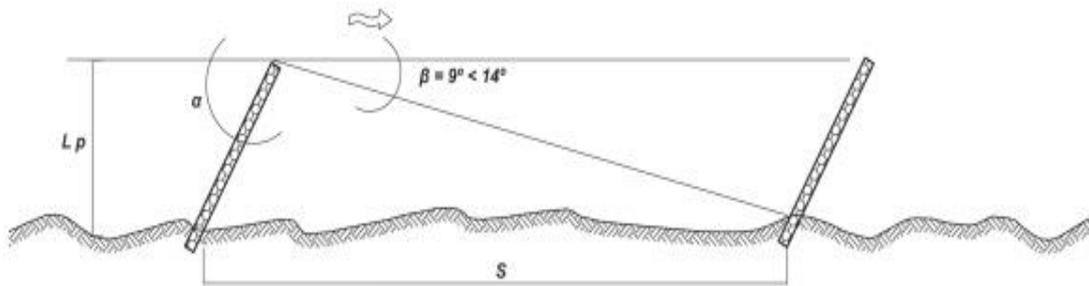


Figura 4.11- Método gráfico para definir a separação entre esporões em trechos rectos

Fonte: MACCAFERRI 2012

Alguns autores recomendam que, se a orientação entre os esporões α for entre 70° e 90° , $S \approx (5,2 \text{ a } 6,4) L_p$ se a orientação entre os esporões α for de 60° , $S \approx (5,7 \text{ a } 6,9) L_p$.

Maza recomenda, em caso de esporão perpendicular à margem, que a distância está compreendida entre $(4 - 6,3) L_p$, equivalente a $\beta = 9^\circ$ a 14° .

4.3.4.2.2. Trechos em curvas

a) Método I

Este método compreende os seguintes passos para o posicionamento de esporões:

Passo 1

É prolongado o eixo do rio do trecho de montante. Na intersecção do eixo com a margem externa, identificamos o ponto A, onde será posicionado o primeiro esporão, que chamaremos de esporão I, geralmente perpendicular à margem e cujo comprimento deve ser da ordem de 15% - 20% da largura do rio.

Passo 2

Da ponta do esporão I, é traçado, no sentido de jusante, a paralela ao eixo anteriormente mencionado. No ponto em que a reta intercepta a margem atual (erodida) identificamos o ponto B. Multiplica-se por dois a distância AB e define-se a posição C na qual será posicionado o esporão II. Seu comprimento deverá ser entre 25 e 30% da largura do rio. Sua orientação dependerá da decisão do engenheiro.

Passo 3

Da ponta dos esporões I e II é desenhada uma reta no sentido de jusante. No ponto da intercepção com a mesma margem, identificamos o ponto de posicionamento do esporão III. Seu comprimento deverá ser da mesma ordem do anterior.

Passo 4

Repetimos o processo indicado no passo 3 para identificar a posição do esporão IV.

Passos seguintes

O processo é repetido até alcançar a zona da margem não afetada pela erosão.

Último passo

A montante do esporão I à distância AB é localizado o esporão K, cuja função é proteger a ancoragem do esporão I. Seu comprimento deverá ser menor que a de todos os outros esporões na ordem de 10% da largura do rio e a sua maior ancoragem.

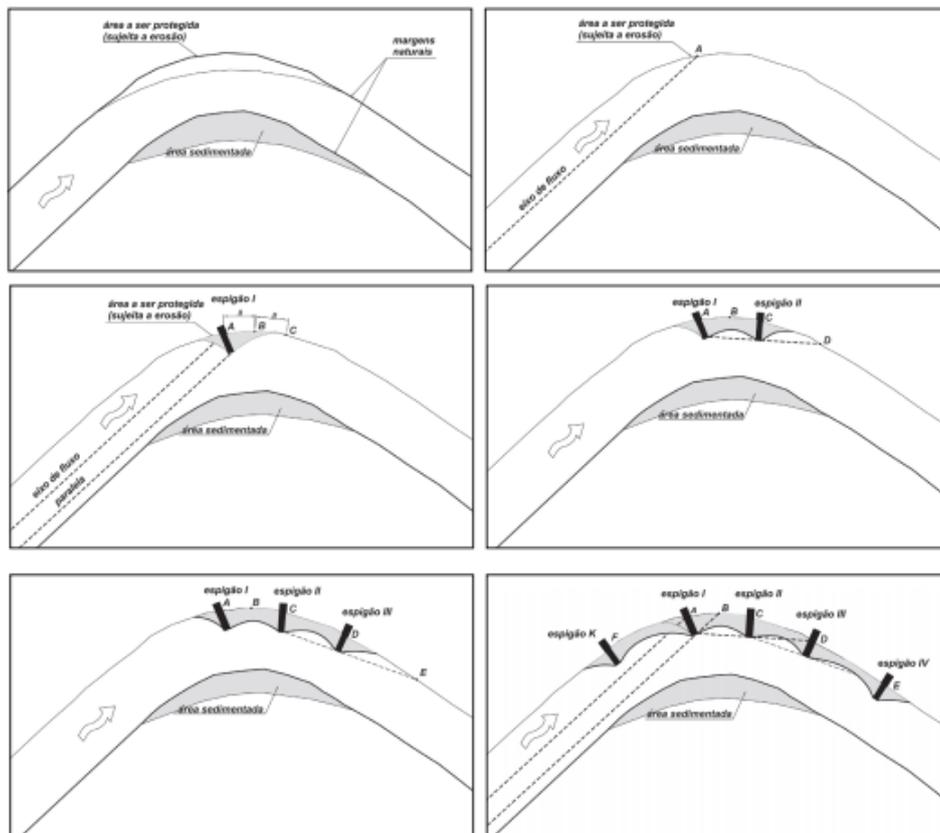


Figura 4.12- Método I para definir a separação entre os esporões

Fonte: MACCAFERRI 2012

b) Método II

Neste método, admite-se $\beta = 9^\circ$ a 14° . Posiciona-se o esporão seguinte a jusante na intersecção entre a margem externa do rio e a reta que se origina da cabeça de cada esporão, formando o ângulo β com a tangente ao raio de curva nessa posição, de acordo com a representação da figura.

É necessário recordar que é sempre conveniente que os diferentes raios R da curva da margem desejada sejam sempre de tamanho decrescente de tal maneira que este se reduza o mais suavemente possível. Da mesma maneira, convém que o(s) raio(s) da curva sejam) sempre $2,5B < R < 8B$ porque, para menores raios se torna mais conveniente economicamente substituir os esporões com uma defesa longitudinal, enquanto que, para raios maiores não existe segurança que todos os esporões trabalhem eficientemente.

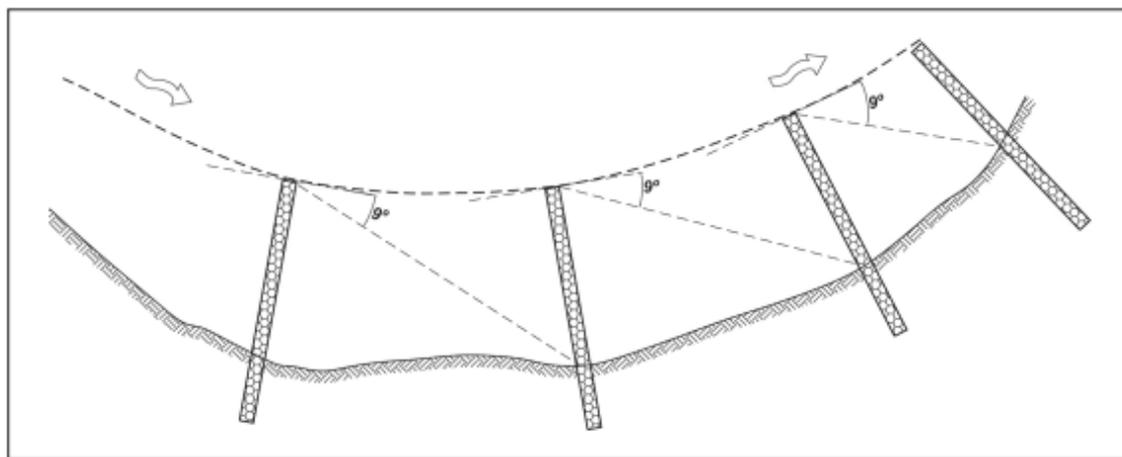


Figura 4.13- Método II para definir a separação entre esporões

Fonte: MACCAFERRI 2012

c) Método III

Passo 1

Identificada a zona onde se inicia a erosão, o primeiro esporão, que chamaremos I, é posicionado imediatamente a montante, em geral perpendicularmente à margem e com um comprimento de ordem de 10% da largura do rio.

Passo 2

Do ponto de arranque do esporão I, é desenhada no sentido de jusante uma reta perpendicular ao raio da curva. No ponto na qual a reta corta em duas partes iguais o segmento de raio compreendido entre as linhas de margem atual (erodida) e a desejada, identificamos o ponto de posicionamento do esporão II. Seu comprimento deverá ser entre 25 e 30% da largura do rio. Sua orientação dependerá da decisão do engenheiro (a seguir estão algumas considerações sobre isso).

Passo 3

Passando pela ponta dos esporões I e II é desenhada até jusante uma recta. No ponto a qual a recta corta em duas partes iguais o segmento de raio

compreendido entre as linhas da margem actual a desejada, identificamos o ponto de posicionamento do esporão III. Seu comprimento deverá ser da mesma ordem que o anterior.

Passo 4

Para identificar a posição do esporão IV deverá ser repetido o processo indicado no passo 3.

Próximos passos

O processo será repetido para localizar os esporões seguintes até chegar nas proximidades do fim da zona não afectada pela erosão.

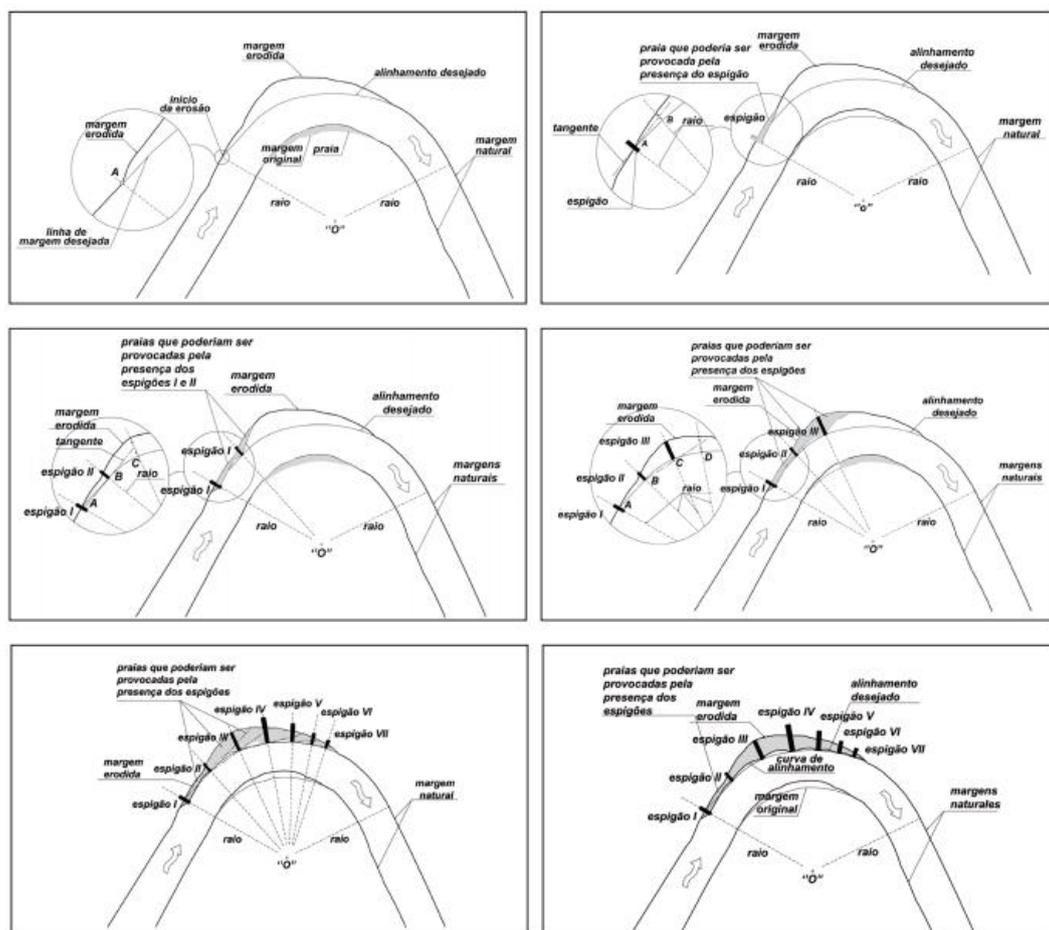


Figura 4.14- Método III para definir a separação entre esporões

Fonte: MACCAFERRI 2012

4.3.4.3. Secção longitudinal

Em geral, a altura do esporão diminui a partir da borda para o centro do rio. A declividade é definida pela cota da ancoragem, o comprimento do esporão e a cota da extremidade que geralmente é de 0,5 m ou pouco superior ao nível de água no período de estiagem.

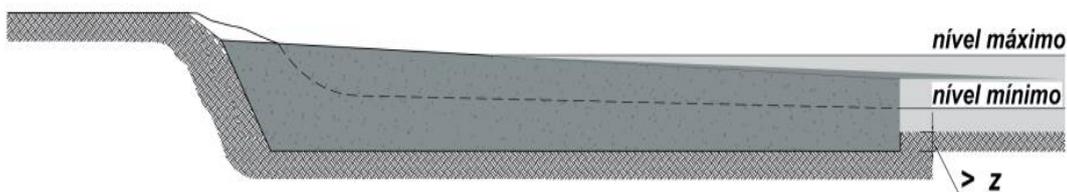


Figura 4.15- Secção longitudinal de esporão em concreto

Fonte: MACCAFERRI 2012

4.3.4.4. Secção transversal

É recomendável desenhar a seção transversal em forma trapezoidal, A crista tem larguras variáveis de 1,0 m a 3,5 m, podendo chegar até 6 m. No caso dos esporões construídos com material solto, deve ser suficiente larga para permitir a circulação dos veículos que transportam o material usado para a construção do esporão.

No caso dos esporões construídos com material solto, geralmente os taludes transversais variam desde 3H:1V na parte mais próxima a borda a 5H:1V.

Ao utilizar os sacos de geossintéticos, sua disposição longitudinal deverá sempre ser de forma piramidal como apresentado a seguir.

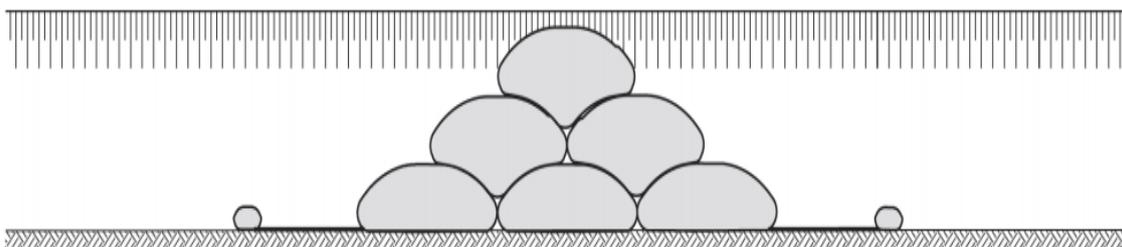


Figura 4.16- Seção transversal de esporão em sacos de geossintéticos

Fonte: MACCAFERRI 2012

4.3.4.5. Comprimento dos esporões

O comprimento total do corpo do esporão L é convencionalmente dividida em duas partes: o comprimento de ancoragem L_e , que fica engastada na margem e o comprimento ativo L_a , que fica exposta a ação da corrente.

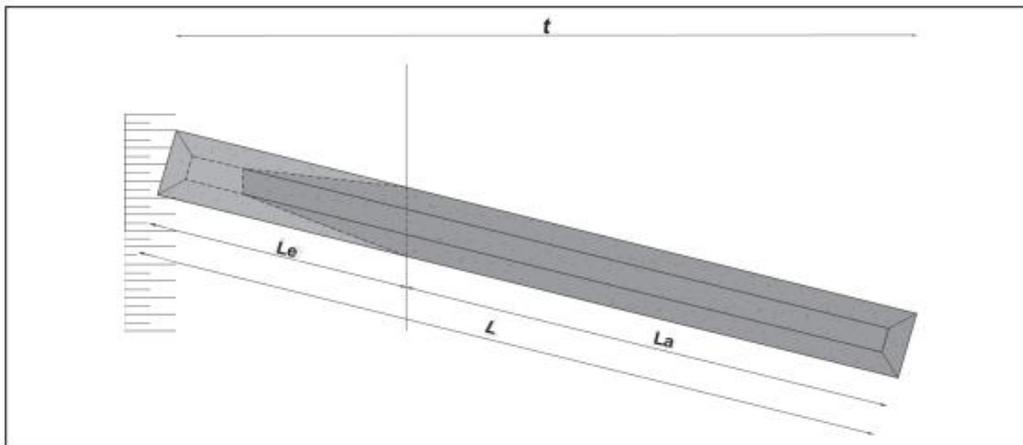


Figura 4.17 - Comprimento do esporão

Fonte: MACCAFERRI 2012

a) Comprimento de ancoragem

É a parte do esporão construída dentro da borda para evitar eventuais escoamentos em torno da estrutura, dentro da margem, que poderiam criar novos caminhos de fluxo, com potencial de comprometimento da sua estabilidade.

Em terrenos muito rígidos, como rocha, não se faz necessário, sendo suficiente garantir a continuidade entre o terreno e o esporão. Nos outros casos, recomendam-se comprimentos de encastramento de 25% a 40% do L para o primeiro esporão e 15% a 20% do L para os outros esporões.

Protecção de torre de energia eléctrica contra erosão fluvial
Estágio Profissional

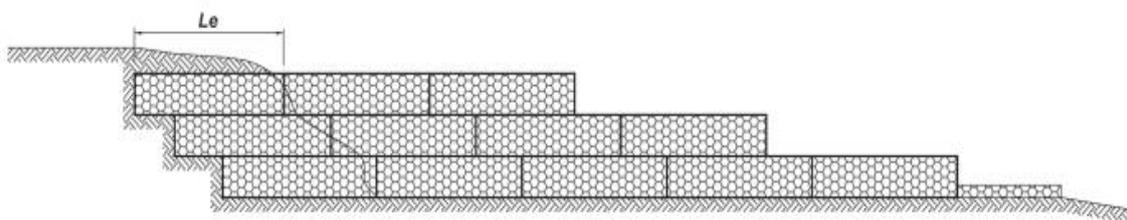


Figura 4.18 - Profundidade da ancoragem

Fonte: MACCAFERRI 2012

4.4. Caso de estudo– Aplicação dos procedimentos

4.4.1. Determinação da velocidade de progressão da erosão

Primeiro, com recurso ao Google Earth desenhou-se as posições das margens com o tempo, para interpretação do processo de erosão como mostra a figura a seguir. A partir da Figura a seguir observa-se que a margem externa do rio está a sofrer um processo de erosão progressiva em direção às fundações da Torre 353 e que o mesmo, inicia no ponto P1.



Figura 4.19- Posição da margem externa do rio em função do tempo. (Imagem-Satélite do Google Earth)



Figura 4.20- Vista do talude da margem do rio mesmo à frente da torre desprovida de vegetação e exposta à erosão

A partir das Imagens-Satélite do Google Earth obtiveram-se as distâncias entre a torre e a margem externa do rio com o tempo apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 4-1- Distância entre a margem e a torre 353 (Tempo)

Tempo	Distância entre Torre e Margem do Rio (m)
2005	17.15
2009	14.04
2016	11.36
2020	6.91

Actualmente, a distância entre a torre e a margem externa do rio é de aproximadamente 6.0 m como mostra a figura a seguir.



Figura 4.21 – Torre 353 à 6.0 m de distância da margem do rio

Para a determinação da velocidade de erosão, recorreu-se aos valores das distâncias entre a Torre 353 e a margem externa com o tempo indicado na tabela anterior. Na tabela seguinte são calculadas as velocidades médias de erosão para cada intervalo de tempo.

Tabela 4-2- Velocidade da erosão em função do tempo

Período (anos)	erosão (m)	Velocidade de erosão (m/ ano)
2005 - 2009	3.11	0.78
2009 - 2016	2.68	0.38
2016 -2020	4.45	1.11

Como mostra a tabela acima, estima-se que nos últimos 4 anos a velocidade média de erosão na margem externa em direção a Torre 353 é de 1.11 m/ano.

A conclusão é que a margem externa do rio mostra indicações de erosão progressiva em direção à torre, e estima-se que em pouco tempo as fundações

da torre serão erodidas e conseqüentemente a mesma irá colapsar. Nestas condições a Torre precisa de ser protegida com urgência.

4.4.2. Escolha da solução de protecção da margem

Como mostra a figura a seguir, o comprimento da área erodida (distância entre P1 e a posição da torre) é de 234.67m.

Do estudo realizado concluiu-se que uma solução de protecção directa teria um comprimento total de 250m como indica a figura a seguir, sendo que a solução em sistema de esporões teria um comprimento total de 55m.

Assim sendo, optou-se pelo uso do sistema de esporões (solução mais económica) e protecção directa com enrocamento nas proximidades da torre para garantir a protecção efectiva da margem.

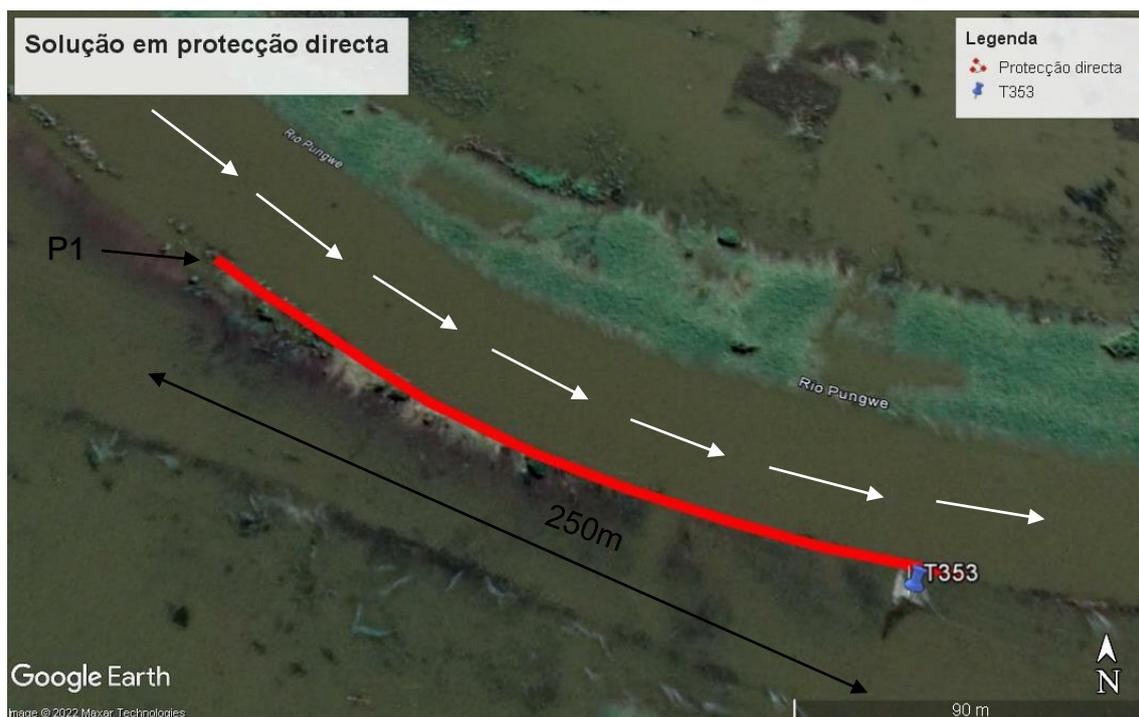


Figura 4.22- Solução em protecção directa (Imagem-Satélite do Google Earth)

4.4.3. Determinação dos parâmetros de entrada

Conforme referido anteriormente, não foi possível participar nas atividades realizadas no campo, com destaque para atividades de determinação dos parâmetros do canal e variáveis de fluxo. No entanto foram disponibilizados os

resultados dos levantamentos efectuados para o estudo da solução de protecção da margem.

a) Parâmetros do canal

i. Declividade

O rio Púnguè corre numa zona plana, o que lhe confere uma configuração em meandros. Rios que correm em meandros estão em constante alteração de sua configuração devido ao processo natural de deposição e erosão de material do rio.

ii. Dimensões e forma

Os levantamentos batimétricos têm por objetivo realizar as medições de profundidades associadas a uma posição da embarcação na superfície da água, necessárias em áreas marítimas, fluviais, em lagoas e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não, visando à representação destas áreas.

Para a determinação da posição da embarcação no instante da tomada da profundidade recorreu-se ao método estimado, este método consiste em fazer estimativas visuais da posição da embarcação em relação a pontos de referência localizados em terra. Para a medição das profundidades associadas à posição da embarcação na superfície da água, recorreu-se ao uso de uma haste.

A partir dos levantamentos batimétricos realizados foi possível determinar as dimensões e a forma do perfil transversal do rio como motra a figura a seguir.

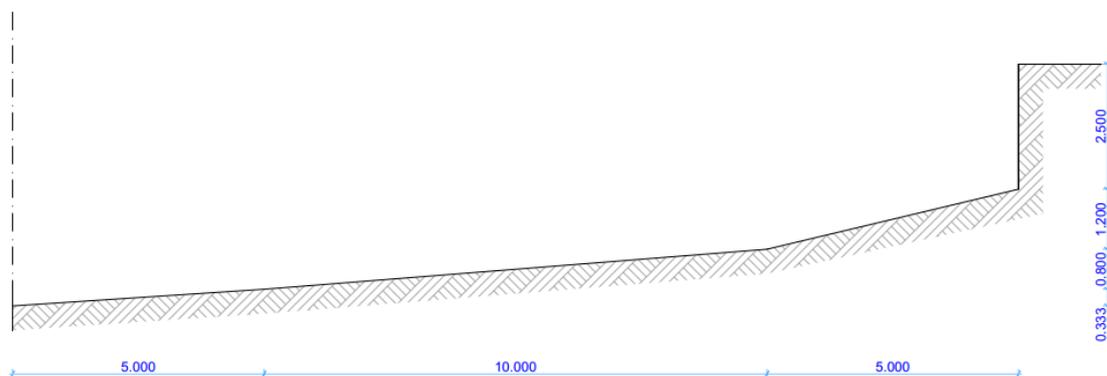


Figura 4.23-Secção transversal do rio próximo a torre.

iii. Classificação do solo

A margem externa do rio é composta por material argiloso.

b) Variáveis de fluxo

O rio é caracterizado por uma largura média de 57.44 m.

i. Níveis mínimos e máximos

Dos levantamentos efectuados, constatou-se que na época chuvosa o nível de água do rio sobe até aproximadamente 2.5 m acima do solo inundando toda a área e que o rio é caracterizado por baixas velocidades.

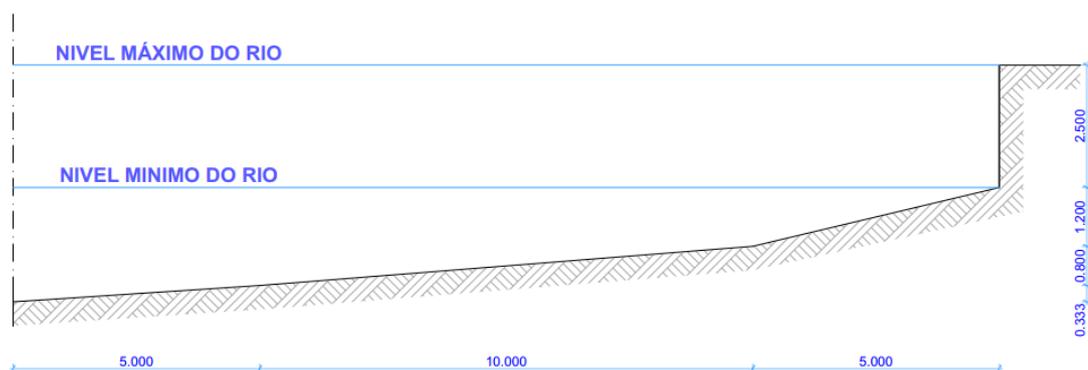


Figura 4.24- Nível máximo e mínimo do rio.

c) Escolha do material de construção

Para a construção do sistema de esporões, optou-se pelo uso de sacos de geossintéticos, preenchidos com solo local e com as dimensões mínimas após o preenchimento de 1.30×2.00×0.50 [m].

A escolha dos sacos de geossintéticos como material de construção foi condicionada pelas vantagens desse tipo de material, nomeadamente:

- A disponibilidade do material de construção;
- As pequenas distâncias de transporte do material de construção;
- Disponibilidade de mão de obra e equipamentos necessários para a construção;

- O baixo custo do material, mão de obra e equipamentos necessários.
- A rapidez de execução.

4.4.4. Dimensionamento do sistema de esporões

O dimensionamento do sistema de esporões consistiu nas fases de localização em planta dos esporões, o dimensionamento do perfil longitudinal e transversal dos esporões.

4.4.4.1. Localização em planta dos esporões

Para a localização em planta dos esporões, recorreu-se a dois métodos gráficos acima mencionados (método I e método II).

a) Método I

Com recurso ao primeiro método, foram posicionados os esporões K, I e II, como mostra a figura a seguir. Nas condições da curva em referência, este método mostrou-se ser o mais econômico, pois o primeiro esporão localiza-se mais próximo da torre a ser protegida.



Figura 4.25- Localização dos esporões K, I e II (Imagem-Satélite do Google Earth)

b) Método II

Com o objectivo de garantir a protecção efectiva da torre, posicionou-se o esporão III, recorrendo-se para tal o segundo método gráfico. Assim sendo adotou-se um ângulo de desvio β de 14° .

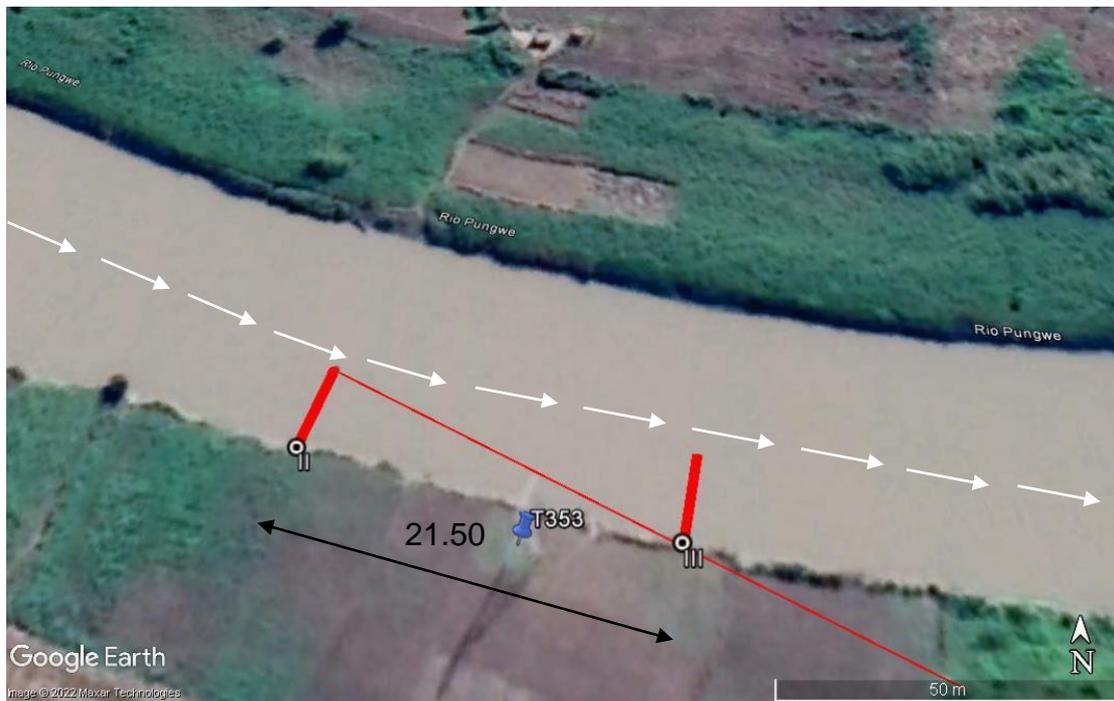


Figura 4.26- Localização dos esporões III (Imagem-Satélite do Google Earth)

O sistema de esporões

O sistema de esporões compreende um total de 4 esporões como ilustra a figura seguinte.

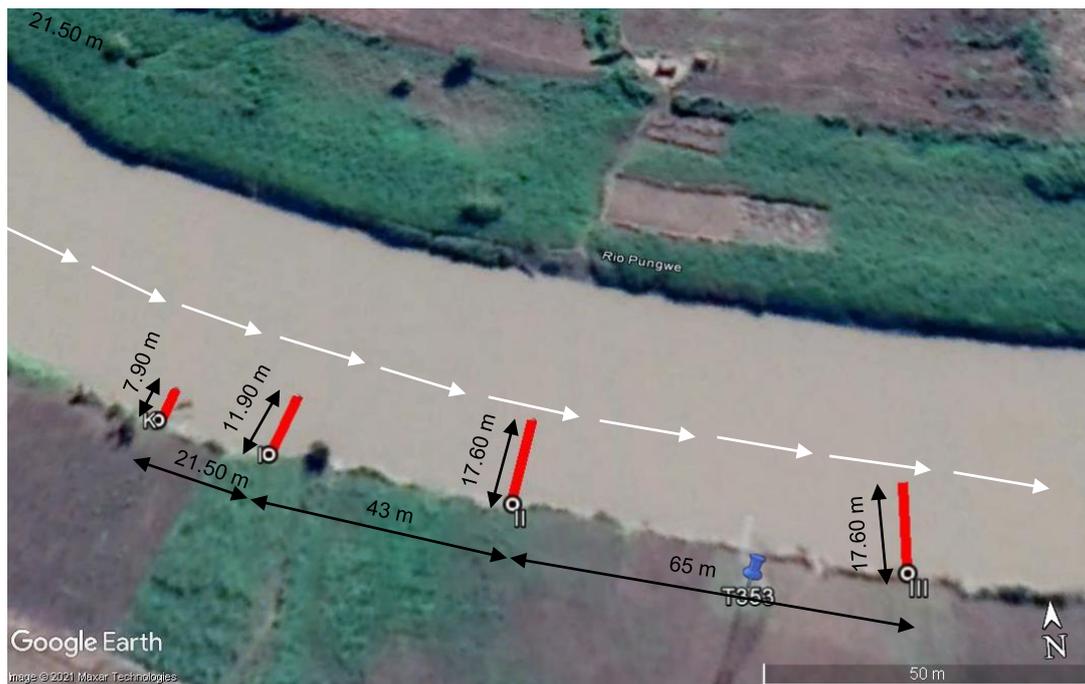


Figura 4.27- Localização em planta do sistema de esporões (Imagem-Satélite do Google Earth)

4.4.4.2. Secção transversal

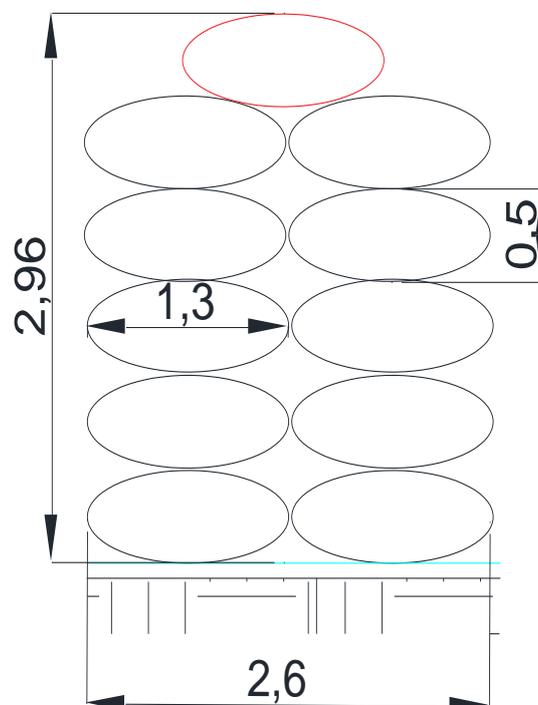


Figura 4.28- Secção transversal dos esporões

4.4.4.3. Secção longitudinal

A) Esporão K

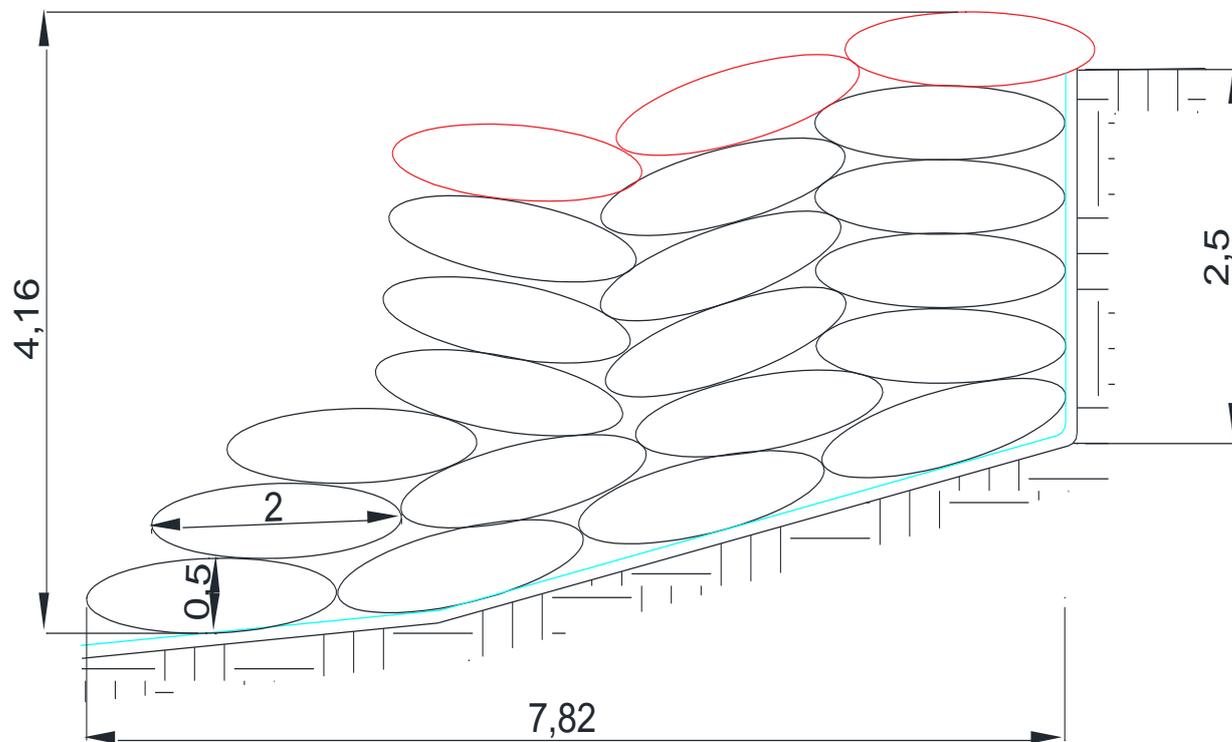


Figura 4.29- Secção Longitudinal do esporão K

b) Esporão I

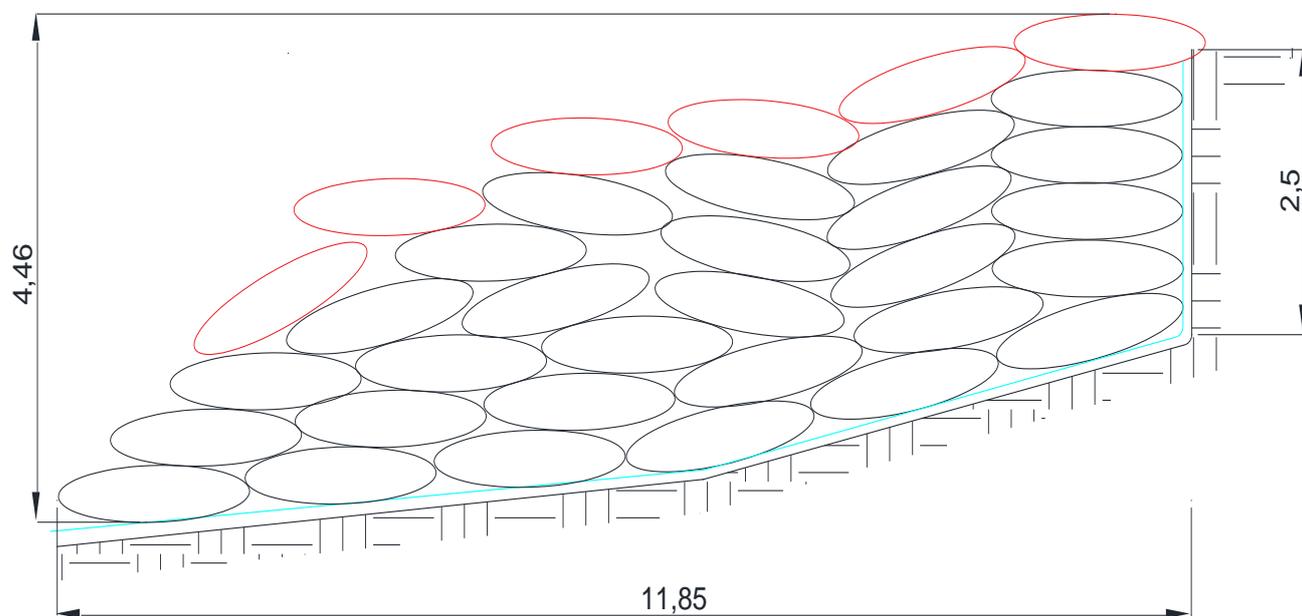


Figura 4.30- Secção Longitudinal do esporão I

c) Esporão II e III

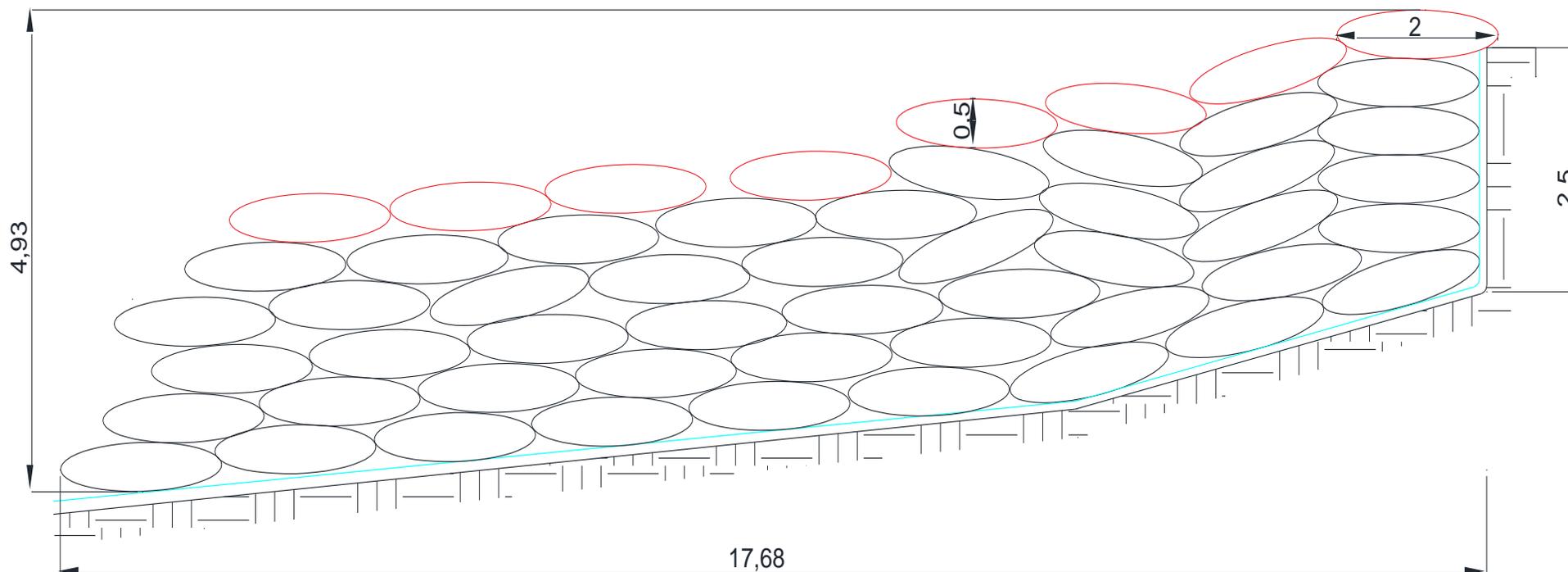


Figura 4.31- Secção Longitudinal do esporão II e III

4.4.5. Dimensionamento da protecção directa

4.4.5.1. Localização em planta da protecção directa

A protecção directa terá um comprimento total de 25m como mostra a figura a seguir.

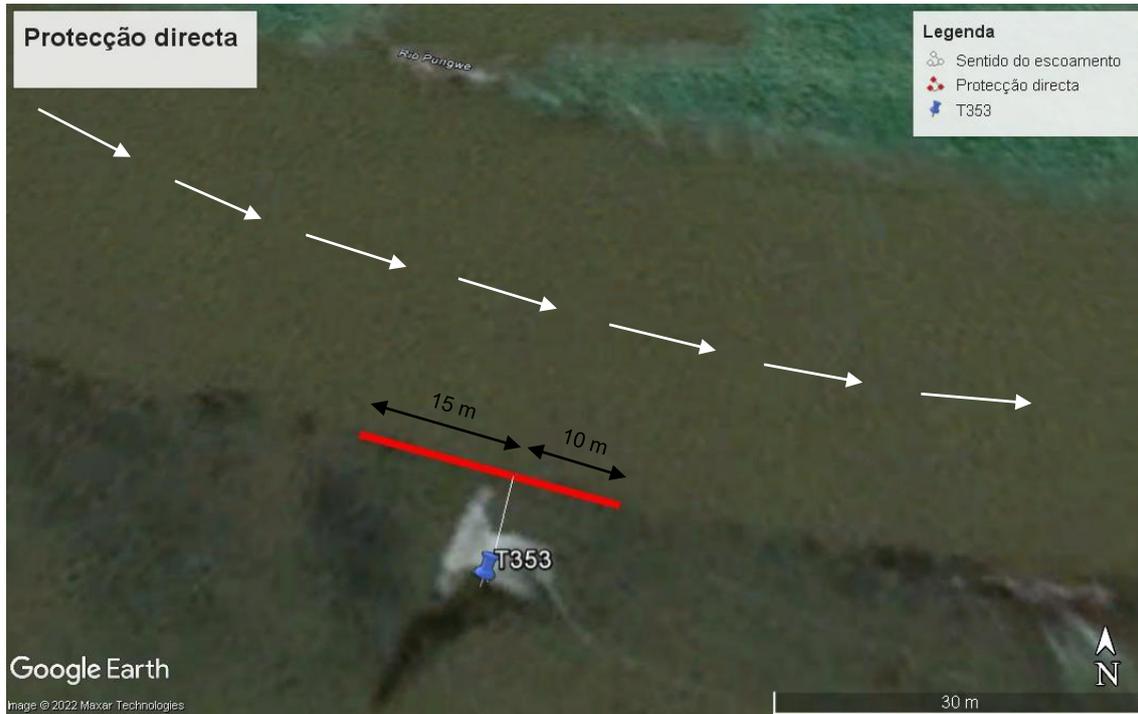


Figura 4.32- Localização da protecção directa (Imagem-Satélite do Google Earth)

4.4.5.2. Secção transversal

Para uso de enrocamento sintético, fez se um corte e aterro da margem vertical por tal forma que o ângulo do talude seja de 45° como mostra a figura a seguir.

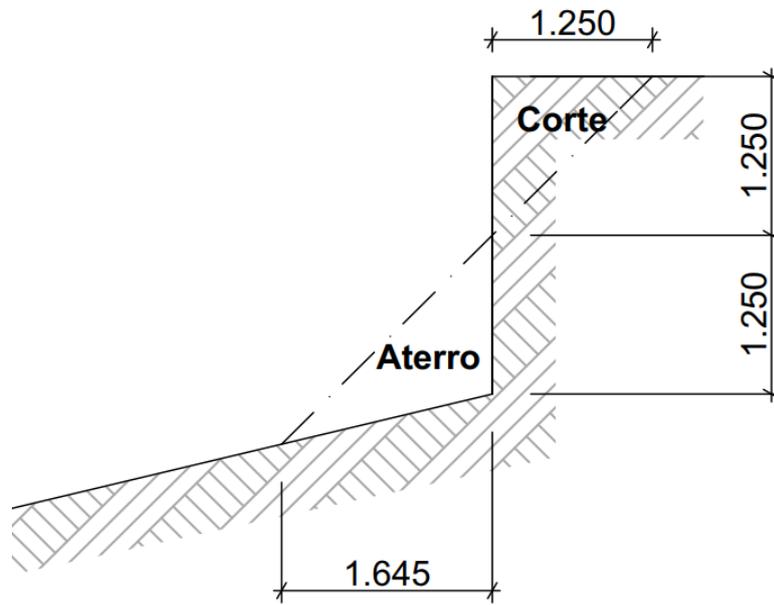


Figura 4.33- Corte e aterro para protecção directa

A secção transversal da protecção directa será materializada com Pedras arrumadas no talude, com espessura de 50 cm como mostra a figura a seguir.

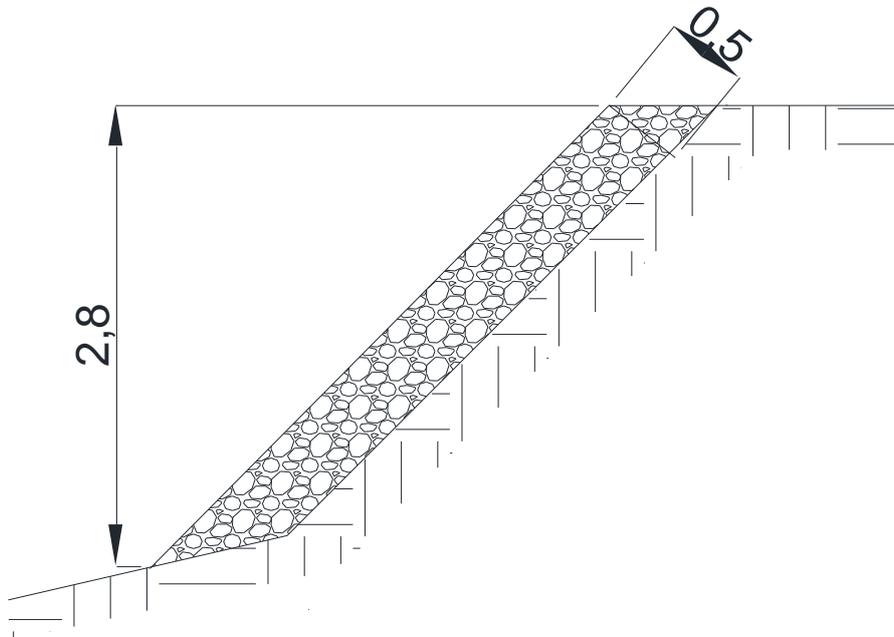


Figura 4.34- Secção transversal da protecção directa

4.4.6. Sistema de Protecção

O sistema de protecção (protecção directa e sistema de esporões) é mostrada na figura seguinte.



Figura 4.35- Localização do Sistema de protecção (Imagem-Satélite do Google Earth)

5. CONCLUSÕES

O propósito da realização do estágio profissional foi a aquisição de competências necessárias para tornar possível a realização de estudos para escolha da solução de protecção de infraestruturas contra erosão fluvial. Conclui-se que os objetivos estabelecidos foram atingidos, pois foi possível:

- Descrever os diferentes métodos de protecção de margens contra a erosão fluvial, indicando as condições para sua aplicação;
- Escolher a melhor solução de protecção da torre contra erosão fluvial considerando os critérios técnico, económico, etc;
- Fazer o dimensionamento da solução de protecção da torre contra erosão fluvial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MACCAFERRI 2012, **Obras de sistematização fluvial em correntes e rios com espigões**, São Paulo Disponível em <https://marcosporto.eng.br>;
2. BRIGHITTI, G & MARTINS, J.R.S. **Estabilização e protecção de margens** São Paulo: Escola Politécnica/Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2001.
3. PINTO, ANTÓNIO AUGUSTO SAMPAIO 2017 - **Estabilização de margens fluviais uma abordagem multifuncional**, Porto. Disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt>;
4. ALFREDINI, Paolo. **Obras e gestão de portos e costas** São Paulo: Editora Blucher, 2005.
5. ANTÃO, CRISTÓVÃO FILIPE NOBRE 2012, **Seleção em dimensionamento de estruturas de protecção de margens de rios. Aplicações práticas**, Porto;
<https://core.ac.uk/download/pdf/143398509.pdf>,
6. PEREIRA, ISABELA LABARRERE VIEIRA 2008 – **Estudo de revitalização de cursos de água- trecho experimental no rio das velhas**, Belo horizonte; <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-8E4LPA>,
7. MARINHO, BARBARA CARINA GONÇALVES 2013 – **Procedimento no estudo de obras de defesa costeira**, Aveiro;
8. MACCAFERRI 2016 – **Hydraulic works**, India;
9. BRIGHETTI e MARTINS 2001, **Técnicas convencionais de protecção e restauração de margens**;
10. DE SOUSA, FRANCISCO BERNARDO PAULO 2012 - **Estudo de soluções de enraizamento de esporões**, Porto;
11. BRAUN, MARCELL GUILHERME – **Técnica de bioengenharia de solos aplicada na remediação de áreas degradadas por erosão hídrica no arroio tamanduá em marques souza/RS**, Vale do taquari;
12. OLIVEIRA, FELIPE FERREIRA 2007 - **processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes**, Maranhão;
[file:///C:/Users/Mungoi/Downloads/699-4502-1-PB%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Mungoi/Downloads/699-4502-1-PB%20(2).pdf).

Protecção de torre de energia eléctrica contra erosão fluvial

Estágio Profissional