U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

AVALIAÇÃO DO ESTADO DE POTENCIAL EROSÃO DAS MARGENS DE UM CURSO DE ÁGUA. APLICAÇÃO A TROÇOS ESTUARINOS DE RIOS DO NORTE DE PORTUGAL.

HÉLDER EMANUEL SILVA MAGALHÃES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia

JUNHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Á minha Família

AGRADECIMENTOS

Antes de mais quero agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Rodrigo Maia o apoio prestado ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, as críticas e sugestões feitas e a confiança que depositou em mim.

À Engenheira Juliana Mendes, da FEUP, a ajuda prestada na recolha dos dados *in-situ,* as sugestões feitas para o estudo, a paciência e disponibilidade com que sempre me recebeu.

Ao André a valiosa ajuda prestada na recolha dos dados *in-situ.*

Ao Gustavo e à minha tia Célia, a revisão gramatical e ortográfica do trabalho, assim como as sugestões feitas.

Aos colegas da opção de Hidráulica, pelos bons momentos passados e pelo ambiente de companheirismo e amizade vivido ao longo deste ano lectivo.

A todos o meu muito obrigado.

RESUMO

A estabilidade das margens e o seu estado de erosão são bons indicadores acerca da estabilidade geral de um rio. A erosão das margens é um fenómeno natural que resulta da interacção do rio com os seus limites físicos. A instabilidade das margens em rios em desequilíbrio introduz grandes quantidades de materiais no escoamento, alterando o ecossistema ribeirinho, a qualidade da água e contribuindo para a perda dos terrenos marginais aos cursos de água.

O estudo realizado incide sobre dois troços estuarinos dos rios Âncora e Neiva, onde será feita através do método BANCS prever a taxa de erosão das margens, realizando-se a recolha de vários dados *in-situ*. A determinação da taxa de erosão das margens será acompanhada pela caracterização do tipo de rio segundo o sistema de classificação de rios naturais proposto por Rosgen.

A validação dos resultados será através de diversos métodos indirectos, visto que a validação utilizando dados de observação é impossível.

A proposta de medidas de estabilização e de protecção das margens terá por base os resultados obtidos para as taxas de erosão e para o estado de estabilidade das margens. A resistência das soluções propostas será feita avaliando as tensões que se desenvolvem nas margens para caudais superiores ao dominante e comparando esses valores com a resistência prevista das propostas.

Será ainda sugerida uma metodologia de trabalho, tendo por base os resultados obtidos, capaz de prever, avaliar e mitigar a erosão das margens.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão das margens, Leito dominante, Estabilidade das margens, Tensão resistente, Medidas de protecção.

ABSTRACT

The stability and potential risk of erosion of streambanks, are good indicators about on the general stability of a river. Streambank erosion it's a natural phenomenon that results of the interaction between the river and its boundaries. Streambank erosion in non-equilibrium rivers causes a massive influx of sediments in the flow that changes the whole river ecosystem, alters the river water quality and causes the loss of the near-bank terrain.

This study focus is on two reaches of the rivers Âncora e Neiva, aiming to predict and assess streambank erosion rates using the BANCS method, with the collection *in-situ* of the needed data. The prediction of the streambank erosion rates are preceded by the determination of the reach category using the classification of natural rivers suggested by Rosgen.

The results validation will be achieved by the employment of several indirect methods, since the direct validation it's not an option.

The different stabilization and protection solutions suggested to the streambanks, will be design using the results of the stream bank erosion rates and the evaluation of the general stability of the bank. The shear stress acting on the solutions for the dominant flow and for higher flows will be determined, followed by a comparison of these results with the expected resistance of the defence solutions proposed.

Finally, a general methodology it's proposed, based on the results obtained capable of predict, evaluate and mitigate the streambank erosion.

KEYWORDS: Streambank erosion, Bankfull level, Streambank stability, Shear stress, Streambank protection.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. ENQUADRAMENTO 1
1.2. OBJECTIVOS 1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO 2

2. ESTADO DA ARTE 3
2.1. ÂMBITO 3
2.4. CLASSES DE MÉTODOS 4
2.2.1. MÉTODOS EMPÍRICOS 4
2.2.2. MÉTODOS CONCEPTUAIS 5
2.2.3. MÉTODOS FÍSICOS 5
2.3. SELECÇÃO DO MÉTODO 6
2.4. MÉTODOS ANALISADOS 6
2.4.1. MÉTODO BANCS 7
2.4.2. MÉTODO SBEI 8
2.4.3. MÉTODO SEDNET 9
2.4.4. MÉTODO DE NANSON E HICKIN 10
2.5. JUSTIFICAÇÃO MÉTODO UTILIZADO 10

3. METODOLOGIAS ADOPTADAS NA DETERMINAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA TAXA DE EROSÃO DAS MARGENS DE UM RIO 13
3.1. DESCRIÇÃO DAS METODOLOGIAS 13
3.2. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RIOS NATURAIS 13
3.3. FUNDAMENTOS DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO 14
3.3.1. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL I 15
3.3.1.1. *Entrenchment* 16
3.3.1.2. Relação W/D 16
3.3.1.3. Sinuosidade 16

3.3.1.3. Inclinação 17
3.3.2. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL II 17
3.3.2.1. Tipo de Material do Leito 18
3.3.3. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL III 18
3.3.4. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL IV 19
3.4. MÉTODO BANCS 19
3.4.1. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE BEHI 19
3.4.2. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE NBS 22
3.5. CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE PFANKUCH 25
3.5.1. FUNDAMENTOS DA CLASSIFICAÇÃO DE PFANKUCH 25
3.5.1.1. Zona Superior da Margem 26
3.5.1.2. Zona Inferior da Margem 26
3.5.1.3. Leito do Canal 26

4. FACTORES RESPONSÁVEIS PELA ESTABILIDADE DAS MARGENS E MECANISMOS DE ROTURA DO MATERIAL DA MARGEM 27
4.1. ESTABILIDADE DAS MARGENS 27
4.1.1. CARACTERIZAÇÃO DOS FACTORES QUE AFECTAM A ESTABILIDADE DA MARGEM 27
4.1.1.1. Composição e Disposição do Material 28
4.1.1.2. Geometria 29
4.1.1.3. Revestimento Vegetal 30
4.1.2. MECANISMOS CAUSADORES DE INSTABILIDADE 31
4.1.2.1. Remoção de Material da Base 32
4.1.2.2. Alteração das Condições de Resistência do Material da Margem 32
4.1.3. MECANISMOS DE ROTURA DA MARGEM 33
4.1.3.1. Taludes com Altura Superior a 5m 33
4.1.3.2. Taludes de Altura Intermédia 34
4.1.3.3. Taludes de Baixa Altura 35

5. DESCRIÇÃO DOS RIOS 37
5.1. DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ÂNCORA 37
5.2. ZONA DE ESTUDO 38
5.3. TRECHOS DE ESTUDO 40
5.3.1. TRECHO 1 41

5.3.1.1. Composição e Disposição do Material 41
5.3.1.2. Geometria.....41
5.3.1.3. Vegetação 41
5.3.1.4. Mecanismos de Instabilidade 42
5.3.1.5. Mecanismos de Rotura.....43
5.3.1.6. Leito do Canal 43
5.3.2. TRECHO 2 44
5.3.2.1. Composição e Disposição do Material 44
5.3.2.2. Geometria.....44
5.3.2.3. Vegetação 44
5.3.2.4. Mecanismos de Instabilidade 45
5.3.2.5. Leito do Canal 46
5.3.3. TRECHO 3 46
5.3.3.1. Composição e Disposição do Material 46
5.3.3.2. Geometria.....46
5.3.3.3. Vegetação 47
5.3.3.4. Mecanismos de Instabilidade 47
5.3.3.5. Mecanismos de Rotura.....48
5.3.3.6. Leito do Canal 49
5.4.1. TRECHO 4 49
5.4.1.1. Composição e Disposição do Material 50
5.4.1.2. Geometria.....50
5.4.1.3. Vegetação 50
5.4.1.4. Mecanismos de Instabilidade 51
5.4.1.5. Mecanismos de Rotura.....52
5.4.1.6. Leito do Canal 52
5.5.1. TRECHO 5 52
5.5.1.1. Composição e Disposição do Material 52
5.5.1.2. Geometria.....53
5.5.1.3. Vegetação 54
5.5.1.4. Mecanismos de Instabilidade 54
5.5.1.5. Mecanismos de Rotura.....55
5.5.1.6. Leito do Canal 55

5.6. DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEIVA 55
5.7. ZONA DE ESTUDO 55
5.8. TRECHOD DE ESTUDO 57
5.8.1. TRECHO 1 60
5.8.1.1. Composição e Disposição do Material 60
5.8.1.2. Geometria 60
5.8.1.3. Vegetação 60
5.8.1.4. Mecanismos de Instabilidade 61
5.8.1.5. Mecanismos de Rotura 61
5.8.1.6. Leito do Canal 62
5.8.2. TRECHO 2 62
5.8.2.1. Composição e Disposição do Material 62
5.8.2.2. Geometria 62
5.8.2.3. Vegetação 63
5.8.2.4. Mecanismos de Instabilidade 64
5.8.2.5. Mecanismos de Rotura 64
5.8.2.6. Leito do Canal 65
5.8.3. TRECHO 3 65
5.8.3.1. Composição e Disposição do Material 65
5.8.3.2. Geometria 65
5.8.3.3. Vegetação 65
5.8.3.4. Mecanismos de Instabilidade 66
5.8.3.5. Mecanismos de Rotura 66
5.8.3.6. Geometria 66

6. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE RECOLHA DE DADOS 69
6.1. ÂMBITO 69
6.2. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RIOS NATURAIS DE ROSGEN 70
6.2.1. LARGURA DO LEITO DOMINANTE 70
6.2.1.1. Rio Âncora 71
6.2.1.2. Rio Neiva 71
6.2.2. ÁREA DA SECÇÃO DO LEITO DOMINANTE 72
6.2.3. LARGURA DA ÁREA SUJEITA A INUNDAÇÕES 73

6.2.4. SINUOSIDADE 74
6.2.5. INCLINAÇÃO MÉDIA DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA 75
6.2.6. RECOLHA DE AMOSTRAS DE MATERIAL DO LEITO DO CANAL 76
6.2.6.1. Dispositivo de Recolha de Amostras 77
6.2.6.2. Disposição Espacial dos Locais de Recolha de Amostras 78
6.2.6.3. Comprimento de Recolha das Amostras 79
6.2.6.4. Peso Total das Amostras 80
6.2.6.5. Processo Utilizado na Recolha das Amostras nos Rios Âncora e Neiva 82
6.3. MÉTODO BANCS 82
6.3.1. BEHI 82
6.3.1.1. Altura do Talude da Margem 83
6.3.1.2. Distância ao Leito Dominante 83
6.3.1.3. Profundidade de Penetração das Raízes 83
6.3.1.4. Densidade de Raízes e Protecção da Superfície do Talude 83
6.3.1.5. Ângulo do Talude 83
6.3.2. NBS 84
6.3.2.1. Determinação da Inclinação do Leito 85
6.3.2.2. Levantamento dos Perfis de Velocidade 86
6.4. CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE PFANKUCH 86
6.5. EQUIPAMENTO E MATERIAL UTILIZADO 86

7. TRATAMENTO DOS DADOS RECOLHIDOS E ANÁLISE DE RESULTADOS ..87
7.1. ÂMBITO 87
7.2. CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE RIO 87
7.3. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EROSÃO ATRAVÉS DO MÉTODO BANCS 89
7.3.1. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE RISCO DE BEHI 89
7.3.2. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE RISCO DE NBS 90
7.3.3. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EROSÃO 93
7.4. CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE PFANKUCH 94
7.5. TENSÕES DE ARRASTAMENTO 95
7.6. DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES DE ARRASTAMENTO NO LEITO UTILIZANDO OS PERFIS DE VELOCIDADE 98
7.6.1. DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES MÉDIAS ACTUANTES NAS MARGENS 98

7.6.2. DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES RESISTENTES DAS MARGENS 100
7.7. ANÁLISE DE RESULTADOS 102

8. SOLUÇÕES ADOPTADAS NA PROTECÇÃO E REFORÇO DAS MARGENS CONTRA A EROSÃO 105
8.1. OBJECTIVOS 105
8.2. ESTADO DE EROSÃO NA ZONA DO RIO ÂNCORA 106
8.3. ESTADO DE EROSÃO NA ZONA DO RIO NEIVA 106
8.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS 107
8.5. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA SOLUÇÃO ADOPTADA 107
8.6. SOLUÇÕES PROPOSTAS 108
8.6.1. RIO ÂNCORA 108
8.6.1.1. Proposta 1 108
8.6.1.2. Proposta 2 110
8.6.2. RIO NEIVA 111
8.7. RESISTÊNCIA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS 112
8.8. TENSÕES ACTUANTES PARA UM CAUDAL COM UM PERÍODO DE RETORNO DE 10 ANOS 113

9. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 115
9.1. CONCLUSÕES 115
9.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS 116
9.3. TRABALHOS FUTUROS 117

BIBLIOGRAFIA 119

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação da zona do talude da margem. 8

Figura 3.1 - Representação e localização das características da margem necessárias para o BEHI (adaptado de EPA). 20

Figura 3.2 - a) Ábaco para a determinação da taxa de erosão para um rio C4; b) Ábaco para a determinação da taxa de erosão para um rio D4. 24

Figura 4.1 - Mecanismo de instabilidade predominante em margens com material estratificado (adaptado de Thorne e Tovey (1981)). 32

Figura 4.2 - Mecanismo de rotura típico para margens com altura superior a 5 m e com taludes com ângulo inferior a 90º (adaptado de Thorne e Tovey (1981)). 34

Figura 4.3 - Mecanismo de rotura típico para margens com altura superior a 5 m e com taludes verticais; A - Abertura da 1ª fenda vertical; B - Início do escorregamento pela base; C - Rotura rotacional do material da margem; D - deposição do material junto ao pé do talude (adaptado de Thorne e Tovey (1981)). 34

Figura 4.4 - Mecanismo de rotura típico para margens de baixa altura e com material estratificado (adaptado de Thorne e Tovey (1981)). 35

Figura 5.1 - a) Zona esturarina do rio Ancora; b) Pormenor do troço estudado. 38

Figura 5.2 - Delimitação dos trechos de estudo na secção de rio analisada no rio Âncora. 40

Figura 5.3 - Rio Âncora: Composição e disposição do material do trecho 1. 41

Figura 5.4 -Rio Âncora margem esquerda do trecho 1, a) Pormenor da densidade de raízes nas camadas superiores, sendo evidente a diferença entre os ângulos do talude nas camadas com e sem raízes b) Acumulação de detritos junto à base do talude.. 42

Figura 5.5 - Rio Âncora: Vista de montante do canal do rio no trecho 1. 43

Figura 5.6 - Rio Âncora: Aspecto e deposição do material da margem do trecho 2 44

Figura 5.7 - Rio Âncora: Cobertura vegetal presente no talude da margem no trecho 2 45

Figura 5.8 - Erosão interna do material da margem do trecho 2 do rio Âncora, resultante do excesso de pressão neutra.. 45

Figura 5.9 - Rio Âncora: Composição e disposição do material da margem do trecho 3. 46

Figura 5.10 - Rio Âncora: Geometria do talude da margem do trecho 3. 47

Figura 5.11 - Rio Âncora: Revestimento vegetal da margem do trecho 3 48

Figura 5.12 - Mecanismos de instabilidade do material da margem do trecho 3 do rio Âncora, notando-se a deposição junto ao pé do talude. 48

Figura 5.13 - Mecanismos de rotura do material da margem, notando-se o agravamento na zona que contem ramos de árvores em contacto com o escoamento. 49

Figura 5.14 - Rio Âncora: Composição e disposição do material do trecho 4 50

Figura 5.15 - Rio Âncora: Geometria do talude da margem do trecho 4 50

Figura 5.16 - Rio Âncora: Cobertura vegetal no talude da margem do trecho 4 51

Figura 5.17 - Rio Âncora: Mecanismos de instabilidade do material da margem no trecho 4, notando-se a deposição de material junto ao pé do talude. 51

Figura 5.18 - Rio Âncora: Mecanismos de rotura do material da margem do trecho 4 52

Figura 5.19 - Rio Âncora: Composição e disposição do material da margem do trecho 5 53

Figura 5.20 - Rio Âncora: Geometria da margem do trecho 5 54

Figura 5.21 - Rio Âncora: Cobertura vegetal do talude da margem do trecho 5 54

Figura 5.22 - Rio Âncora: Mecanismos de rotura e deposição do material junto ao pé do talude, na margem do trecho 5 55

Figura 5.23 - Figura 5.23 - a) Zona esturarina do rio Neiva; b) Pormenor do troço estudado. (GoogleEarth) 57

Figura 5.24 - Identificação das zonas consideradas no rio Neiva. 59

Figura 5.25 - Rio Neiva: Geometria da margem esquerda do trecho 1 60

Figura 5.26 - Rio Neiva: Diferentes tipos de vegetação presentes na margem esquerda no trecho 1 61

Figura 5.27 - Rio Neiva: Mecanismo de instabilidade na margem esquerda do trecho 1 61

Figura 5.28 - Rio Neiva: Afloramento rochoso junto da margem esquerda do trecho 1 62

Figura 5.29 - Rio Neiva: Composição e disposição do material na margem esquerda do trecho 2 63

Figura 5.30 - Rio Neiva: Cobertura vegetal e geometria da margem esquerda do trecho 2 63

Figura 5.31 - Rio Neiva: Local onde a vegetação ripícola deixa de proteger o talude da margem esquerda do trecho 2 64

Figura 5.32 - Rio Neiva: Tipo de rotura presente na margem esquerda no trecho 2 64

Figura 5.33 - Rio Neiva: Disposição e composição do material da margem direita do trecho 3. 65

Figura 5.34 - Rio Neiva: Geometria da margem direita do trecho 3 66

Figura 5.35 - Rio Neiva: Consolas junto à base do talude presentes na margem direita do trecho 3.. 66

Figura 5.36 - Rio Neiva: Mecanismo de rotura do material da margem direita do trecho 3. 67

Figura 6.1 - Corte transversal de um troço de rio tipo, com identificação do W_{bkf} (adaptado de Rosgen 1994)) 71

Figura 6.2 - 1ª fase da medição do leito dominante 72

Figura 6.3 - Esquema representativo da medição por fases da largura do leito dominante. 72

Figura 6.4 - Rio Neiva: Levantamento dos pontos para o perfil transversal 73

Figura 6.5 - Rio Âncora: Determinação da largura da área sujeita a inundações através do Autocad..74

Figura 6.6 - Rio Âncora: Determinação da sinuosidade. 75

Figura 6.7 - Amostra não remexida de material do fundo, evidenciando a estratificação do material. 76

Figura 6.9 - Esquema do amostrador de McNeil (adaptado de McNeil e Ahnell (1964)). 77

Figura 6.10 - a) Recolha de amostras do leito do rio; b) Detalhe do material fino em suspensão dentro do corpo do amostrador 78

Figura 6.11 - Esquemas espaciais para a recolha de amostras (adaptado de Bunte e Abt (2001)).....79

Figura 6.12 - Esquema em *zig-zag* adoptado na recolha (adaptado de Bunte e Abt (2001)). 80

Figura 6.13 - a) Ábaco para a determinação do peso total da amostra utilizando equações empíricas, representados por números nas rectas; b) Ábaco para a determinação do peso total da amostra utilizando as normas internacionais. Em cada um dos casos, os números no canto superior direito indicam a percentagem de erro (adaptado de Bunte e Abt (2001)).....81

Figura 6.14 - Esquema auxiliar de medição dos ângulos da margem utilizado na recolha de dados (adaptado de Rosgen (2001a) e de EPA). 84

Figura 6.15 - Medição das velocidades do escoamento para a elaboração dos perfis verticais de velocidade 85

Figura 7.1 - Ábaco utilizado na determinação da taxa de erosão das margens.....93

Figura 7.2 - Recolha de amostras de material para a determinação das tensões resistentes.....101

Figura 7.3 - Rio Âncora, trecho 3, a) Aspecto da margem em Abril; b) Aspecto da margem no início de Junho 103

Figura 7.4 - Relação entre a classificação de Pfankuch e a taxa de erosão 104

Figura 8.1 - Aspecto final de um talude protegido com *Enkamat*. 109

Figura 8.2 - Esquema da proposta 1 para o trecho 1, do rio Âncora. 109

Figura 8.3 - Representação espacial da largura necessária para a implementação da proposta 1 no troço do rio Âncora. 110

Figura 8.4 - Aspecto final de um talude protegido com troncos de madeira com interposição de estacaria viva.....110

Figura 8.5 - Esquema da proposta 2 para o trecho 1, do rio Âncora 111

Figura 8.6 - Localização espacial das medidas de protecção sugeridas. 114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Taxa de regressão das margens com base na categoria de risco para o método SBEI. .. 9

Tabela 3.1 - Denominação e tamanho correspondente ao tipo de material do leito (adaptado de Rosgen (2001a)) 18

Tabela 3.2 - Tabela com os valores numéricos para a atribuição da categoria de risco do BEHI (adapatado Rosgen (2001a)) 21

Tabela 3.3 - Categorias de risco do BEHI (adaptado de MDEQ (2009)) 22

Tabela 3.4 - Tabela com os valores para a atribuição da categoria de risco de NBS (adaptado de Rosgen (2001a)) 23

Tabela 3.5 - Tabela com as classificações modificadas de Pfankuch para avaliação da estabilidade lateral (adaptado de Rosgen (2001b)) 25

Tabela 7.1 - Tabela resumo dos dados recolhidos e dos parâmetros determinados para o rio Âncora88

Tabela 7.2 - Tabela resumo dos dados recolhidos e dos parâmetros determinados para cada trecho o rio Neiva 89

Tabela 7.3 - Tabela resumo dos dados recolhidos e dos parâmetros determinados para cada trecho 90

Tabela 7.4 - Categoria de risco de NBS para os trechos do rio Âncora. 91

Tabela 7.5 - Categoria de risco de NBS para os trechos do rio Neiva. 91

Tabela 7.6 - Tabela resumo das relações entre as profundidades e respectivas categorias 92

Tabela 7.7 - Tabela com as categorias ponderadas de NBS 93

Tabela 7.8 - Taxa de erosão espectável para cada secção com base nas categorias de BEHI e de NBS 94

Tabela 7.9 - Somatório Pfankuch e avaliação da estabilidade lateral das margens 94

Tabela 7.10 - Determinação das tensões médias no leito e da tensão média actuante. 98

Tabela 7.11 - Tensões actuantes nas margens dos trechos analisados. 99

Tabela 7.12 - Tensões actuantes nas margens para o caudal dominante 99

Tabela 7.13 - Percentagens de argilas e siltes para os diversos trechos 101

Tabela 7.14 - Tensões críticas, tensões resistentes e tensões actuantes nas margens dos vários trechos 102

Tabela 8.1 - Tensões actuantes nas margens para o caudal com um período de retorno de 10 anos 113

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Classes de rios detalhadas na classificação de Nível I (adaptado de Rosgen (1994)) ...16

Quadro 3.2 - Classificação de Nível II (adaptado de Rosgen (1994)). 17

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

τ_{nb} - tensão média de arrastamento junto à zona do talude da margem [N/m^2]

τ_{bkf} - tensão média de arrastamento na zona do leito dominante [N/m^2]

D_{50} - diâmetro médio das partículas [mm]

A_{bkf} - área da secção transversal do leito dominante[m^2]

S - inclinação da superfície livre da água no canal [m/m]

W_{bkf} - largura do leito dominante [m]

W_{fpa} - largura do leito da área sujeita a inundações [m]

d_{max} - profundidade máxima do leito dominante [m]

d_{bkf} - profundidade média do leito dominante [m]

W/D - relação entre a largura do leito dominante e a profundidade média do leito dominante [adimensional]

Z_{Wfpa} - cota do nível da área sujeita a inundações

γ - peso volúmico da água [N/m^3]

R- raio hidráulico [m]

d_{nb} - profundidade junto ao pé do talude da margem em relação ao leito dominante [m]

S_{nb} - inclinação do leito do rio junto ao talude [m/m]

$P_{bkf\ nb}$.- profundidade medida desde o pé do talude até ao limite do leito dominante [m]

τ - tensões médias de arrastamento no leito [N/m^2]

τ_{margem} - tensão actuante nas margens [N/m^2]

τ_{res} - tensão resistente do material da margem [N/m^2]

$u(z')$ - velocidade medida à profundidade z' [m/s]

u*- velocidade de fricção [m/s]

K - constante para regimes turbulentos [adimensional]

z' - profundidade da altura de água medida a partir do leito [m]

ks - rugosidade uniforme do fundo [mm]

τ_0 - tensão de arrastamento junto no leito [N/m^2]

ρ - massa volúmica da água [kg/m^3]

A_m - área da secção molhada [m^2]

P - perímetro molhado [m]

A - área da secção [m^2]

n - rugosidade do material [adimensional]

U - velocidade do escoamento [m/s]

τ_m - tensão da arrastamento média actuante do leito [N/m^2]

τ_c - tensões críticas de arastamento do material da margem [N/m^2]

ρ_s - massa volúmica do material do leito [kg/m^3]

g - aceleração da gravidade [m/s^2]

τ_{res} - tensão resistente do material da margem [N/m^2]

$\tau_{m2,33}$ - tensão média actuante no leito para o caudal dominante [N/m^2]

$\tau_{margem2.33}$ - tensão actuante nas margens para o caudal dominante [N/m^2]

$d_{média}$ - profundidade média do escoamento [m]

τ_{10} - tensões médias de arrastamento no leito para o caudal com um período de retorno de 10 anos [N/m^2]

$\tau_{margem10}$ - tensão actuante nas margens para o caudal com um período de retorno de 10 anos [N/m^2]

τ_{m10} - tensão média actuante no leito para o caudal com um período de retorno de 10 anos [N/m^2]

U_{nb} - velocidade junto à margem [m/s]

$U_{máx}$ - velocidade máxima [m/s]

$U_{média}$ - velocidade média dos perfis de velocidade [m/s]

$U_{ponderada}$ - velocidade média ponderada dos perfis de velocidade [m/s]

BANCS - *Bank Assessment for Non-Point Source Consequences of Sediment*

BEHI - *Bank Erosion Hazard Index*

DGRN - Direcção Geral dos Recursos Naturais

EPA -*Environment Protection Agency*

MDEQ - *Montana Department of Environmental Quality*

MDT - *Montana Department of Transportation*

NBS - *Near Bank Shear Stress*

NRCS - *Natural Resources Conservation Services*

PVC - Policloreto de Vinilo

SBEI - *Stream Bank Erosion Inventory*

SedNet - *Sediment River Network*

SIG- Sistema de Informação Geográfica

USDA - *United States Department of Agriculture*

USGS - *United States Geological Survey*

1
INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A erosão das margens de um rio é um fenómeno natural, resultante do processo de adaptação do rio ao vale em que se situa ou às condições do escoamento. Esta adaptação pode fazer parte do ciclo natural do rio ou pode resultar da intervenção Humana. Nos dois casos o estado de equilíbrio inicial do rio é perturbado, tendo este a necessidade de encontrar um novo estado de equilíbrio. Durante este processo de ajuste, as margens, devido à função delimitadora do canal que têm, são particularmente afectadas.

O grau de importância que as margens têm neste processo está dependente da sua capacidade de resistir às acções impostas pelo rio durante o processo estabelecimento de um novo estado de equilíbrio.

A capacidade de resistência das margens às acções do escoamento pode ser aumentada, através de diversas técnicas. Estas técnicas melhoram o comportamento da margem, permitindo-lhe assim, resistir melhor às acções impostas pelo escoamento.

1.2. OBJECTIVOS

Os objectivos do estudo consistem na aplicação de um método capaz de determinar a taxa de erosão das margens e, tendo por base esse método, a elaboração de uma metodologia de trabalho que seja reproduzível nos rios do Norte de Portugal.

A determinação da taxa de erosão previsível será feita em dois troços dos rios Âncora e Neiva com recurso ao método BANCS (*Bank Assessment for Non-Point Source Consequences of Sediment*). A aplicação deste método será acompanhada da recolha e medição de vários parâmetros *in-situ*. A metodologia de trabalho elaborada terá por base o método BANCS, procedendo-se à posterior análise dos resultados e experiência obtidos durante o processo de determinação das taxas de erosão, de modo a avaliar a aplicabilidade ou não da metodologia aos rios do Norte de Portugal.

Os objectivos do estudo, para além da determinação da taxa de erosão das margens, passam também pela elaboração de soluções de protecção e reforço das margens contra a erosão. O comportamento das soluções será também avaliado, através da comparação da capacidade resistente das mesmas, com as tensões actuantes nas margens para diversos caudais

1.3. ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO

A informação está organizada em 9 Capítulos e complementada por diversos Anexos.

O Capítulo 2, Estado da Arte, aborda a pesquisa bibliográfica que conduziu à escolha do método utilizado para a previsão da taxa de erosão, fazendo-se a descrição de vários métodos com o mesmo fim e a avaliação das potencialidades e pontos fracos de cada um. Com base nesta informação será justificada a escolha pelo método utilizado.

No Capítulo 3, Metodologias Adoptadas na Determinação e Caracterização da Taxa de Erosão das Margens de um Rio, será feita a descrição de todas as metodologias e elementos teóricos utilizados no estudo, será também explicado o contexto em que serão utilizados e a maneira como cada metodologia se relaciona entre si para atingir os objectivos propostos.

O Capítulo 4, Factores Responsáveis pela Estabilidade das Margens e Mecanismos de Rotura do Material da Margem, aborda os factores que influenciam a estabilidade do material da margem, fazendo-se referência aos fenómenos mais comuns de instabilidade das margens e modos típicos de rotura do material.

No Capítulo 5, Rios e Troços em Estudo, é feita uma breve descrição dos rios Âncora e Neiva ao nível das características da bacia hidrográfica, do escoamento e de alguns indicadores socioeconómicos. É também realizada uma descrição, esta já mais completa, acerca dos troços de rio estudados, incidindo a descrição sobre as características das margens e do canal.

O Capítulo 6, Descrição dos Métodos e Procedimentos de Recolha de Dados, faz uma descrição dos diversos métodos de recolha dos dados *in-situ* necessários para a aplicação das diversas metodologias descritas no Capítulo 3. A descrição dos métodos de recolha incluirá os procedimentos e material utilizado.

No Capítulo 7, Tratamento dos Dados Recolhidos e Análise de Resultados, explica-se o procedimento de cálculo dos parâmetros utilizados por cada metodologia, faz-se ainda uma análise e validação dos resultados.

No Capítulo 8, Soluções Adoptadas na Protecção e Reforço das Margens Contra a Erosão, será feita a exposição de alguns fundamentos teóricos que levaram à elaboração das diversas soluções de protecção das margens, será igualmente feita a descrição dos materiais, da composição e disposição das soluções nos troços de rio.

O Capítulo 9, Considerações Finais e Conclusões, serão realizadas algumas considerações a adoptar em trabalhos futuros, fazendo-se também as Conclusões acerca do trabalho realizado.

2
ESTADO DA ARTE

2.1. ÂMBITO

O processo de erosão das margens de um rio depende de vários factores naturais. Esses factores são de difícil quantificação e variam com as características do rio, em grande parte devido à natureza dinâmica do sistema ribeirinho, e à heterogeneidade temporal e espacial dos fenómenos naturais responsáveis pelo processo de erosão. A compreensão ainda parcial de alguns destes fenómenos e a falta de dados de observação tornam a previsão da taxa de erosão de um troço de rio um parâmetro de difícil quantificação.

Existem vários métodos para a determinação da erosão das margens de um rio. Contudo, em termos de complexidade estes métodos diferem ao nível dos dados que é necessário introduzir, dos processos que representam e da maneira como os processos são representados, da escala dos fenómenos de erosão retratados e da forma como os dados são introduzidos, Merrit *et al* (2003).

Os métodos podem ter sido concebidos unicamente para analisar a erosão das margens, métodos que analisam apenas secções de rios, ou podem analisar o transporte de sedimentos no escoamento e a erosão ao nível da bacia hidrográfica do rio. Embora os modelos para as bacias hidrográficas trabalhem numa escala maior, a taxa de erosão das margens é bem caracterizada por estes métodos. Estima-se que a erosão das margens seja a principal fonte de sedimentos num rio, embora a percentagem varie de rio para rio. Estudos realizados no rio Ouse, Reino Unido, Lawler *et al* (1999) e no rio Gelbaek, Dinamarca, Jha *et al* (2005), sugerem que 37% e 92% do caudal sólido transportado num rio tem origem na erosão das margens.

Os métodos podem ainda ser categorizados em específicos ou genéricos e podem ser computacionais ou não. Os métodos específicos foram criados apenas para analisar uma determinada categoria de tipo de rio, de climas ou de solos, conseguindo de uma maneira geral, caracterizar e prever de forma satisfatória a taxa de erosão dos rios para onde foram concebidos; no entanto quando aplicados a um tipo de rio em condições diferentes das utilizadas na sua formulação inicial podem fornecer estimativas erradas acerca da erosão.

Os métodos genéricos utilizam parâmetros ou características geomorfológicas e hidráulicas comuns a qualquer rio, podendo ser aplicados a vários tipos de rios. Porém, existe sempre o risco de se aplicar o método a um rio pela primeira vez, havendo assim a necessidade de realizar uma validação das previsões. A aplicação destes métodos a determinados rios está muitas vezes dependente da qualidade dessas validações. Um método é tão mais fiável quanto melhor tenha sido validado.

A validade real das previsões efectuadas pelos métodos serve para medir a precisão dos mesmos e para validar a necessidade de realizar correcções. As validações são, assim feitas recorrendo à recolha de dados de observação.

Todos os métodos estão sujeitos a erros resultantes da inconsistência de escalas entre parâmetros medidos e/ou determinados no rio, à forma como esses dados são trabalhados e modelados. A avaliação da amplitude dos erros e das suas implicações nos resultados deve ser, objecto do processo de validação da calibração. E podendo, pois ser um ponto fundamental na validação destes métodos e na sua utilização enquanto ferramentas de previsão da taxa de erosão das margens.

Os métodos são calibrados com recurso a medições *in-situ* do estado de erosão das margens. Estas medições podem ser feitas com base em estacas de metal inseridas nas margens, onde posteriormente e ao longo de um determinado período de tempo é feita a monitorização e medição da regressão das margens. Obtidos os registos da regressão das margens e das condições em que esses registos foram feitos, o método pode então ser calibrado e/ou ajustado para melhor prever futuras taxas de erosão. As previsões de um método são tanto melhores quanto mais longo for o período de monitorização.

2.2. CLASSES DE MÉTODOS

Os métodos de previsão da erosão das margens podem classificar-se em 3 grandes classes, métodos empíricos, métodos conceptuais e métodos físicos, Merrit *et al* (2003). Todos os métodos possuem vantagens e desvantagens em relação aos demais que devem ser tidos em atenção. A escolha de um método para a previsão da taxa de erosão das margens de um determinado rio deve ser feita com base nas capacidades, no histórico de previsões e validações do método.

Por vezes é preferível utilizar um método mais simples onde a quantidade de variáveis a utilizar e relações entre as variáveis seja menor do que um método mais complexo onde sejam analisadas um grande número de variáveis com muitas relações entre elas, pois o grau de incerteza aumenta consideravelmente com o número de variáveis envolvidas. Existem ainda outros factores influenciam a escolha do método, nomeadamente:

- Distribuição e variação temporal e espacial dos dados introduzidos, e dos resultados;
- As componentes de utilização, reflectindo as capacidades do método;
- Os objectivos dos resultados, a facilidade de uso e o grau de conhecimentos técnicos do utilizador.

A distinção entre as classes, de métodos aqui apresentados, é um exercício meramente indicativo, pois existem métodos que utilizam funcionalidades ou conceitos das várias classes. Na realidade, para descrever com rigor o processo de erosão, um método deve conter contribuições das várias classes.

2.2.1. MÉTODOS EMPÍRICOS

Os métodos empíricos são geralmente os mais simples. Este tipo de método baseia-se principalmente na análise de dados de observações e procuram caracterizar o comportamento actual e futuro do rio com base nesses dados. Uma das principais características dos métodos empíricos é o elevado nível de variação espacial e temporal das observações e a incorporação de um número reduzido de variáveis envolvidas.

Estes métodos recorrem frequentemente à análise estatística dos dados de modo a encontrar correlações entre os parâmetros envolvidos, correlações que posteriormente são utilizadas para validação de resultados ou aperfeiçoamento do método.

Embora esta seja a classe mais simples, os métodos empíricos são muitas vezes usados em detrimento de métodos mais complexos, uma vez que são métodos versáteis que podem ser implementados e ajustados a situações novas, onde exista uma deficiente recolha de dados locais, ou haja uma insuficiente caracterização dos parâmetros a introduzir que impeça a utilização dos outros tipos de métodos.

A validade destes métodos pode sempre ser inferida através do grau de aproximação das relações entre os parâmetros envolvidos ou por comparação com casos semelhantes.

2.2.2. MÉTODOS CONCEPTUAIS

Os métodos conceptuais usualmente incorporam os mecanismos de geração dos sedimentos na sua estrutura. Estes mecanismos não se limitam apenas à erosão de margens, mas a todos os mecanismos de erosão presentes na bacia hidrográfica em questão. Isto permite aos métodos conceptuais fornecer informações sobre os diferentes mecanismos de erosão presentes na bacia tanto ao nível qualitativo como quantitativo.

Na realidade estes métodos foram elaborados para avaliar o transporte e a quantidade de sedimentos num rio. No entanto, como a erosão das margens é um fenómeno que introduz uma quantidade significativa de sedimentos no rio, Jha *et al* (2005), estes dão especial relevo a este fenómeno erosivo.

Devido ao papel destacado como fonte de sedimentos para o ambiente ribeirinho, a erosão das margens passa, sem estar limitada, a ser estudada num contexto mais alargado e numa escala maior. É assim possível relacionar a erosão das margens com as características da bacia hidrográfica, o que permite obter relações entre os parâmetros de melhor qualidade, no entanto e como já foi dito, isto pode conduzir a um maior número de erros.

2.2.3. MÉTODOS FÍSICOS

Os métodos físicos são métodos baseados em equações físicas que descrevem a geração de sedimentos num determinado troço de rio com base no caudal transportado pelo rio, nas características hidráulicas do rio, no tipo de material das margens ou no histórico de erosão das margens. As equações base vulgarmente utilizadas são a da conservação da massa, para o caudal, e a da conservação quantidade do movimento para os sedimentos, Merrit *et al* (2003).

Em teoria, todos os parâmetros utilizados nestes métodos são conhecidos e calculáveis; no entanto, na prática isto está longe de ser verdade. Isto deve-se essencialmente ao grande número de parâmetros envolvidos e à heterogeneidade das características, especialmente as do rio, o que significa que alguns destes parâmetros necessitam de ser obtidos com base em observações *in-situ*.

Deverá realizar-se que, os erros introduzidos durante a medição de características importantes e as diferenças entre as escalas do método e do protótipo criam incertezas adicionais nos resultados do método.

De facto, a aplicação de fórmulas nos métodos físicos está sujeita a inúmeras suposições que podem não ser consideráveis numa situação real. Ainda que muitas destas fórmulas representam fenómenos que foram recriados em pequena escala e em condições controladas em laboratório, e que quando aplicadas a situações reais representam de forma distorcida (ou mesmo errada) os fenómenos físicos.

2.3. SELECÇÃO DO MÉTODO

Como já foi mencionado todos os métodos têm vantagens e desvantagens, e a escolha do método apropriado deve ter em conta vários factores também eles já mencionados.

As preferências por um certo tipo de método podem ser fundamentadas em dois pressupostos; um baseado no processo a analisar, o outro baseado nos resultados.

Certos autores consideram que os métodos mais simples, empíricos e conceptuais, quando aplicados nas condições em que foram formulados são mais assertivos do que métodos com estruturas mais complicadas.

Há que ter em conta que métodos que analisam um grande numero de parâmetros geram geralmente melhores previsões durante a calibração do que métodos mais simples; no entanto, na fase de verificação esta tendência não é tão evidente, Merrit *et al* (2003).

Métodos mais simples tendem a ser mais robustos, e por isso fornecem previsões mais estáveis do que métodos mais complexos. Métodos que consideram um grande número de processos, e por isso também de parâmetros, correm o risco de terem um grande grau de incerteza associado às previsões que fornecem. Estas incertezas podem reduzir o benefício de se usar um método que considera condições mais realistas para os processos e relações entre os parâmetros.

De qualquer modo a escolha de um método de previsão da erosão deve ser um decisão ponderada, e que deve-se ter em conta se possível o histórico das previsões do método, as características do rio a estudar e os objectivos da previsão.

2.4. MÉTODOS ANALISADOS

Para escolher o método que iria ser utilizado nos estudos de erosão das margens dos rios Âncora e Neiva, foram previamente analisados vários métodos de determinação da erosão. A escolha pelo método que melhor caracterizava a erosão das margens nesses rios teve que relacionar as características dos problemas de erosão com os dados requeridos pelo método e pelos resultados que este fornecia. Foi também analisado o histórico de utilizações dos métodos, o número e tipo de validações, o grau de certeza das previsões, os locais onde são normalmente utilizados, as considerações e conceitos utilizados na sua elaboração, o tipo de rios que pretendem caracterizar, as falhas e críticas apontadas, o grau de dificuldade na sua aplicação, a quantidade de parâmetros necessários e a correspondente forma de recolha desses parâmetros *in-situ*, o tipo de processos erosivos analisados, a forma como os resultados finais são fornecidos e a adequabilidade dos métodos aos rios em estudo.

Todos os métodos analisados foram desenvolvidos fora da Europa, mais concretamente na América do Norte e da Austrália. Este facto acrescenta ainda mais incertezas ao processo de escolha, pois um método válido numas dessas regiões não é necessariamente válido na Europa e em particular em Portugal. Aliás, a pesquisa realizada não encontrou nenhum método proveniente da Europa capaz de prever a erosão das margens que se adequasse aos objectivos do estudo, todos os trabalhos e estudos analisados realizados na Europa sobre o assunto foram feitos através da monitorização de estacas colocadas nas margens, Laubel *et al* (1999), Lawler *et al* (1999), o que revela que ainda existe muito trabalho a desenvolver nesta área para criar métodos práticos que analisem a erosão das margens em rios Europeus, que tenham em conta as características climáticas e geológicas próprias do continente.

Os métodos analisados foram: o BANCS (*Bank Assessment for Non-Point Source Consequences of Sediment*), Rosgen (2001a); o SBEI (*Stream Bank Erosion Inventory*), NRCS (1983); o SedNet (*Sediment River Network*), Prosser *et al* (2001); e, o método elaborado por Nanson e Hickin, (1986).

Deste modo todas as classes de métodos foram abordadas, os métodos BANCS e SBEI correspondem a métodos empíricos; o SedNet é um método conceptual computacional que incorpora na análise alguns parâmetros empíricos; e, o método de Nanson e Hickin é um método físico também, com incorporação de alguns parâmetros empíricos.

2.4.1. MÉTODO BANCS

O Método BANCS utiliza para a estimativa da taxa de erosão duas componentes, o *ranking Bank Erosion Hazard Index*, (BEHI) e o *Near Bank Shear Stress* (NBS). Este método cria categorias de risco, no caso do BEHI, atribuindo valores numéricos, de 0 a 10, às características da secção do rio, do revestimento e do tipo de margens, no caso do NBS as categorias de risco são determinadas através das tensões de arrastamento e no gradiente de velocidades na zona perto da margem. As categorias de risco são depois utilizadas para extrapolar a taxa de erosão a partir de um método pré-definido.

As características analisadas pelo BEHI são:

- Altura do talude da margem;
- Distância ao leito dominante;
- Profundidade de penetração das raízes;
- Densidade de raízes;
- Ângulo do talude;
- Protecção da superfície.

Os valores destas características são obtidos através da secção transversal do rio e da análise *in-situ* das margens. A dificuldade na aplicação do *ranking* BEHI a uma secção de um rio prende-se com a dificuldade de identificação do leito dominante, uma vez que este é normalmente determinada com recurso à observação de variações do tipo de vegetação, da inclinação da margem ou da constatação da existência ou não de patamar de cheias, e cuja determinação que pode involuntariamente ser influenciada pelo utilizador que recolhe os dados.

Estas características, por sua vez são utilizadas para determinar os parâmetros que são avaliados e quantificados na atribuição da categoria de risco do BEHI, e que são:

- Relação altura da margem altura do leito dominante;
- Relação densidade de raízes altura da margem;
- Densidade de raízes (%);
- Ângulo do talude;
- Protecção da superfície (%).

O somatório dos valores numéricos de todos os parâmetros permite atribuir a categoria de risco BEHI ao trecho analisado. Este somatório pode ainda sofrer alterações mediante o tipo de material que constitui as margens e o grau de estratificação da margem.

A atribuição das categorias de NBS é feita através de duas metodologias, da relação entre as tensões médias e do valor do gradiente de velocidades. A relação entre as tensões requer a determinação da tensão média de arrastamento junto à zona do talude da margem (τ_{nb}) e da tensão média de

arrastamento na zona do leito dominante (τ_{bkf}). A zona do talude da margem é a zona que fica mais próxima do talude, quando a secção do leito dominante é dividida em 3 partes iguais, figura 2.1.

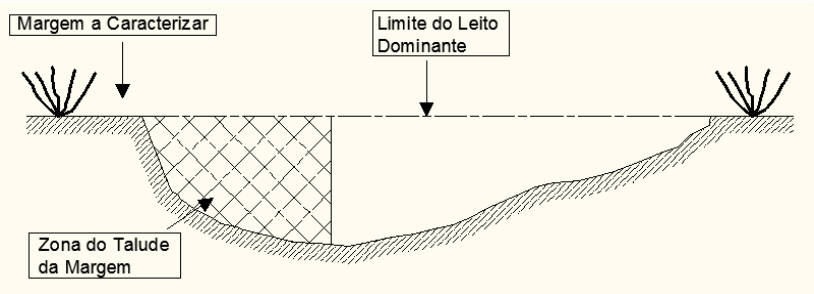


Figura 2.1 - Representação da zona do talude da margem.

A determinação do gradiente de velocidades requer a medição de vários perfis verticais de velocidade, com medições a varia profundidades e ao longo de toda a largura da superfície de água na secção a caracterizar. O gradiente de velocidades é determinado fazendo a diferença entre a velocidade registada junto à margem e a máxima velocidade registada, a dividir pela distância entre esses dois pontos.

Sabendo as categorias do BEHI e do NBS, a taxa de erosão é calculada a partir de um de dois ábacos tipo. A taxa de erosão será determinada através do ábaco que melhor se adapta às características do rio.

O método BANCS foi utilizado em inúmeros estudos de erosão de margens na América do Norte, possui um largo historial de utilizações e foi aplicado em várias regiões climáticas. Este historial permite que este método tenha uma extensa lista de validações e verificações, o que constitui uma das suas principais vantagens. A simplicidade do método e os poucos parâmetros que obriga a determinar, são uma vantagem.

2.4.2. MÉTODO SBEI

O método SBEI é baseado nos fundamentos enunciados pelo *Natural Resources Conservation Services*, NRCS (1983), e permite estimar a taxa de erosão das margens e a estabilidade do leito. A taxa de erosão é determinada através da recolha de dados de observação das características das margens, e da atribuição de um valor numérico de 0 a 3 a cada característica observada, a saber:

- Estabilidade da margem;
- Condição da margem;
- Existência e tipo e vegetação;
- Forma das margens e do leito;
- Material do leito;
- Deposição de materiais no fundo.

Com base no somatório dos valores atribuídos às 6 características avaliadas é possível determinar 4 categorias: a categoria de *Slight* (Ligeira) com um valor acumulado entre 0 e 4, a categoria *Moderado* (Moderada) com um valor acumulado entre 5 e 8, a categoria *Severe* (Severa) com um valor acumulado entre 9 e 12 e a categoria *Very Severe* (Muito Severa) com um valor acumulado superior a 13.

Sabendo qual a categoria de risco da secção analisada, a taxa de regressão previsível para a margem é determinada pela consulta da tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Taxa de regressão das margens com base na categoria de risco para o método SBEI.

Categoria	Centímetros por ano
Ligeira	de 0,3 a 1,5
Moderada	de 1,8 a 4,6
Severa	de 4,9 a 9,1
Muito Severa	mais de 15

Este é um método bastante simples e que considera poucos parâmetros, sendo que no entanto as suas previsões são consideradas pouco precisas, NCRS (2006). Este método é adequado apenas para abordagens mais gerais, ou então para uma primeira análise a nível de estudo prévio.

Embora os resultados fornecidos por este método sejam pouco precisos a consistência das suas previsões pode servir para enquadrar os resultados de outros métodos, servindo de avaliação complementar do desempenho de outros métodos.

2.4.3. MÉTODO SEDNET

O método SedNet é um método computacional de previsão da erosão das margens desenvolvido na Austrália e que permite analisar a geração de sedimentos provenientes da erosão superficial, do leito do rio e da erosão das margens, Prosser *et al* (2001). O SedNet analisa os processos de geração de sedimentos ao nível da bacia hidrográfica, decompondo o rio em secções. Para a previsão da erosão ao nível da bacia hidrográfica em estudo, este método requer o levantamento topográfico de toda a área da bacia recorrendo a um sistema de georeferenciação SIG.

Como o SedNet utiliza a georeferenciação é necessário fornecer um método de elevação digital com as cotas do terreno, os dados da precipitação, das características da secção do rio, do tipo de vegetação das margens, da granulometria do material do leito assim como a variação diária dos caudais.

O método fornece informações acerca da previsão erosão superficial, do leito do rio e das margens.

O SedNet é um método que utiliza relações simples entre os parâmetros. No entanto o método no seu conjunto é complexo devido ao grande número de secções de rio que têm que ser analisadas e à quantidade de dados que tem de ser agrupados para determinar o estado de erosão. A determinação do estado de erosão da bacia é feito sobrepondo os resultados obtidos para cada secção.

Como os valores dos parâmetros a introduzir são baseados em pressupostos teóricos e de determinação empírica, a incerteza relacionada com o grau de variação dos parâmetros limita a confiança nos resultados fornecidos pelo método. Contudo este método analisa a maioria dos processos erosivos presentes num rio, o que permite relacionar os processos entre si, o que constitui uma mais-valia. Outra mais-valia é a representação espacial dos locais susceptíveis de erosão, permitindo visualizar e localizar estes fenómenos na bacia hidrográfica e relacioná-los com as características geológicas e actividades económicas do local.

2.4.4. MÉTODO DE NANSON E HICKIN

Este método baseia-se na correlação entre equações que derivam da observação do comportamento da erosão das margens e do tratamento dos dados recolhidos. As equações pretendem prever e caracterizar o comportamento da erosão das margens, trabalhando essencialmente no interface do talude da margem e da água. A utilização destas equações fora de um meio laboratorial é complicado, pois a caracterização das interacções entre o meio sólido e o meio líquido numa situação real requer um rigor extremo, que não pode ser atingido num interface tão dinâmico e activo como este, especialmente fora do laboratório.

O método descreve a erosão das margens recorrendo às equações da quantidade de movimento do escoamento e da conservação da energia, considerando que a força exercida pelo escoamento contra o talude da margem varia com o raio de curvatura do rio e é a responsável pela erosão das margens.

A erosão é um fenómeno secundário que resulta da dissipação da energia do escoamento na margem. Nanson e Hickin (1983), demonstraram através de observações realizadas em rios Canadianos, que a taxa de erosão lateral será máxima quando a relação entre o raio de curvatura do rio e a largura do canal se situar entre 2 e 3, sugeriram também que a relação entre a taxa de migração lateral e o raio de curvatura pode ser influenciado pela sinuosidade do rio.

Nanson e Hickin (1986), relacionaram o tipo de material do leito do rio com a taxa de erosão lateral, sendo que um rio que apresente margens com material granular de pequenas dimensões e sem coesão terá taxas de erosão lateral superiores a um que apresente um leito composto por seixos.

Este método fornece estimativas muito conservativas acerca da taxa de erosão das margens, tendo sido pouco aplicado a estudos de erosão das margens, devido à dificuldade de determinação dos parâmetros *in-situ*.

2.5. JUSTIFICAÇÃO MÉTODO UTILIZADO

Depois de feita a descrição dos métodos analisados que permitem a determinação da taxa de erosão das margens, surge a necessidade de justificar a escolha do método que melhor se adequava aos objectivos do estudo e às características dos rios.

Os dados disponíveis não incluem o registo da regressão das margens, existem apenas fotografias aéreas das zonas muito espaçadas no tempo. Isto condiciona logo à partida a validação dos resultados obtidos pela aplicação do método. Assim é conveniente que o método escolhido tivesse um largo histórico de aplicações, mas ao mesmo tempo que tivesse sido formulado e aplicado em rios semelhantes aos estudados. Pois assim poder-se-ia mais facilmente detectar valores anómalos, corrigir os resultados de forma mais orientada tendo por base os resultados obtidos nessas situações, e verificar se os resultados obtidos estavam ou não dentro da gama de valores aceitáveis para uma situação semelhante.

O método SBEI é muito simples e que utiliza poucos parâmetros, isto embora dote o método de uma fácil aplicação também conduz a resultados e previsões que quantificam por defeito a erosão das margens, o historial e as condições de aplicação deste método não são muito abundantes, o que tornaria a comparação dos resultados uma tarefa difícil de concretizar.

O SedNet caracteriza de forma satisfatória a erosão das margens, porém, foi desenvolvido para modelar o transporte de sedimentos em suspensão e no leito, além ser um método desenvolvido especialmente para rios Australianos, cujas característica geológicas e climáticas são muito diferentes das dos rios em estudo. A pouca aplicação deste método a rios não Australianos e a falta de dados de

validação nessas condições, a necessidade da introdução das cotas do terreno em modelo digital e o facto de analisar os processos erosivos ao nível da bacia foram aspectos que levaram à não utilização deste método.

O método de Nanson e Hickin fornece estimativas muito conservativas da erosão, NCRS (2006), além de ter sido desenvolvido com base em pressupostos teóricos e requerer a medição de parâmetros de muito difícil quantificação numa situação real.

O método BANCS embora não seja o método perfeito, é o que reúne melhores condições de aplicação aos rios do estudo, pois além de já ter sido aplicado a vários rios na América do Norte, utiliza parâmetros empíricos na sua formulação, foi validado em diversas situações e a sua aplicação é relativamente fácil e as previsões que fornece aproximam-se muito das efectivamente verificadas através da monitorização realizada por estacas.

Este método considera ainda características que contribuem para a estabilidade das margens tais como, a profundidade de penetração das raízes, a cobertura vegetal, a geometria e o material do talude. A inclusão destas características no método permite a integração dos principais processos que contribuem para a estabilidade da margem, sem um aumento da complexidade do método. A decomposição do método em duas componentes, o BEHI e o NBS, permite análise separada das características das margens, BEHI, e dos fenómenos que se desenvolvem no canal, NBS.

Apesar de se ter escolhido o método BANCS, isto não significa que os outros métodos não pudessem também fornecer boas determinações acerca da taxa de erosão das margens, o ideal seria aplicar todos os métodos às secções e verificar qual era o que fornecia os resultados mais correctos, com base no historial de cada método e nas condições de aplicação de cada um. Esta metodologia obrigaria a um período de tempo mais alargado para a realização do estudo do que aquele disponível.

3

METODOLOGIAS ADOPTADAS NA DETERMINAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA TAXA DE EROSÃO DAS MARGENS DE UM RIO

3.1. DESCRIÇÃO DAS METODOLOGIAS

Definido o método a adoptar na determinação da taxa de erosão das margens dos rios Âncora e Neiva, surge agora a necessidade de elaborar e descrever a metodologia a implementar de modo a serem atingidos os objectivos do trabalho.

O método BANCS utiliza na sua génese pressupostos elaborados por Rosgen em trabalhos anteriores, nomeadamente o sistema de classificação de rios naturais, Rosgen (1994). A determinação da categoria de rio tem de ser efectuada para cada zona dos rios Âncora e Neiva analisada, e deve ser elaborada antes de se proceder à determinação da taxa de erosão.

Uma outra metodologia adoptada no estudo será a classificação modificada de Pfankuch. Esta classificação permite avaliar a estabilidade lateral do canal atribuindo um valor numérico a 15 características da margem. O somatório desses 15 valores numéricos é depois comparado num quadro padrão que contem as classificações de referência para o tipo de rio, permitindo aferir a condição de estabilidade da margem.

Esta ferramenta embora não seja necessária para determinar a taxa de erosão das margens segundo o método BANCS, é extremamente útil, pois servirá para estabelecer uma relação entre o estado de estabilidade das margens de uma zona e da respectiva taxa de erosão, tendo em comum o tipo de rio segundo a classificação de canais naturais.

3.2. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RIOS NATURAIS

A definição e percepção dos aspectos modeladores de um rio desde a sua nascente até à foz sempre constituíram um grande desafio a todos os que dedicam ao estudo dos rios. O carácter dinâmico do rio, a grande variedade de factores de que depende o escoamento e a variação das condições topográficas, geológicas e climáticas ao longo do seu percurso, influenciam e modelam cada rio de forma diferente. Existem no entanto características que são comuns a vários rios, a criação de classes de rios que possuem as que possuem as mesmas características constitui a base de qualquer sistema de classificação de rios naturais.

É presunçoso da parte de todos aqueles cuja área de trabalho envolve os rios, pensar que com a criação de um sistema de classificação, os processos que regem o comportamento de um rio ficam perfeitamente clarificados. Na realidade o estado actual de um rio é o resultado de vários estados anteriores, e só a compreensão de todos esses estados permite a compreensão do comportamento actual, Rosgen (1994).

A criação de um sistema de classificação de rios é fundamental para caracterizar o comportamento de um rio e de o relacionar com outros que partilhem a mesma classificação. Pois, permite a extrapolação de resultados obtidos num determinado rio para outros com a mesma classificação e onde não existam registos, para além de auxiliar a escolha e aplicação de medidas e técnicas a implementar na restauração e recuperação de rios, Savery *et al* (2001).

A implementação de um sistema de classificação dos rios permite também, prever o seu comportamento através de determinados parâmetros e características geomorfológicas, desenvolver relações hidráulicas para uma determinada classe de rios além de fornecer um quadro de referência reprodutível e consistente para todos aqueles que trabalham com os sistemas ribeirinhos, Rosgen (1994).

Existem outros sistemas de classificações de rios, um dos mais utilizados a par com a classificação de Rosgen é a classificação de Montgomery e Buffington (1993, 1997), neste trabalho apenas se irá utilizar a classificação elaborada por Rosgen (1994). A escolha deste sistema de classificação deve-se essencialmente a um questão de consistência na terminologia utilizada, dado que o sistema de classificação de Rosgen é utilizado em várias metodologias usadas neste trabalho, algumas das quais assentes exclusivamente nesse sistema de classificação. Na realidade, embora o sistema de Montgomery e Buffington crie uma classificação equivalente à de Rosgen, a conversão de um sistema para o outro não é fácil e pode conduzir a inconsistências. Assim justifica-se utilizar a classificação de sistemas naturais de Rosgen (1994) e não outra.

3.3. FUNDAMENTOS DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE ROSGEN

O sistema de classificação de rios naturais proposto por Rosgen (1994) é baseado nas características morfológicas do rio. Os sistemas existentes anteriormente a este eram muito incompletos, muito específicos ou muito superficiais, não possuindo relações entre eles e tendo terminologias próprias pelo que tornavam a extrapolação de resultados entre rios extremamente difícil.

Rosgen (1994), percebendo as dificuldades levantadas pela existência de tantos sistemas de classificação, criou um sistema que "une" todos esses sistemas anteriores e tornando a classificação de um rio um processo mais universal. Este sistema pode ser aplicado a qualquer tipo de rio e permite fazer a classificação do mesmo em várias aproximações, ou seja, está dividida em vários níveis de detalhe.

A classificação de Rosgen foi inicialmente desenvolvida nos anos 80, tendo evoluindo e sendo aperfeiçoada com base em medições e observações em vários rios de várias regiões climáticas da América do Norte, sendo a versão final proposta por Rosgen nos anos 90, Rosgen (1994), uma classificação mais evoluída e mais madura do que a versão apresentada nos anos 80.

As características morfológicas e geomorfológicas de um rio regem o seu comportamento e determinam a sua forma, pelo que a alteração de alguma destas características leva o rio a procurar um novo estado de equilíbrio, o que por sua vez conduz a alterações no seu comportamento e forma, como tal um rio é um sistema natural constantemente em busca do auto-equilíbrio.

Rosgen usa 5 critérios para classificar os rios nas diferentes classes; o grau de encaixe ou *entrenchment*, a relação largura/profundidade, a sinuosidade, a inclinação da superfície da água e os materiais do leito (representados através do D_{50}).

A escolha destes critérios deve-se ao facto de estes serem mensuráveis num rio normal e de reflectirem a interacção das oito variáveis que Leopold *et al* (1964), considera regerem a morfologia de um rio, a saber: profundidade, largura, velocidade, caudal, inclinação, rugosidade do material do leito, a carga de sedimentos transportada e o tipo de material sedimentar.

O sistema de classificação de rios naturais, está dividido em 4 níveis hierárquicos, Rosgen (1994, 2001b, 2001c): no Nível I é feita uma caracterização geomorfológica geral com base na forma do canal, o Nível II utiliza as categorias do Nível I, e com base na granulometria do material do leito cria 42 novos subcategorias. O Nível III caracteriza a situação corrente do rio de modo a determinar a resposta deste quando sujeito a perturbações, por fim o Nível IV, inclui medição directa e detalhada de dados no rio de modo a validar os comportamentos descritos no Nível III.

Esta classificação torna-se também necessária para determinar a erosão das margens através do método BANCS, pois existem dois ábacos para a determinação da erosão e a utilização de um ou outro depende do tipo de classificação do rio em estudo. Outro objectivo desta classificação visa permitir um melhor ajuste das medidas de protecção das margens, pois se a classificação dos rios tiver sido efectuada não só a análise de alternativas torna-se mais fácil, como permite a comparação com outras soluções já realizadas torna-se mais fácil.

Neste trabalho e atendendo às limitações de tempo, apenas serão realizadas classificações de Nível I e II. Entretanto para o enquadramento e completa percepção dos pressupostos tratados no sistema de classificação elaborado por Rosgen, fazer-se-á a descrição de todos os níveis da classificação.

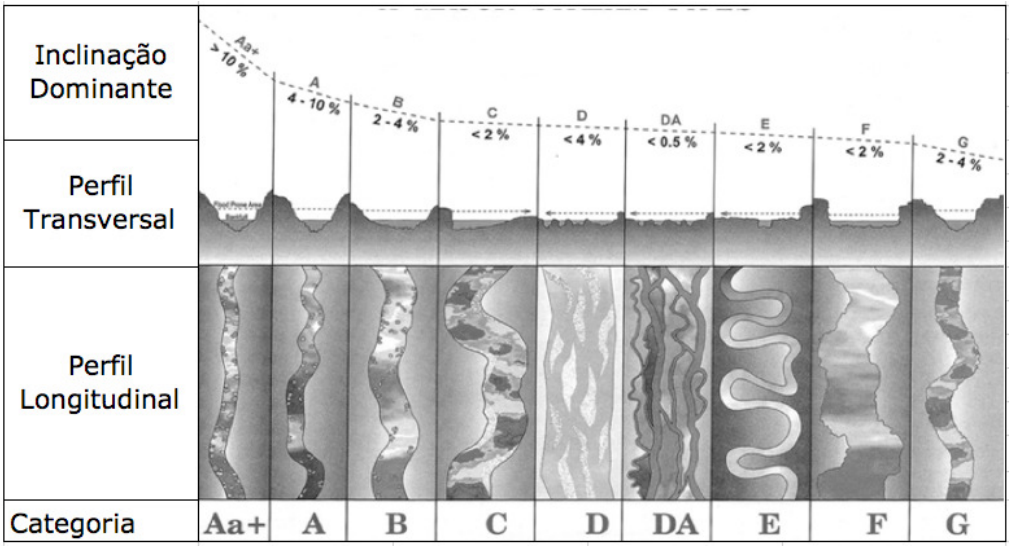
3.3.1. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL I

O Nível I destina-se a realizar uma caracterização geral do rio que integre os aspectos do relevo e da morfologia do vale e das condições fluviais do rio, com a configuração do canal, com o traçado em planta, com a forma e com a dimensão do canal do rio. Este nível de classificação tem a vantagem de permitir uma rápida identificação da classe a que pertence o rio numa determinada área de intervenção.

Este nível de detalhe considera 9 classes principais de rios, Aa+, B, C, D, DA, E, F e G, quadro 3.1, e requer o levantamento do perfil transversal e longitudinal da zona a classificar, da determinação da área dessa secção transversal, (A_{bkf}), da inclinação da superfície livre da água no canal, (S), da largura do leito dominante, (W_{bkf}), da sinuosidade e do *entrenchment*. No Anexo A é apresentado um quadro que auxilia a descrição de cada tipo de classe de rio.

O perfil transversal da zona e a largura do leito dominante são determinados *in-situ*, enquanto que a inclinação da superfície da água é determinada através do perfil longitudinal, a sinuosidade é determinada através de fotografias aéreas da zona, sendo o *entrenchment* calculado utilizando outros elementos.

Quadro 3.1 - Classes de rios detalhadas na classificação de Nível I (adaptado de Rosgen (1994)).



3.3.1.1. *Entrenchment*

O *entrenchmen*t ou grau de encaixe do rio no vale pode ser entendido como a relação entre as características do rio e as características do vale onde está inserido, ou como a contenção vertical do rio e o grau para o qual este incide no vale, Kellerhals *et al* (1972). Este afecta a profundidade do canal de escoamento, a velocidade e o transporte de sedimentos no canal, e pode ser calculado dividindo largura do leito da área sujeita a inundações, (W_{fpa}) - que é medida a uma altura duas vezes a profundidade máxima do leito dominante, (d_{max}) - pela largura do leito dominante, (W_{bkf}).

A largura do leito dominante é a largura do leito do rio que é ocupada pelo escoamento de um caudal com um período de retorno de 1,5 a 2 anos. Este caudal é designado caudal dominante ou modelador, por ser considerado, quer pela sua intensidade quer pela sua frequência de ocorrência, o caudal que mais contribui para a definição das características geomorfológicas de um rio. A largura do leito dominante, pode ser avaliada com recurso a inspecções visuais às margens, procurando indícios associados a essa caracterização, tais como a variação brusca da inclinação dos taludes das margens, mudanças do tipo de vegetação que reveste as margens ou a identificação do topo da planície de cheias. Observações realizadas por Rosgen mostram que a largura do leito sujeita a inundações pode ser entendida como sendo o nível atingido pela cheia com um período de retorno de 50 anos.

3.3.1.2. Relação W/D

A relação largura/profundidade está relacionada com, a profundidade, velocidade e rugosidade do material do leito, e é determinada dividindo a largura do leito dominante, (W_{bkf}), pela profundidade média do leito dominante, (d_{bkf}), que por sua vez é calculada dividindo a área da secção transversal correspondente, (A_{bkf} determinada através do perfil transversal), pela largura do leito dominante.

3.3.1.3. Sinuosidade

A sinuosidade é a relação entre o comprimento do rio e o comprimento do vale onde o rio está inserido, cujos valores podem ser retirados de fotografias aéreas. Pode também ser descrita como a relação entre a inclinação do vale e a inclinação do leito do rio. Neste trabalho a sinuosidade será determinada através da referida relação entre comprimentos.

A sinuosidade está directamente relacionada com o ajustamento do canal à inclinação do leito ao longo do tempo para dissipar a energia e transportar os caudais líquido e sólido.

Os valores da sinuosidade são afectados pela existência de estradas na secção do rio a analisar, pelo confinamento do canal por estruturas não naturais e por certos tipos de vegetação. De uma maneira geral, à medida que a inclinação e o tamanho das partículas transportadas pelo rio diminuem, a sinuosidade aumenta.

3.3.1.4. Inclinação

A inclinação utilizada para realizar a classificação de Rosgen é a inclinação da superfície da água, (S). Esta inclinação pode ser retirada por aproximação através do perfil longitudinal, ou medindo a inclinação do nível da superfície livre da água. Este parâmetro sempre que possível, deve ser avaliado com base em medições da diferença do nível da superfície livre ao longo de pelo uma extensão de 20 vezes a largura do rio. A velocidade, o transporte de sedimentos, a profundidade e largura são afectados pela inclinação.

3.3.2. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL II

A classificação de Nível II utiliza as classes obtidas para o Nível I, relaciona-as com as dimensões do material do leito, D_{50}, permitindo considerar 42 novas subclasses de rios, quadro 3.2.

Estas subclasses têm a denominação correspondente à classe acrescentada de um número traduzindo o tipo de material do leito: 1 para leito rochoso; 2 para calhaus; 3 para seixos; 4 para gravilha; 5 para areia e 6 para argilas e siltes, Rosgen (1994), tabela 3.1.

Quadro 3.2 - Classificação de Nível II (adaptado de Rosgen (1994)).

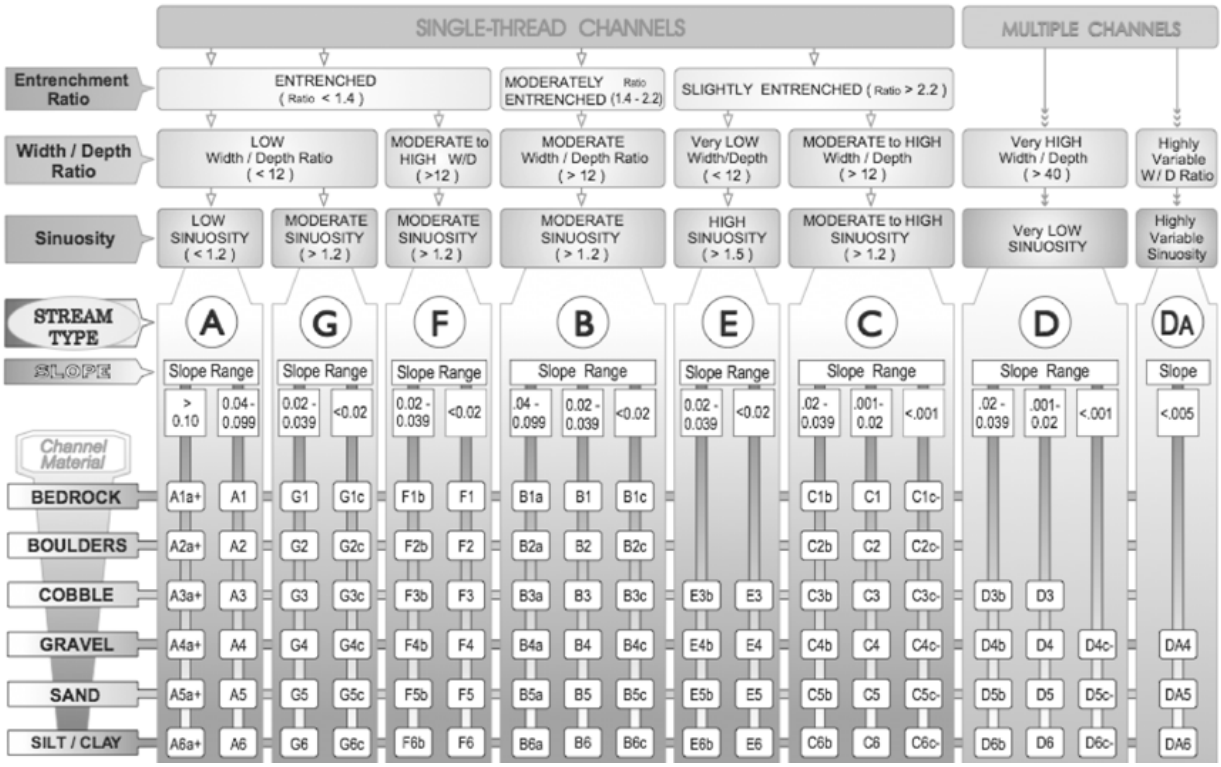


Tabela 3.1 - Denominação e tamanho correspondente ao tipo de material do leito (adaptado de Rosgen (2001a)).

Designação	Tamanho (mm)
Rocha (1)	-
Calhaus (2)	256- 512 mm
Seixos (3)	64- 256 mm
Gravilha (4)	2- 64 mm
Areia (5)	0,063-2 mm
Argilas/Siltes (6)	<0,063 mm

O tipo de material que compõe as margens e o leito do rio é essencial não só para a definição do traçado do rio em planta e em perfil, mas também para o transporte de sedimentos. A introdução desta informação num sistema de classificação de rios aumenta o nível de precisão na previsão do comportamento do rio.

Este nível de precisão, é ainda útil para avaliar a susceptibilidade de um determinado troço de rio em relação à erosão, à sua capacidade de reacção quando sujeito a alterações autogénicas, ao potencial de recuperação e à resposta do rio quando sujeito a alterações de caudais.

3.3.2.1. Tipo de Material do Leito

A caracterização do tipo de material do leito é feita através da determinação do D_{50} da amostra através da realização da curva granulométrica do material recolhido.

O D_{50} de uma curva granulométrica significa que 50% do material da amostra tem dimensão igual ou inferior à representada pelo D_{50}, sendo geralmente entendido como a dimensão média do material da amostra.

O método de recolha do material está descrito em detalhe no subcapítulo 6.2.5. O tipo de material do leito é um reflexo da rugosidade do material, factor que afecta a velocidade e a dimensão das partículas transportadas.

3.3.3. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL III

A classificação de Nível III também designada determinação do estado ou condição do rio, traduz uma previsão da estabilidade e da potencial resposta a alterações no canal do rio

A avaliação do estado do rio é feita com base em inspecções ao local, onde são avaliados 7 categorias de variáveis: a vegetação que cobre as margens - avaliação ao nível da composição; densidade e potencial; padrões de sedimentação; presença de destroços; padrões de meandrização; tamanho do rio ou ordem; regime de caudais; e alterações verificadas devido a perturbações, Rosgen (1994, 2001b, 2001c).

A análise destas variáveis permite realizar um diagnóstico do estado do rio e fazer previsões sobre a sua evolução, tais como a determinação da taxa de erosão, estabilidade das margens, estabilidade do leito sedimentação ou erosão ou ajustamentos do traçado em perfil ou em planta.

3.3.4. CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL IV

Neste Nível é feita a validação das previsões feitas no Nível III. Estas validações são realizadas através da instalação de varas metálicas nas margens e registando a regressão. Este registo permite validar a taxa de erosão, fazendo monitorização do leito do rio para a validação da sedimentação ou erosão, ou realizando comparações com fotografias aéreas e perfis longitudinais para a avaliação dos ajustamentos em planta e em perfil.

As previsões elaboradas pelo Nível III não necessitam de ser sempre validadas, pois os resultados fornecidos naquele Nível têm um elevado grau de fiabilidade, no entanto situações de elevado interesse natural ou em situações novas a realização de uma caracterização de Nível IV é frequentemente requerida.

3.4. MÉTODO BANCS

No subcapítulo 2.4.1 fez-se uma descrição muito sumária do método BANCS, com vista ao enquadramento deste no processo de escolha do método mais apropriado para o estudo dos rios Âncora e Neiva. Neste Subcapítulo proceder-se-á a uma descrição mais profunda do funcionamento do método, das suas componentes e dos meios de recolha de dados.

O método BANCS foi desenvolvido por Rosgen (2001a), e surgiu do trabalho que este desenvolveu ao longo de vários anos em dois rios independentes, situados em regiões climáticas e geológicas distintas, o rio Lamar no estado do Montana, e o rio Front Range no estado do Colorado, ambos nos Estados Unidos da América.

Estes rios apresentam características bastantes distintas. O rio Lamar, tem uma classificação de D4 no sistema de classificação de rios naturais de Rosgen, fica situado no parque natural de Yellowstone, sendo um rio de montanha, glaciar, com canais múltiplos, possui uma elevada relação W/D, um valor de sinuosidade muito baixo, tem uma inclinação da superfície da água inferior a 4%, sendo o leito composto por gravilha. O rio Front Range é um rio típico da planície do médio Oeste Americano, tem uma classificação de C4 no sistema de classificação de rios naturais, possuindo um valor de *entrenchment* baixo, uma relação W/D elevada e uma sinuosidade moderada a elevada, a inclinação da superfície livre da água é inferior a 2%, sendo o leito composto por gravilha.

Nestes rios foi medida a regressão anual das margens em várias secções, através da colocação de estacas de metal nas margens, posteriormente foi relacionada a regressão das margens com as categorias de BEHI e de NBS para cada secção. Analisando, estes dados Rosgen criou dois ábacos, um para cada rio, onde é possível relacionar a categoria de BEHI com a categoria de NBS de modo a determinar a taxa de erosão anual previsível para uma determinada secção.

3.4.1. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE BEHI

O BEHI é um índice empírico que permite, através da observação das características da margem da zona a estudar, criar categorias de risco.

A determinação da categoria de risco de BEHI começa com a recolha de vários dados in-situ sobre as características das margens do rio. Os dados recolhidos são, a altura do talude da margem, a distância ao leito dominante, a profundidade de penetração das raízes, a densidade de raízes, a protecção da superfície do talude e o ângulo do talude, Rosgen (2001a). A figura 3.1 representa um esquema onde são representados as diversas características a recolher in-situ.

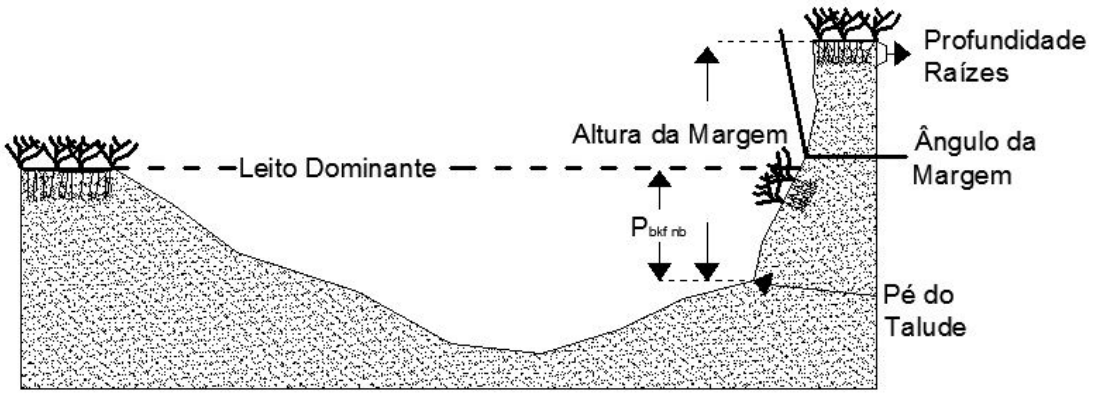


Figura 3.1 - Representação e localização das características da margem necessárias para o BEHI (adaptado de EPA).

A altura da margem é a altura que vai desde o pé do talude da margem até ao topo, sendo o pé do talude a zona onde termina a margem e começa o leito do rio. Esta transição é caracterizada por uma mudança súbita na inclinação na superfície que delimita o canal do rio.

A distância do leito ao talude, é a distância desde o pé do talude até ao leito dominante, caso o extremo do leito dominante coincida com o topo da margem a altura da margem, e a distância ao leito dominante coincidem. Tal como já foi mencionado a identificação do leito dominante é um processo onde existem níveis elevados de incerteza, no entanto este parâmetro é fundamental quer para a determinação da categoria do rio quer para a determinação da categoria de risco de BEHI.

A profundidade de penetração das raízes é medida desde o topo do talude até onde as raízes das plantas penetram no talude.

A densidade de raízes é a percentagem de raízes e de plantas que cobre e protege o talude da margem. Esta percentagem variará com o ângulo do talude da margem e com o material que compõe a margem: para margens verticais a densidade de raízes será menor, pois as plantas não têm possibilidade de se fixarem ao talude, para margens com ângulos mais suaves, a densidade de raízes e de vegetação tende a ser superior.

A protecção da superfície do talude é a percentagem de área do talude que é protegida e revestida por raízes, plantas, troncos e ramos de árvores e por rocha. Caso não existam troncos ou rochas a proteger o talude, a percentagem de protecção do talude coincidirá com a percentagem de densidade de raízes que protege o talude, assim a percentagem de superfície protegida só poderá ser superior ou igual á percentagem de densidade de raízes.

O ângulo do talude da margem é medido a partir do interior do talude da margem para a superfície livre da água.

Após a recolha dos dados relativos às características da margem, podem-se calcular os diversos parâmetros que permitirão atribuir a categoria de risco á margem. Os parâmetros a determinar são: a relação entre a altura da margem e a distância ao leito dominante, a relação entre a densidade raízes e a altura da margem e a densidade ponderada de raízes. Os valores da percentagem de protecção da superfície do talude e o ângulo também são incluídos na determinação da categoria de risco.

A determinação do valor destes parâmetros é simples e directo, não necessitando de mais pormenorização. Exceptuando-se a determinação da densidade ponderada de raízes, parâmetro que é

calculado multiplicando a relação entre a densidade raízes e a altura da margem pela densidade de raízes que protege o talude.

Consoante o valor de cada parâmetro será atribuído um valor numérico (pontos) entre 1 e 10, sendo 10 maior nível de risco. O sistema de classificação está dividido em 6 categorias, Muito Baixo (*Muito Baixo)*, Baixo *(Baixo)*, Moderado *(Moderado)*, Elevado (*Elevado)*, Muito Elevado (*Muito Elevado)* e Extremo (*Extremo)*. O valor numérico e a categoria de risco serão determinados através da tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Tabela com os valores numéricos para a atribuição da categoria de risco do BEHI (adaptado Rosgen (2001a)).

Categoria de Risco		Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	Densidade Raízes/ Altura margem (E)	Densidade ponderada de raízes (%) (G)	Ângulo talude (Graus) (H)	Protecção Talude da Margem (%) (I)
Muito Baixo	Valor	1,0-1,1	1,0-0,9	100-80	0-20	100-80
	Índice	1,0-1,9	1,0-1,9	1,0-1,9	1,0-1,9	1,0-1,9
Baixo	Valor	1,11-1,19	0,89-0,5	79-55	21-60	79-55
	Índice	2,0-3,9	2,0-3,9	2,0-3,9	2,0-3,9	2,0-3,9
Moderado	Valor	1,2-1,5	0,49-0,3	54-30	61-80	54-30
	Índice	4,0-5,9	4,0-5,9	4,0-5,9	4,0-5,9	4,0-5,9
Elevado	Valor	1,6-2,0	0,29-0,15	29-15	81-90	29-15
	Índice	6,0-7,9	6,0-7,9	6,0-7,9	6,0-7,9	6,0-7,9
Muito Elevado	Valor	2,1-2,8	0,14-0,05	14-5,0	91-119	14-10
	Índice	8,0-9,0	8,0-9,0	8,0-9,0	8,0-9,0	8,0-9,0
Extremo	Valor	>2,8	<0,05	<5	>119	<10
	Índice	10	10	10	10	10

O tipo de material que compõe o talude e a presença ou não de camadas na estrutura do material também são tidas em conta na atribuição da categoria de risco. Estes parâmetros são contabilizados sob a forma de correcções, podendo acrescentar ou retirar pontos ao somatório total, Rosgen (2001a).

As correcções impostas ao tipo de material da margem são as seguintes:

- **Rocha ou calhau rolado** - atribuir Baixo à categoria;
- **Seixo pequeno** - subtrair 10 pontos; caso a percentagem de areia e/ou gravilha não ultrapasse 50% do total não efectuar alteração;
- **Gravilha** - somar 5 ou 10 pontos dependendo da percentagem de areia;
- **Areia** - somar 10 pontos;
- **Silte ou argila** - não realizar qualquer ajustamento.

As correcções relativas à presença de estratificação no material das margens são as seguintes:

- **Sem estratificação** - não realizar qualquer correcção;
- **Sem estratificação mas com infiltração presente -** somar 3 pontos;
- **Com estratificação acima do nível do leito dominante** - somar 4 pontos;
- **Com estratificação acima do nível do leito dominante com infiltração presente ou abaixo do nível do leito dominante** - somar 7 pontos;
- **Com estratificação abaixo do nível do leito dominante e com infiltração presente** - somar 10 pontos.

O somatório dos pontos de todos os parâmetros e das correcções efectuadas, determinam a categoria de risco do BEHI, que pode ser retirada da tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Categorias de risco do BEHI (adaptado de MDEQ (2006)).

Total	10-19,9	20-29,9	30-45	45,1-50
Categoria BEHI	Baixo	Moderado	Elevado/ Muito Elevado	Extremo

3.4.2. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE NBS

A formulação proposta por Rosgen para a atribuição da categoria de risco de NBS usa a relação entre tenções de arrastamento e o valor do gradiente de velocidades.

Para a determinação da relação entre as tensões é necessário calcular a tensão de arrastamento junto à zona do talude da margem (τ_{nb}) e a tensão de arrastamento na zona do leito dominante (τ_{bkf}).

A zona do talude da margem é a zona que fica mais próxima do talude, quando a secção do leito dominante é dividida em 3 partes iguais.

As tensões de arrastamento, (τ) são determinadas através da fórmula:

$$\tau = \gamma R S \qquad (3.1)$$

Onde:

γ é o peso volúmico da água (9810 N/m^3),
R é o raio hidráulico da secção do rio, que pode frequentemente ser entendida como a profundidade em m,
S é a inclinação, em m/m.

Assim, a tensão de arrastamento junto à zona do talude da margem (τ_{nb}) é obtida por,

$$\tau_{nb} = \gamma d_{nb} S_{nb} \qquad (3.2)$$

E a tensão de arrastamento na zona do leito dominante (τ_{bkf}) é obtida por,

$$\tau_{bkf} = \gamma d_{bkf} S \qquad (3.3)$$

O cálculo das tensões requer ainda o conhecimento de:

d_{nb} profundidade do rio junto ao pé do talude da margem, em m;
S_{nb} inclinação do leito do rio junto ao talude, em m/m;
d_{bkf} profundidade média do leito dominante, em m;
S inclinação da linha de energia rio, (pode ser entendida geralmente como a inclinação da superfície livre da água), em m/m.

Para a caracterização do gradiente de velocidades é necessário determinar o perfil de velocidades em várias secções do leito rio e a várias profundidades.

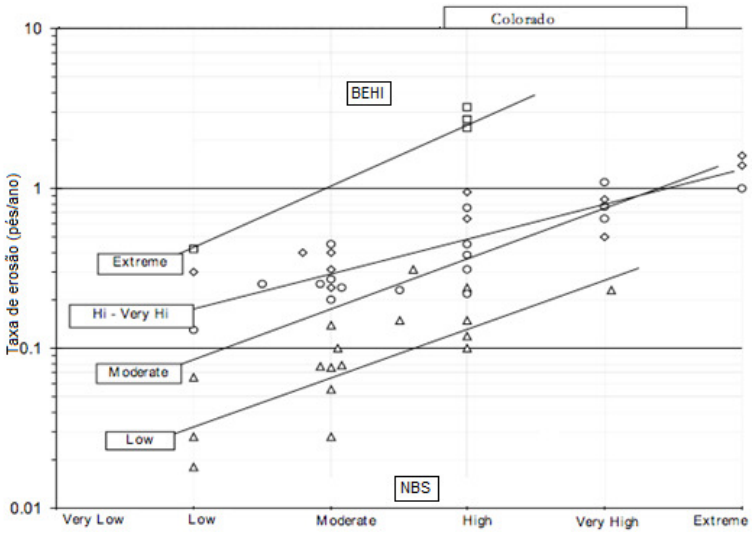
O gradiente de velocidades é obtido fazendo a diferença entre a velocidade junto ao talude e a velocidade máxima registada, a dividir pela distância entre esses dois pontos.

Conforme os valores da relação entre as tensões de arrastamento e do gradiente de velocidades, a categoria de risco da NBS é retirada da tabela 3.4.

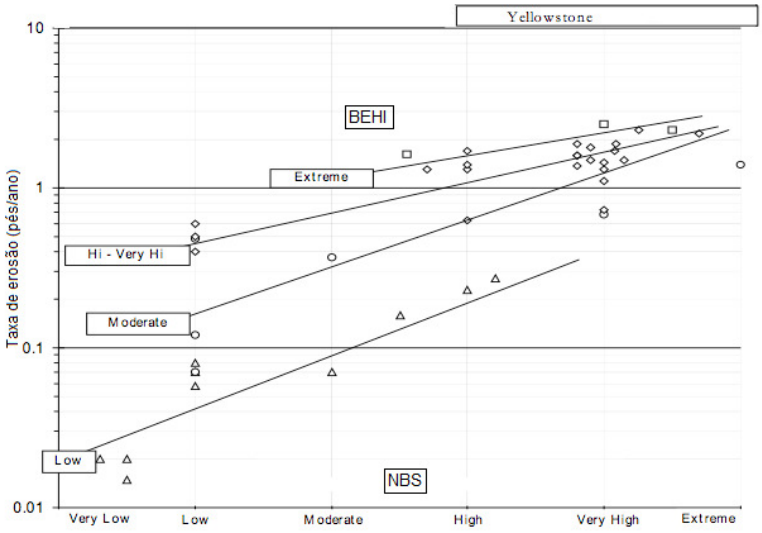
Tabela 3.4 - Tabela com os valores para a atribuição da categoria de risco de NBS (adaptado de Rosgen (2001a)).

Categoria NBS	Gradiente velocidades	Relação tensões
Muito Baixo	menor que 0,5	menor que 0,8
Baixo	0,5-1,0	0,8-1,05
Moderado	1,1-1,6	1,06-1,14
Elevado	1,61-2,0	1,15-1,19
Muito Elevado	2,1-2,4	1,20-1,60
Extremo	maior que 2,4	maior que 1,60

Sabendo as categorias de BEHI e de NBS, a taxa de erosão é calculada a partir de um dos dois ábacos existentes, figuras 3.2a e 3.2b. O uso do ábaco correcto dependerá do tipo de rio determinado através do sistema de classificação de rios naturais de Rosgen.



a)



b)

Figura 3.2 - a) Ábaco para a determinação da taxa de erosão para um rio C4; b) Ábaco para a determinação da taxa de erosão para um rio D4.

A determinação da taxa de erosão previsível para um dada zona de um rio com uma determinada categoria de BEHI e de NBS, é feita a partir da categoria de NBS assinalada no eixo das abcissas. De seguida obtêm-se um ponto figurativo, traçando-se uma paralela ao eixo das ordenadas, até esta intersectar a recta correspondente à categoria de BEHI. A partir desse ponto traçando uma paralela ao eixo das abcissas, obtêm-se na intersecção com o eixo das ordenadas o valor da taxa de erosão esperada para a margem em pés por ano. Este valor deve ser multiplicado pelo factor de 0,3048, para obter o correspondente valor em m/ano.

3.5. CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE PFANKUCH

A classificação modificada de Pfankuch, Rosgen (2001b), tem por base a classificação elaborada por Pfankuch (1975), e associa o grau de estabilidade das margens ao tipo de rio, determinado através do sistema de classificação de rios naturais de Rosgen.

O grau de estabilidade das margens é determinado analisando 15 características da margem e do leito do rio, atribuindo a cada uma determinada pontuação. Essa pontuação é depois comparada com a pontuação de uma secção estável de um rio do mesmo tipo do analisado.

Este método foi designado classificação modificada de Pfankuch, pelo facto de Rosgen ter utilizado utilizou a classificação original de Pfankuch para determinar a pontuação da secção de controlo estável para cada tipo de rio.

Esta metodologia tem grande interesse face às limitações que existem na documentação da regressão das margens nos rios em estudo, assim espera-se que com a realização desta classificação, para a mesma margem para a qual se vai determinar a taxa de erosão, se possa averiguar se a taxa se correlaciona com a estabilidade da margem. Isto fornecerá informações adicionais acerca da adequação do método BANCS para a determinação da taxa de erosão nas margens nos rios em estudo e para a escolha das metodologias de estabilização das margens que se irão aplicar.

3.5.1. FUNDAMENTOS DA CLASSIFICAÇÃO DE PFANKUCH

A classificação de Pfankuch atribui uma pontuação a 15 características de três zonas distintas da margem e do leito do rio, que pode variar entre 1 e 24 pontos, estando dividida em 4 categorias Excelente, Bom, Razoável e Mau. O somatório das pontuações das 15 características permite classificar a estabilidade da margem em Boa, Moderada e Má, tabela 3.5.

As zonas consideradas na classificação são: a zona superior da margem, situada acima do nível do leito dominante, a zona inferior da margem, situada abaixo do nível do leito dominante, e o leito do canal.

Tabela 3.5 - Tabela com as classificações modificadas de Pfankuch para avaliação da estabilidade lateral (adaptado de Rosgen (2001b)).

Categoria rio	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Boa	38-43	38-43	54-90	60-95	60-95	50-80	38-45	38-45	40-60	40-64	48-68	40-60
Moderada	44-47	44-47	91-129	96-132	96-142	81-110	46-58	46-58	61-78	65-84	69-88	61-78
Má	48+	48+	130+	133+	143+	111+	59+	59+	79+	85+	89+	79+
Categoria rio	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**		
Boa	38-50	38-50	60-85	70-90	70-90	60-85	85-107	85-107	85-107	67-98		
Moderada	51-61	51-61	86-105	91-110	91-110	86-105	108-132	108-132	108-132	99-125		
Má	62+	62+	106+	111+	111+	106+	133+	133+	133+	126+		
Categoria rio	**DA3**	**DA4**	**DA5**	**DA6**	**E3**	**E4**	**E5**	**E6**				
Boa	40-63	40-63	40-63	40-63	40-63	50-75	50-75	40-63				
Moderada	64-86	64-86	64-86	64-86	64-86	76-96	76-96	64-86				
Má	87+	87+	87+	87+	87+	97+	97+	87+				
Categoria rio	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**
Boa	60-85	60-85	85-110	85-110	90-115	80-95	40-60	40-60	85-107	85-107	90-112	85-107
Moderada	86-105	86-105	111-125	111-125	116-130	96-110	61-78	61-78	108-120	108-120	113-125	108-120
Má	106+	106+	126+	126+	131+	111+	79+	79+	121+	121+	126+	121+

As 15 características não são analisadas em todas as zonas, sendo antes repartidas pelas 3 zonas. Assim na zona superior são analisadas 5 características, na zona inferior são analisadas 4 e no leito são analisadas 6 características.

3.5.1.1. Zona Superior da Margem

As características analisadas na zona superior da margem são, o ângulo da margem, a instabilidade do material da margem, a quantidade de destroços presentes e a protecção da margem por vegetação.

3.5.1.2. Zona Inferior da Margem

Nesta zona da margem é analisada a capacidade do canal - através da determinação da relação entre a largura do leito dominante (W_{bkf}) e a profundidade do leito dominante (d_{bkf}) -, o teor de rocha presente no material da margem, as obstruções ao escoamento, a presença de erosão junto ao pé do talude, e a deposição de sedimentos.

3.5.1.3. Leito do Canal

No leito do canal são analisadas a angularidade do material, a consolidação do material, o tamanho das partículas e a sua distribuição e variação ao longo do canal, a infra-escavação no leito devido às correntes erosivas provocadas por obstáculos e a presença e o tipo de vegetação aquática no leito.

4

FACTORES RESPONSÁVEIS PELA ESTABILIDADE DAS MARGENS E MECANISMOS DE ROTURA DO MATERIAL DA MARGEM

4.1. ESTABILIDADE DAS MARGENS

O processo de erosão das margens de um rio pode ser interpretado como tendo três componentes fundamentais: a estabilidade do material no talude da margem, os fenómenos responsáveis pela instabilização do material da margem e os mecanismos responsáveis pela rotura e consequente queda do material para o canal do rio.

Métodos conceptuais descrevem o conceito de estabilidade da margem como correspondente ao equilíbrio entre as forças gravíticas e as forças resistentes do material da margem, a estabilidade é perturbada quando as forças gravitacionais excedem as forças resistentes. Este equilíbrio está dependente dos factores que promovem a estabilidade da margem e pelos fenómenos que provocam a instabilização do talude.

As três componentes referidas são dependentes umas das outras, ou seja, estão interligadas entre si, cada uma afectando e sendo afectada pelas restantes. Isto traduz o facto de o fenómeno da erosão das margens ter uma elevada complexidade, devido às correlações que existem entre as diferentes variáveis das três componentes.

Uma enumeração exaustiva das variáveis das componentes e suas correlações não se enquadra no âmbito do presente trabalho. No entanto, serão mencionadas e caracterizadas as que melhor se adequam às zonas de estudo, para assim enquadrar a erosão das margens e justificar as medidas correctivas e de estabilização a adoptar nas mesmas.

4.1.1. CARACTERIZAÇÃO DOS FACTORES QUE AFECTAM A ESTABILIDADE DA MARGEM

Ainda que a definição de estabilidade de uma margem de rio não seja consensual, no entanto uma margem pode ser considerada estável se o seu estado não sofrer alterações durante um determinado período de tempo.

A magnitude das alterações e o tempo que estas demoram a acontecer dependem de vários factores. No essencial a estabilidade das margens de um rio depende da composição e disposição do material da margem, Thorne e Tovey (1981), Gatto (1984, 1995), Simon *et al* (1999), da geometria da margem,

Thorne e Tovey (1981), Simon *et al* (1999) e do revestimento vegetal do talude, Kondolf e Curry (1984, 1986), Beeson e Doyle (1995), Gray e MacDonald (1989).

Embora estes factores possam ser considerados como os mais relevantes para a estabilidade de um talude, as condições de estabilidade e o conceito de estabilidade não são rígidos. Este varia de acordo com as características endógenas de cada rio e dentro do próprio rio pode também variar de forma notável.

A determinação do factor preponderante para a estabilidade depende das características presentes do troço de rio a analisar, da forma e o tipo de escoamento no canal, do tipo e classe do canal e do clima. No entanto, e decorrente dos estudos realizados neste domínio, certos autores, (Kondolf e Curry (1984, 1986), Beeson e Doyle (1995), Gray e MacDonald (1989)) sugerem que o revestimento vegetal do talude e o tipo dessa vegetação desempenham um papel preponderante na estabilidade das margens.

4.1.1.1. Composição e Disposição do Material

Os materiais que compõem as margens podem ser de três tipos: materiais coesivos, compostos por argilas e siltes; materiais granulares, constituídos por areias, gravilhas e seixos de pequeno diâmetro; e, materiais compostos por uma mistura de diferentes percentagens dos dois anteriores. Estes materiais podem ainda estar dispostos na margem de forma homogénea, sendo a margem constituída pelo mesmo material, ou em diferentes camadas, apresentando estratificação.

Estas duas características, composição e disposição do material, influenciam a capacidade resistente do talude aos processos erosivos e inerente estabilidade, e a forma de rotura do bloco da margem, Thorne e Tovey (1981).

Caso a margem seja composta por material coesivo, esta terá uma maior resistência às tensões impostas pelo escoamento e, portanto, aos processos erosivos devido à presença de coesão entre as partículas de material e a existência de poucos espaços vazios. A impermeabilidade característica deste tipo de material, é sinónimo de uma variação quase nula no teor de água no solo em períodos curtos de tempo, o que significa que não existe uma variação brusca nas características mecânicas do material devido às alternâncias do nível de água no canal.

A longo prazo a resistência do material pode ser comprometida devido à dissecação do material superficial, resultante da diminuição do teor de água na parte emersa. A dissecação tenderá a ser importante nos meses mais quentes quando o rio apresenta um caudal mais pequeno e o nível da água mais baixo; a evapotranspiração da vegetação que reveste o talude nestes meses também é maior, contribuindo para uma diminuição da resistência do material e da estabilidade do talude.

Nas margens onde o material granular é dominante, a resistência aos fenómenos erosivos dependerá do tamanho das partículas do material e do seu grau de consolidação. O tamanho é relevante pois quanto maior o tamanho da partícula maior o seu peso próprio, o que favorece a resistência às acções do escoamento. O grau de consolidação do material beneficia a resistência, no sentido em que um solo consolidado tem menos espaços vazios e o imbricamento entre os grãos é maior, sendo por isso mais difícil removê-los.

Para os materiais compostos, a resistência dependerá da percentagem presente de argilas e de siltes, do grau de consolidação e do tamanho do material granular. A resistência do material virá da combinação das resistências devido à coesão efectiva do material fino, do grau de consolidação do material e do tamanho das partículas.

A disposição do material na margem influencia a estabilidade da margem no sentido em que quando o material está presente em camadas, *i.e*, apresenta estratificação, existe uma súbita variação nas características mecânicas do material. Esta variação de material deve-se à presença de camadas geralmente alternadas de material granular com material coesivo. Esta estratificação resulta dos processos naturais de deposição do material no canal, sendo que as camadas granulares são devidas à deposição de material aquando da ocorrência de caudais elevados. Na realidade, como as partículas granulares são de maior dimensão, têm um peso maior e uma maior resistência às tensões de arrastamento, são por isso apenas mobilizadas para caudais elevados; já os materiais finos têm um peso e resistência menores e, por isso, são mobilizados em, períodos de caudais mais baixos, tendo a possibilidade de ficar depositados por cima do material granular. A ocorrência de vários ciclos de cheia conduz a várias camadas de material sobreposto; quanto maior o número de ciclos de cheia maior o número de camadas. A camada superficial é caracterizada pela existência de vegetação, sendo que esta vegetação fixa os sedimentos e a matéria orgânica durante a cheia.

A presença de estratificação no material da margem acelera a instabilidade da margem devido à variação abrupta da resistência do material às acções do escoamento, pois estando todas as camadas sujeitas às mesmas acções do escoamento, o material granular será mais facilmente erodido. A remoção desta camada criará vazios e cavidades no talude, o que comprometerá a estabilidade das camadas superiores, ocorrendo o mecanismo de rotura quando a capacidade á tracção das camadas superiores é excedida.

Nas margens compostas por material homogéneo, o material tem as mesmas características ao longo de toda a profundidade da margem; no entanto as camadas mais profundas apresentam uma resistência maior devido a terem um menor número de vazios. Este acréscimo de resistência é mais evidente no material granular, e pode ser benéfico para a estabilidade da margem, uma vez que o material das camadas inferiores está sujeito a tensões maiores de arrastamento.

4.1.1.2. Geometria

A geometria da margem compreende o ângulo que o talude da margem faz com a superfície livre do escoamento e a altura do talude. Estas características são influenciadas pelo material que compõe as margens e têm uma grande influência na estabilidade.

Materiais argilosos tenderão a formar margens verticais ou com ângulos ligeiramente superiores a 90º, devido à existência da coesão do material e de pressões neutras; por sua vez, para materiais granulares o ângulo da margem tenderá a ser inferior a 90º, devido às suas propriedades particulares. Podem existir situações onde taludes compostos por materiais granulares tenham ângulos próximos de 90º, devendo-se tal à presença de uma grande densidade de raízes no talude. Estas raízes formam uma estrutura que permite suster o material, fortalecendo-o e permitindo-o obter inclinações elevadas. A cobertura de raízes pode ou não estender-se até ao pé do talude, em qualquer dos casos a maior ou menor verticalidade do talude apenas se verificará na parte emersa. Nos materiais compostos o ângulo variará consoante a percentagem de material argiloso e granular.

De facto, o escoamento do rio e os fenómenos erosivos que daí resultam tendem a verticalizar as margens devido à intensificação das tensões de arrastamento e das correntes secundárias que promovem a remoção do material do pé do talude, Simon *et al* (1999). A capacidade que a margem tem para se manter vertical depende não só do tipo de material mas também da densidade de raízes presentes no talude.

A altura do talude da margem é independente do material da mesma, podendo haver margens com grande altura, tanto para materiais argilosos como para materiais granulares. Ainda assim, margens com elevada altura e verticais são, em geral, mais prováveis na presença de argilas ou siltes ou de materiais compostos, ainda que no entanto, seja também possível haver margens de material granular com elevada verticalidade, tal será com certeza devido a uma combinação muito particular de factores, de facto numa das zonas analisadas neste trabalho existe uma margem com cerca de 6,5 m de altura com ângulos superiores a 90º constituída somente por material granular, os factores que contribuíram para esta verticalidade serão referidos em 5.3.1.

Em conjunto, o ângulo e a altura da margem determinam a sua estabilidade, sendo que margens com elevada altura e verticalidade têm um factor de segurança à rotura inferior a margens com baixa altura e com ângulos mais suaves. Esta diferença nos factores de segurança deve-se ao facto de nos taludes de maior altura e verticalidade, a componente destabilizadora do peso ser maior do que no caso de um talude mais baixo e com um ângulo mais suave, enquanto que as forças estabilizadoras se mantêm sensivelmente constantes; deste modo uma variação no estado de equilíbrio de uma margem com elevada altura conduzirá a uma variação mais rápida no factor de segurança.

4.1.1.3. Revestimento Vegetal

O revestimento com vegetação é apontado por muitos autores, - Kondolf e Curry (1984, 1986), Beeson e Doyle (1995), Gray e MacDonald (1989) - como sendo o factor que mais contribui para a estabilidade de uma margem. Na realidade, a vegetação aumenta a estabilidade das margens criando uma estrutura compósita de raízes e de solo que apresenta uma elevada tensão resistente e reduzindo a velocidade da água junto à margem, Gray e MacDonald (1989).

A presença de vegetação nas margens de um canal tem também efeitos significativos na estabilidade do canal de escoamento, pois a vegetação reduz a área da secção do canal, induzindo estabilidade para caudais inferiores ao dominante. Estudos realizados em diversos rios sugerem ainda que canais de pequena dimensão e com elevada densidade de vegetação estão associados a uma elevada estabilidade do canal e das margens. Para caudais superiores ao dominante, e devido à capacidade reduzida de escoamento, o rio apresenta sinais de instabilidade devido ao extravasamento das margens. Fica assim claro que a vegetação pode estabilizar as margens para caudais baixos mas falha na estabilização das margens para caudais elevados, Rowntree e Dollar (1999).

A capacidade da vegetação para aumentar a estabilidade de uma margem está dependente de factores como o tipo e vigor da vegetação, densidade e profundidade das raízes e posição da cobertura vegetal na margem, os quais, interagindo com os factores já anteriormente mencionados, nomeadamente a composição e disposição do material da margem e a geometria da mesma, contribuem para aumentar a resistência contra os factores erosivos, que provocam a remoção do material do pé do talude, o que conduz à instabilidade da margem. O aumento da estabilidade da margem está dependente da escala, ou seja está dependente do tamanho do curso de água e da vegetação que o protege.

A estabilização das margens por vegetação tende a ser mais eficiente em rios de pequena dimensão, Gatto (1984), enquanto que em rios de grandes dimensões, os processos fluviais e hidráulicos tendem a dominar a estabilidade da margem. Vegetação de grande porte, particularmente árvores, servem para estabilizar as margens de rios de grande dimensão; no entanto, em rios pequenos e com margens verticais, essas mesmas árvores podem ser uma fonte de instabilidade, pois embora forneçam um importante incremento na tensão resistente também aumentam o peso sobre a margem, verificando-se que o aumento do peso supera o aumento da resistência, o que significa que as forças destabilizadoras

aumentam mais do que as forças estabilizadoras, conduzindo à instabilidade da margem, Thorne (1982).

Quando a margem não suporta o peso do terreno e das árvores dá-se a rotura da mesma - as árvores caem ao rio levando grandes quantidades de material arrastado - e os troncos e ramos que ficam no canal de escoamento provocam obstruções ao escoamento que, por sua vez, aceleram o mesmo, o que gera ainda mais instabilidade junto da margens, Gatto (1984), Thorne (1982). Além disto a existência de troncos ou de ramos de árvores que se encontram na margem e que estão em contacto com o escoamento podem provocar correntes erosivas localizadas, aumentando consideravelmente a velocidade do escoamento e a remoção de material.

Na sequência da realização de um estudo sobre esta matéria, Thorne (1982), sugeriu que as formas mais pequenas de vegetação - pequenas árvores, arbustos e plantas herbáceas - aumentam a tensão resistente do solo, sem um significativo aumento do peso da margem, contribuindo de forma mais eficaz para a estabilidade da margem de rios de pequena dimensão do que as árvores de grande porte.

A presença de vegetação no talude da margem altera a região de interface entre o escoamento e a margem diminuindo a velocidade do escoamento junto à margem, o que conduz a que as propriedades hidráulicas e mecânicas sejam modificadas de forma a aumentarem a resistência do material aos processos erosivos, o que favorece a estabilidade, Gray e MacDonald (1989). A alteração nas condições do escoamento acontece apenas na parte emersa do talude onde existe uma cobertura vegetal; na restante área, as condições de escoamento mantêm-se inalteradas. A cobertura vegetal nestas situações tem muito pouca influência, ou mesma nenhuma, no incremento da resistência do talude, pois o rio erode o talude ao longo de toda a superfície em contacto com a água, pelo que se não existir vegetação, a resistência ao escoamento dependerá unicamente do tipo de material. Este efeito tem particular interesse em margens com grande altura e verticais, pois embora possa existir muita vegetação na camada superficial, as raízes só penetram até uma determinada profundidade dependendo da espécie de vegetação existente, deixado desprotegida a zona inferior da margem.

De uma maneira geral a vegetação protege e reforça a estrutura da margem. No entanto, em determinadas condições, essa protecção não tem qualquer efeito ou prejudica a estabilidade da margem. Torna-se claro que a utilização de vegetação como meio de aumento da estabilidade do talude da margem carece do conhecimento das condições da margem, do escoamento e da zona a analisar. Entretanto, quando utilizada de forma adequada, a vegetação torna-se uma forma rápida, natural, barata e bastante eficiente para aumentar estabilidade das margens.

4.1.2. MECANISMOS CAUSADORES DE INSTABILIDADE

A instabilidade de um talude de uma margem deve-se à alteração do estado de equilíbrio do sistema, que pode dever-se fundamentalmente a dois tipos de fenómenos: remoção do material da base da margem ou alterações nas condições de resistência do material da margem, Simon *et al* (1999).

A remoção do material da base do talude deve-se à existência de tensões de arrastamento estando, a remoção do material, dependente da capacidade resistente do material da margem. As tensões de arrastamento surgem da necessidade do rio dissipar o excesso de energia do escoamento que é dissipada por efeito de atrito entre o líquido escoado e o material do leito e das margens. Quando essa energia, e consequente tensão de arrastamento, é suficiente para arrastar o material que compõe o leito ou as margens, ocorrem os fenómenos erosivos responsáveis de remoção do material da base.

As alterações da resistência do material devem-se essencialmente a uma redução da capacidade resistente do material por intermédio da variação do teor de água no solo ou dos níveis de água no canal.

4.1.2.1. Remoção de Material da Base

Os processos que ocorrem no pé do talude são fundamentais para a estabilidade das margens e para o entendimento dos modos de rotura e da evolução da morfologia do canal. As acções hidráulicas impostas pelo escoamento apresentam uma maior intensidade junto ao pé do como foi mencionado em 4.1.1.2, levando à instabilização da margem devido à remoção da material. Este mecanismo de instabilidade é frequente (como já foi referido), em margens de material estratificado, neste tipo de margens existe alternância entre camadas de material granular com camadas de material argiloso, figura 4.1. Como as camadas de material granular não têm coesão apresentam um menor resistência ao escoamento do que as camadas argilosas. As acções do escoamento removem as partículas granulares de menor dimensão, deixando espaços vazios na estrutura embrincada que expõe as partículas de maior dimensão, as tensões de arrastamento não são capazes de remover essas partículas de maior dimensão, em todo o caso a integridade de toda a camada fica comprometida. As camadas superiores de material coesivo ficam expostas formando uma consola de material que acabará por romper, depositando este material no pé do talude, como o material se encontrava na superfície a sua estrutura estará reforçada com raízes. A deposição deste material junto à base do talude fornecerá um reforço importante na protecção contra as acções do escoamento.

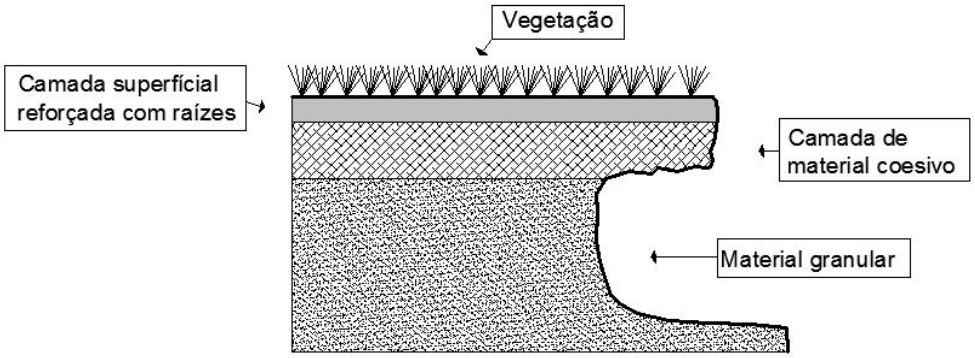


Figura 4.1 - Mecanismo de instabilidade predominante em margens com material estratificado (adaptado de Thorne e Tovey (1981)).

O material do talude da margem só voltará a ser exposto quando esse material for retirado pelos processos hidráulicos. O mecanismo de remoção do material do pé do talude está assim sujeito a um ciclo de remoção e deposição de material. O período deste ciclo dependerá da intensidade dos processos erosivos e da resistência do material da superfície.

4.1.2.2. Alteração das Condições de Resistência do Material da Margem

A alteração das condições de resistência do material da margem pode dever-se a quatro processos: ou aumento do peso da margem, ou diminuição ou perda total da pressão negativa, ou geração de excessos de pressão neutra ou à perda do confinamento do material pelas forças hidrostáticas devido ao abaixamento do nível de água do escoamento, Simon *et al* (1999).

O aumento do peso da margem deve-se à inserção de uma sobrecarga no talude da margem, que pode dever-se à existência de árvores de grande porte na margem ou devido à saturação do material da margem acima do nível do escoamento por fenómenos de infiltração de água devido a períodos de precipitação intensa.

A infiltração de água, além de aumentar o peso próprio do talude reduz também as suas propriedades mecânicas, visto que a presença de água na estrutura do material anula as pressões neutras negativas que introduzem um importante incremento na resistência do material, Casagli *et al* (1997).

O enfraquecimento da capacidade resistente do material da margem em condições saturadas deve-se a excessos de pressão neutra, o que causa instabilidade quando ocorre em simultâneo com um abaixamento do nível do escoamento no rio. Nestas condições as pressões na margem não são equilibradas pelas pressões hidrostáticas no canal, formando-se um gradiente de pressões que conduz à instabilidade da margem, Simon *et al* (1999).

A situação mais desfavorável para a estabilidade da margem será a ocorrência simultânea de precipitação e de um abaixamento do nível de água no escoamento.

A resistência destes materiais advém em grande parte da coesão efectiva que estes possuem. O valor da coesão varia com o teor de água no material que, nos meses secos se reduz devido à evapotranspiração do solo e da cobertura vegetal que eventualmente o protege. A diminuição do teor de água conduz à dissecação do material argiloso, conduzindo a uma diminuição da resistência do material da margem, podendo então ocorrer fenómenos de instabilidade, devido à diminuição das forças que contribuem para a estabilidade, Casagli *et al* (1997).

O factor de segurança do talude em qualquer dos cenários fica reduzido devido ao aumento das forças destabilizadoras ou da diminuição das forças resistentes presentes no talude, o que conduz à instabilidade do talude.

4.1.3. MECANISMOS DE ROTURA DA MARGEM

A alteração do estado de equilíbrio do talude resulta na instabilidade da margem, que, por sua vez, origina os mecanismos de rotura responsáveis pela queda do material para o rio. Estes mecanismos de rotura são em tudo semelhantes aos presentes na Geotecnia, ainda que devido à influência, presença e interacção das forças hidráulicas no processo, seja necessário realizar as devidas correcções.

A queda do talude da margem para o rio, despoletada pelos mecanismos de rotura, introduz grandes quantidades de material sólido no escoamento do rio. Estes mecanismos são dependentes da geometria e estrutura das margens e das propriedades mecânicas do material, podendo ser caracterizados pela forma da superfície de rotura ou pelo modo de rotura, Thorne e Tovey (1981), Simon *et al* (1999).

4.1.3.1. Taludes com Altura Superior a 5m

Para taludes com alturas elevadas a forma da superfície e modo de rotura dependerão da inclinação do talude. Taludes com ângulos inferiores a 90º apresentarão uma superfície de rotura circular, sendo o material da margem introduzido no canal do rio ao longo da superfície de rotura e o talude é instabilizado essencialmente devido à remoção do material no pé do talude, figura 4.2.

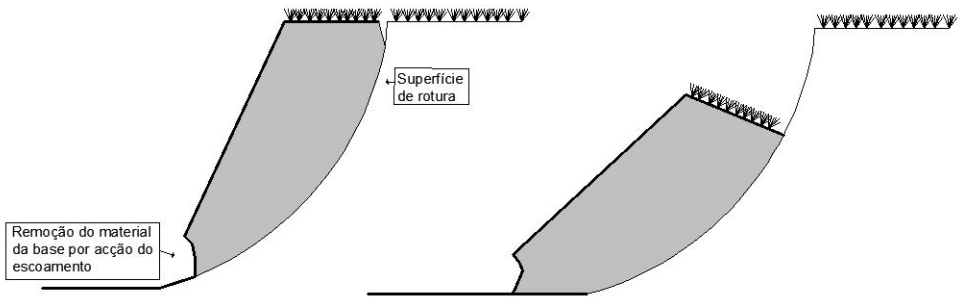


Figura 4.2 - Mecanismo de rotura típico para margens com altura superior a 5 m e com taludes com ângulo inferior a 90º (adaptado de Thorne e Tovey (1981)).

Taludes verticais normalmente apresentam superfícies de rotura planas, o material cai na margem rodando em torno da base, sofrendo uma rotura rotacional, figura 4.3. Este tipo de rotura arrasta grandes quantidades de material para o leito do rio, sendo no entanto relativamente rara quando comparada com os outros tipos de roturas, Thorne e Tovey (1981).

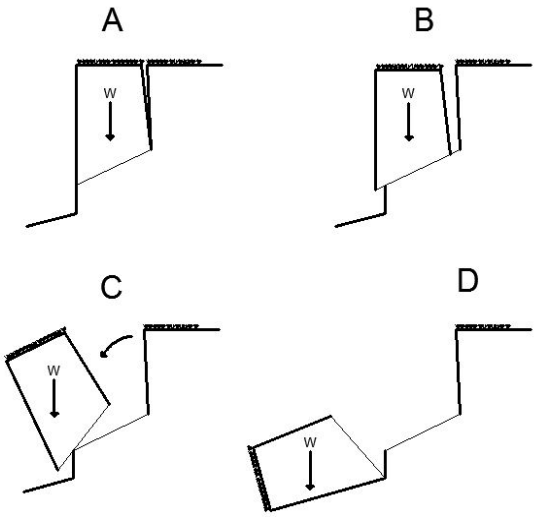


Figura 4.3 - Mecanismo de rotura típico para margens com altura superior a 5 m e com taludes verticais; A - Abertura da 1ª fenda vertical; B - Início do escorregamento pela base; C - Rotura rotacional do material da margem; D - deposição do material junto ao pé do talude (adaptado de Thorne e Tovey (1981)).

4.1.3.2. Taludes de Altura Intermédia

Os taludes com altura intermédia são aqueles que se situam entre os 5 e os 2 m de altura. Estes taludes são normalmente constituídos por materiais consolidados. A consolidação dos materiais granulares advém da diminuição dos espaços vazios entre as partículas, o que proporciona um maior imbricamento, conferindo-lhe uma maior resistência; nos materiais argilosos, a consolidação resulta da diminuição do teor de água, Thorne e Tovey (1981).

Nestes taludes a superfície de rotura são normalmente planas e o material sofre uma rotura rotacional.

4.1.3.3. Taludes de Baixa Altura

Os taludes de baixa altura têm geralmente uma altura perto dos 2 m, sendo a remoção de material junto ao pé do talude a principal causa de instabilidade. Essa remoção é mais frequente em margens que apresentam estratificação, embora também ocorra com bastante frequência em margens com material homogéneo, dependendo somente da resistência do material.

A remoção do material causará cavidades ao longo da parte inferior da margem; sob a acção do escoamento estas cavidades unem-se e formam consolas, que têm normalmente até 30 de profundidade, Thorne e Tovey (1981).

A rotura deste material dar-se-á quando o peso do material suspenso exceder a capacidade resistente do material da margem, caindo o material normalmente em blocos que têm constantemente cerca de 0,5 a 1 m de extensão. A rotura dos blocos pode ocorrer de três modos distintos: rotura do tipo A, originada pelo corte do material; rotura do tipo B, originada pela rotura da camada imediatamente por baixo da camada superficial; e, rotura do tipo C, originada por corte rotacional, figura 4.4.

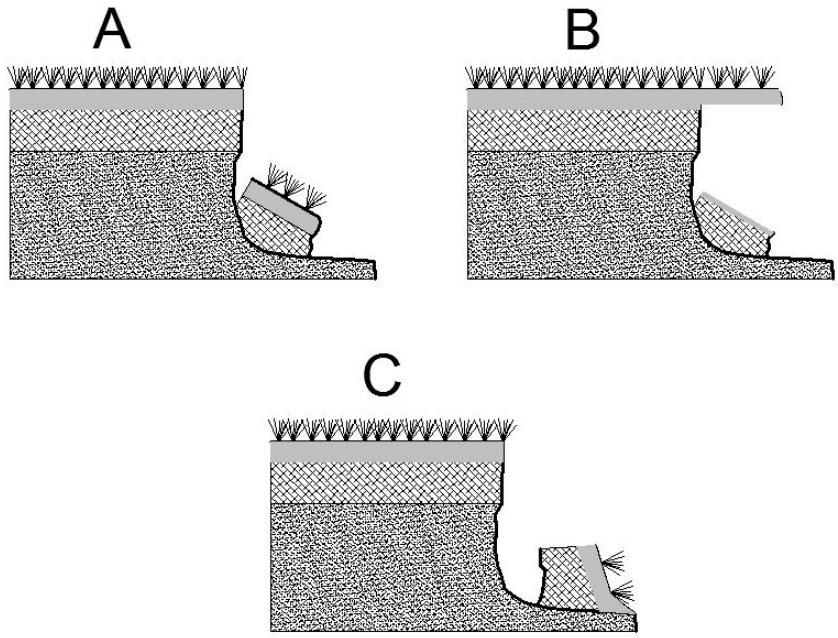


Figura 4.4 - Mecanismo de rotura típico para margens de baixa altura e com material estratificado (adaptado de Thorne e Tovey (1981)).

A rotura do tipo A e do tipo C acontecem quando o peso do material suspenso excede a capacidade resistente no material. No entanto, enquanto que a rotura do tipo A favorece a estabilidade da margem, a do tipo C não. Isto deve-se ao facto, de numa rotura do tipo A o material ficar disposto junto ao pé do talude, pelo que este fica protegido contra as acções do escoamento, que removem primeiro o material caído e só depois o material da margem. O material caído traz agarrado vegetação, o que reduz a velocidade do escoamento de forma significativa nessa zona; além disso a estrutura do material caído está reforçado pelas raízes da vegetação, pelo que o pé do talude beneficia de um aumento significativo da estabilidade. Este tipo de rotura foi verificado em várias das secções em estudo no rio Âncora, tendo-se comprovado o aumento na protecção do pé do talude.

Na rotura do tipo C, como o material roda sobre a base é disposto mais longe da margem, não protegendo tão eficazmente a margem como no caso anterior, e sendo o material levado mais facilmente pelo escoamento.

Este tipo de rotura, ocorre quando a camada superficial apresenta uma elevada densidade de raízes, que aumentam consideravelmente a resistência da camada superficial. Porém, à medida que a profundidade aumenta a densidade de raízes diminui; a superfície de rotura ocorre quando as raízes não são suficientes para suportar o peso das camadas inferiores.

5
RIOS E TROÇOS EM ESTUDO

5.1. RIO ÂNCORA

O rio Âncora é um pequeno rio situado no Norte de Portugal com uma extensão de cerca 19 km. A sua nascente situa-se na Serra da Arga numa região de orografia muito acidentada, a uma altitude de 816 m junto à povoação da Montaria, concelho de Viana do Castelo; o rio desagua no oceano Atlântico junto de Vila Praia de Âncora concelho de Caminha.

O curso superior do rio é caracterizado por leitos rochosos, inclinações muito fortes e com o rio muito encaixado no vale, descendo até à cota 100 m nos 7 km iniciais de montante; o curso médio apresenta inclinações moderadas a suaves e leitos predominantemente aluvionares, correndo o rio num vale largo caracterizado por um traçado meandrizado.

Na parte estuarina do rio, as inclinações são muito pequenas, o rio apresenta um canal largo e o vale é também ele largo sendo composto essencialmente por terrenos modernos formados pela deposição de sedimentos nomeadamente, areias, lodos e depósitos argilosos. Esta parte estuarina forma uma importante zona de amortecimento de cheias e de sapal, apresentando condições ideais para o estabelecimento de uma fauna variada, nomeadamente uma grande diversidade de pequenos répteis, anfíbios e aves, sendo uma área protegida e estando inserida na Reserva Ecológica Nacional. Nesta zona o leito do rio é predominantemente constituído por material granular, fazendo-se sentir a proximidade do cordão dunar.

A bacia hidrográfica do rio Âncora tem uma área com cerca de 77 km^2 e encontra-se entre a bacia do rio Minho a Norte e a do rio Lima a Sul, está situada na fachada Atlântica do Norte de Portugal apresentando Invernos suaves e chuvosos e Verões moderados, tratando-se de um modo geral de uma zona com clima húmido, com uma temperatura média anual de cerca 14,6 ºC.

A pluviosidade é elevada durante o Inverno e quase nula no Verão sendo influenciada pela proximidade da bacia hidrográfica ao oceano Atlântico, a precipitação média ponderada na bacia é de 1844 mm, um valor bastante superior à média registada em Portugal Continental. O escoamento médio anual é de cerca de $100x10^6$ m^3 com um caudal médio de 3,2 m^3/s.

A consulta da carta geológica de Portugal permite aferir que a bacia se situa na mancha de granito do Minho, abrangendo ainda alguns terrenos de natureza variada tais como, xistos, grauvaques, xistos metamórficos e quartzitos. Estas características geológicas aliadas a fortes inclinações na cabeceira do rio e a precipitações elevadas conduzem a um abundante influxo de sedimentos, tanto finos como de grandes dimensões, nomeadamente seixos rolados. Este factor e a existência do cordão dunar foram predominantes para a formação e manutenção da zona estuarina.

A bacia tem uma forma arredondada, com um índice de Gravellius de 1,34, apresentando uma grande aptidão para a ocorrência de cheias, DGRN (1990a).

Relativamente ao uso do solo existem três actividades fundamentais: as actividades agrícolas, as actividades florestais de resinosas e de folhosas e os terrenos incultos.

As actividades agrícolas ocupam a parte baixa dos vales, onde as inclinações são mais favoráveis, a agricultura é orientada para o auto-consumo, sendo reduzido o nível de meios mecânicos empregues.

As actividades florestais ocupam as inclinações intermédias no vale, sendo a actividade com maior representatividade na bacia. Os terrenos incultos ocupam as inclinações muito acentuadas ou as áreas cobertas por afloramentos rochosos.

Analisando as actividades económicas que se desenvolvem na bacia, o turismo tem um papel destacado, em grande parte devido à estância balnear de Vila Praia de Âncora. A agricultura surge em segundo lugar sendo maioritariamente destinada ao auto-consumo. A indústria tem pouca representatividade na bacia, exceptuando a extracção de pedra.

Segundo os censos realizados no ano de 2001 a população, era de 9388 habitantes, estando mais de metade deste valor concentrada nas áreas situadas próximas da foz, nomeadamente em Vila Praia de Âncora, diminuindo à medida que nos afastamos do litoral.

5.2. ZONA DE ESTUDO

A zona analisada neste estudo situa-se numa curva de um meandro no estuário do rio Âncora. A curva apresenta um raio de grande desenvolvimento, sendo antecedido por um troço recto do rio e precedida por um outro meandro de raio semelhante. A zona estuarina é caracterizada por uma grande planície aluvial inserida num vale largo, onde o rio apresenta um traçado meandrizado, um declive muito suave e com um canal largo. A zona é naturalmente afectada pelas marés devido à sua proximidade à foz.



a) b)

Figura 5.1 - a) Zona esturarina do rio Âncora; b) Pormenor do troço estudado. (GoogleEarth)

O extradorso do meandro constitui a fronteira entre o sistema ribeirinho e o sistema marítimo; esta separação é assegurada pelo cordão dunar característico desta região costeira do Norte de Portugal. Existe também uma zona de transição entre os dois sistemas, trata-se de um patamar plano, com uma largura que varia entre os 25 m e os 5 m e com a extensão de cerca 2 terços do comprimento do

meandro. Este patamar inicia-se no topo do leito do caudal dominante, ou seja, o início do leito de cheias, e delimita o canal de escoamento do rio. O material das margens encontra-se disposto em camadas, apresentando estratos de material granular muito fino, existindo também camadas de material granular misturado com seixos de dimensão média, entre os 4 e 8 cm. O material da camada superficial é maioritariamente fino, argilas e siltes contendo uma grande percentagem de matéria orgânica.

Devido à presença desta camada superficial a vegetação no extremo do meandro é abundante, existindo pequenas clareiras revestidas essencialmente por plantas herbáceas, enquanto junto às dunas existem pequenos bosques formados exclusivamente por acácias de porte arbustivo.

O intradorso do meandro faz parte da planície aluvionar estuarina que inclui uma extensa área de sapal, e onde existe uma densa vegetação própria deste tipo de ambiente.

A erosão das margens está muito concentrada no extradorso do meandro ao longo de toda a curva. O talvegue situa-se muito próximo da margem agravando os problemas de estabilidade dos taludes, devido à grande profundidade do canal de escoamento.

O rio apresenta vários fundões na zona de curva, alguns deles bastante profundos quando comparados com a profundidade média do rio, e com um desenvolvimento localizado, *i.e*, que corresponde uma variação súbita na inclinação longitudinal; nas zonas rectas o rio apresenta várias barras, sendo constituídas por seixos pequenos e material granular grosseiro.

De um modo geral esta zona apresenta uma heterogeneidade notável ao nível do material que compõe as margens, da vegetação que as reveste, da altura dos taludes das margens e do tipo de material do leito, apresentando este último variações ao nível da granulometria tanto longitudinalmente como transversalmente, sendo influenciada pela proximidade à duna em todas estas características. A vegetação que reveste as margens também varia consideravelmente, havendo zonas protegidas por árvores de porte arbustivo, nomeadamente acácias, e outras protegidas somente por plantas herbáceas. A altura das margens varia entre os 2 m e 8,5 m, as margens com maior situam-se onde não existe patamar de cheia, e onde o canal do escoamento é demarcado pela duna.

Esta zona foi já sujeita a obras com vista à mitigação da erosão em meados da década de 90, na sequência da rotura da duna e assoreamento de parte do canal de escoamento devido ao arrastamento de material da duna por parte da agitação marítima. Nas figuras 5.1a e 5.1b, é também visível uma derivação do meandro, esta derivação foi construída com o intuito de para os caudais de cheia constituir um caminho alternativo para a água. Esperava-se assim que o caudal na zona de curva fosse reduzido tal como os feitos da erosão no extradorso do meandro. Aquando a visita ao local, numa altura de transição entre a preia-mar e a baixa-mar pode-se comprovar o efeito que este canal suplementar tem no escoamento. Constitui efectivamente uma alternativa para o escoamento, no entanto registam-se velocidades elevadas na transição do canal principal para a derivação, isto pode ser provado pela existência de seixos de grandes dimensões, entre 10 a 15 cm, nessa zona. As elevadas velocidades arrastam os materiais para o canal de derivação promovendo o assoreamento do mesmo e reduzindo a sua eficiência.

Os problemas de erosão foram agravados pelas cheias do último Inverno na parte ribeirinha e nas dunas pelos diversos temporais que assolaram esta zona do País, tendo-se assistido a uma regressão significativa nos dois casos. Assim se nada for feito para reverter estes processos erosivos, poderá assistir-se novamente a uma situação semelhante à ocorrida na década de 90, o que pode pôr em risco todo o ecossistema existente no sapal, que é uma área protegida de enorme valor ecológico.

5.3. TRECHOS DE ESTUDO

Neste troço do rio Âncora a magnitude, gravidade e tipo de erosão das margens têm variações importantes, devido às diferentes características que a margem esquerda apresenta ao nível do material da margem, da vegetação e da altura.

O objectivo do estudo passa pela determinação da taxa de erosão nesse mesmo troço recorrendo ao método BANCS. Como foi referido no Capítulo 3, este método utiliza vários parâmetros determinados com base nas características da margem tendo em vista a determinação da taxa de erosão. As características da margem que o método BANCS utiliza são as mesmas que apresentam uma grande variação ao longo do troço, logo a divisão em trechos, permite que a aplicação do método BANCS e determinação da taxa de erosão seja mais facilitada.

A principal vantagem desta divisão, é permitir que as características de um dado trecho sejam analisadas de forma independente, das dos restantes trechos. Por exemplo, o método atribui classificações diferentes consoante a disposição e tipo de material na margem, como temos trechos com material granular e outros com material argiloso disposto em camadas, a compatibilização das duas características das margens no método BANCS seria complicado, correndo-se o risco de ao fazer a ponderação destas características estar-se a adulterar as características reais do trecho, o que pode levar a erros na determinação da taxa de erosão. Este raciocínio é também válido para a cobertura vegetal e a altura da margem.

Tendo por base estes pressupostos, foram considerados cinco trechos de estudo distintos numerados de 1 a 5 de jusante para montante, cujos limites estão representados pelas linhas a laranja, figura 5.2. A definição de cada trecho procura demarcar uma área onde um determinado conjunto de características é dominante, de modo, a cada trecho passe a ser tratado de forma isolada dos restantes, perspectivando que os meios de análise, de tratamento dos dados e a implementação de soluções de controlo da erosão sejam enquadradas com as especificidades de cada trecho.

As linhas a azul assinalam os locais onde foram realizados os levantamentos dos perfis transversais; a laranja estão também indicados o desenvolvimento de cada um dos trechos considerados medido ao longo da margem do rio.



Figura 5.2 - Delimitação dos trechos de estudo na secção de rio analisada no rio Âncora.

5.3.1. TRECHO 1

O trecho 1 é o mais próximo da foz, compreende a parte de curva do final do meandro e uma parte recta já final de transição para o meandro seguinte, tendo uma extensão de aproximadamente 40 m. O canal do rio é delimitado pela duna e a margem esquerda apresenta sinais graves de erosão.

5.3.1.1. Composição e Disposição do Material

A margem esquerda é constituída por material granular, areia, tendo uma disposição e tamanho muito homogéneos. O grau de consolidação do material é moderado, tendo sido consolidado devido ao peso do material das camadas superiores e à acção das pressões neutras.



Figura 5.3 - Rio Âncora: composição e disposição do material da margem esquerda do trecho 1.

A uniformidade no tamanho e a consolidação natural do material conferem-lhe poucos espaços vazios entre as partículas, no entanto, e embora o grau de imbricamento seja elevado, as partículas são facilmente removíveis, tanto por acção do peso próprio, ocorrendo escorregamentos frequentes, quer pela acção do vento.

5.3.1.2. Geometria

A geometria do talude da margem do extradorso do meandro é marcada por uma elevada verticalidade e altura. O ângulo com a horizontal é superior a 90º, essencialmente nas camadas superiores do talude, diminuindo com a proximidade ao pé do talude. A verticalidade do talude deve-se à presença de uma elevada densidade de raízes nas camadas superiores, porém, à medida que a profundidade aumenta a densidade de raízes diminui, assim como o ângulo que o talude faz com a horizontal.

Na margem esquerda o canal é delimitado pela duna, o que conduz a uma altura da margem elevada, cerca 6,5 m.

5.3.1.3. Vegetação

O revestimento vegetal do talude da margem esquerda está dividida em zonas. A zona superficial, que inclui o topo da margem é revestida por acácias, a zona intermédia é caracterizada por um revestimento vegetal não contínuo, sendo que, na área mais próxima do trecho 2 existem acácias e plantas herbáceas a revestir o talude e a base deste, enquanto que na restante área não existe qualquer

tipo de vegetação. Junto à base, existe uma acumulação de detritos trazidos pelo escoamento, nomeadamente, de troncos e ramos, havendo alguns que provêm do topo do talude.



a) b)

Figura 5.4 -Rio Âncora margem esquerda do trecho 1, a) Pormenor da densidade de raízes nas camadas superiores, sendo evidente a diferença entre os ângulos do talude nas camadas com e sem raízes b) Acumulação de detritos junto à base do talude.

Nas camadas superficiais a densidade de raízes e o ângulo do talude são elevados, nas camadas mais profundas a densidade de raízes e ângulos são mais baixos. É assim possível verificar que as raízes têm um papel fundamental ao nível da inclinação do talude da margem esquerda no trecho 1.

A presença de vegetação no talude ajuda também a protegê-lo contra a erosão, verificando-se que na zona intermédia do talude, onde a vegetação está presente, existem poucos sinais de instabilidade, contudo, junto ao pé do talude onde a vegetação é mais esparsa ou mesmo inexistente existem indícios de erosão. A zona da base do talude coberta com detritos manifesta igualmente sinais graves de erosão, a julgar pelo porte e disposição de alguns troncos e ramos aí presentes, pode-se afirmar que algumas dessas árvores são provenientes do topo do talude. A presença de algumas folhas ainda verdes e de ramos ainda vivos parece apoiar esta conclusão, o que significa que a erosão é recente e ocorreu durante o início de 2010.

5.3.1.4. Mecanismos de Instabilidade

Os mecanismos de instabilidade presentes, na margem esquerda, derivam da remoção do material junto ao pé do talude, sendo agravados pela presença de obstruções ao escoamento. Embora se possa pensar que a presença de ramos e detritos protegem a base do talude contra a erosão, devido à diminuição da velocidade do escoamento, essa assumpção não é correcta. Aliás e tal como foi explicado no Capítulo 4, a presença de obstruções ao escoamento provoca uma aumento localizado da velocidade, originando correntes erosivas de grande magnitude que agravando a erosão.

5.3.1.5. Mecanismos de Rotura

A rotura do material da margem ocorre quando, por acção do escoamento o material da base do talude é erodida, e o material das camadas superiores adjacentes não tem capacidade para suster o seu peso próprio. Este tipo de rotura é caracterizada por não possuir uma superfície de rotura definida, nem um padrão característico.

A rotura do material deve-se também à variação dos níveis de água no canal devido à ocorrência dos ciclos de maré. A subida do nível da água na preia-mar satura o material da margem; quando o nível desce as pressões nos poros do material deixam de ser equilibradas pelas forças hidrostáticas no canal, havendo a formação de um gradiente de pressões. Devido à uniformidade de tamanho do material este gradiente gera um fluxo de água que arrasta as partículas, criando vazios na estrutura do material e promovendo a instabilidade e consequente queda do material da margem.

5.3.1.6. Leito do Canal

O leito do canal na secção é caracterizado pela existência de barras e de fundões. As barras situam-se no intradorso do meandro e os fundões no extradorso junto à margem O canal apresenta também uma bifurcação no início do trecho devido à existência de um conjunto de pequenas ilhas que se formaram no canal.

Esta bifurcação reduz consideravelmente a secção do escoamento, tendo o escoamento tendência a fluir pela abertura situada mais próxima ao extradorso. Isto ao criar velocidades maiores junto à margem contribui também para a formação de um fundão profundo presente ao longo de todo o trecho e com uma rápida variação na inclinação longitudinal.



Figura 5.5 - Rio Âncora: vista de montante do canal do rio no trecho 1.

O material não está distribuído de forma uniforme no leito variando essencialmente no plano transversal do canal. O material do leito alterna entre areia fina e gravilha média na área junto à margem esquerda, e areia grosseira com uma camada superficial de gravilha na restante área do leito.

A granulometria do material do leito é também influenciada pela presença das pequenas ilhas, que funcionando com obstáculos ao escoamento formam correntes secundárias. Nas áreas afectadas por essas correntes o material é mais grosseiro sendo constituído por gravilha e seixos, visto que o material mais fino e mais leve é arrastado.

Não existe qualquer tipo de vegetação aquática no canal, existem contudo detritos, principalmente troncos de grandes dimensões especialmente na bifurcação do intradorso do meandro.

5.3.2. TRECHO 2

Este trecho com uma extensão de quase 100 m, é o que possui a margem com maior altura, devido à delimitação do canal de escoamento ser feita unicamente pela duna. A cobertura vegetal do talude é escassa existindo uma grande área sem qualquer tipo de vegetação.

5.3.2.1. Composição e Disposição do Material

O material da margem esquerda é semelhante ao presente na margem do trecho 1, possuindo a mesma granulometria e homogeneidade ao longo de todo o talude.

5.3.2.2. Geometria

A margem esquerda tem uma altura de cerca de 8,5 m coincidindo com a altura da duna presente na zona de estudo.

O talude da margem tem um ângulo próximo do ângulo de repouso da areia (cerca de 40º) na zona onde não existe revestimento vegetal de qualquer espécie. Na base do talude a inclinação é mais suave.



Figura 5.6 - Rio Âncora: Aspecto e deposição do material da margem do trecho 2.

5.3.2.3. Vegetação

A cobertura vegetal do talude da margem esquerda está somente presente no topo e nas zonas de transição para os trechos seguintes. Devido a esta disposição irregular da vegetação, a zona central do talude não possui uma cobertura vegetal relevante que contribua para uma protecção efectiva conta as acções do escoamento.



Figura 5.7 - Rio Âncora: Cobertura vegetal presente no talude da margem esquerda do trecho 2.

5.3.2.4. Mecanismos de Instabilidade

Os mecanismos de instabilidade presentes na margem esquerda do trecho 2, provocam não só a instabilidade do material da margem mas também a sua rotura. A ocorrência destes dois mecanismos em simultâneo advém das características do material do talude e da falta de cobertura vegetal.

A remoção do material junto ao pé do talude pela acção do escoamento e a dissipação do excesso de pressão neutra durante os períodos de maré baixa são os principais factores que causam a instabilidade e rotura do material da margem. A dissipação do excesso de pressão neutra provoca o arrastamento do material, verificando-se o fenómeno da erosão, figura 4.8.

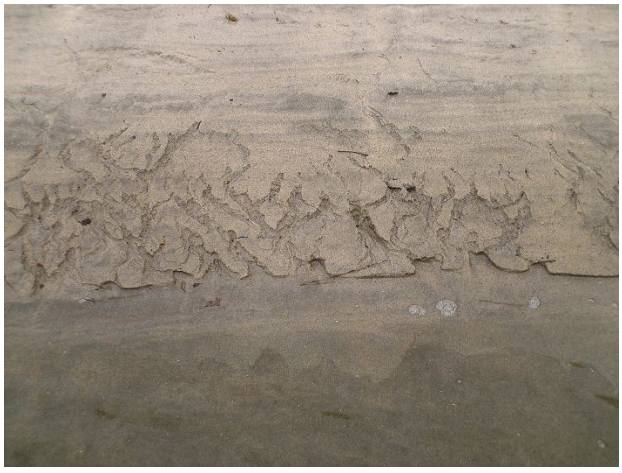


Figura 5.8 - Erosão interna do material da margem esquerda do trecho 2 do rio Âncora, resultante da dissipação do excesso de pressão neutra.

A inexistência de cobertura vegetal do talude na zona central do trecho capaz de reforçar a estrutura do material, aliada à fraca consolidação que o material possui e à existência de erosão interna conduz a uma remoção constante do material da base do talude. A remoção do material da base conduz a um aumento do ângulo do talude nessa zona, como o material é muito solto e como não existe vegetação capaz de o fixar, o material das camadas superiores tende a reorganizar-se de modo a manter o ângulo inicial. Esta reorganização do material dá-se através de pequenos deslocamentos, havendo um influxo

constante de material junto da base. Assim, embora a margem aparente ter sempre a mesma forma, a erosão da margem está na mesma presente, apenas não são visíveis os seus efeitos.

5.3.2.6. Leito do Canal

O canal apresenta um perfil transversal e longitudinal bastante homogéneo, sendo bastante largo, não apresentando fundões nem barras e tendo uma profundidade baixa, cerca de 60 cm junto ao pé do talude.

A vegetação no canal é inexistente, no entanto o leito contem alguns detritos, existindo alguns troncos e ramos junto à margem.

O material do leito é muito uniforme sendo composto por uma camada superficial de gravilha e uma camada inferior de areia grosseira, junto ao talude da margem o material tem uma maior composição de areia fina, igual à presente no talude da margem, essencialmente devido ao arrastamento de material da margem para o leito pelos fenómenos erosivos.

5.3.3. TRECHO 3

O trecho 3, com uma extensão de cerca 70 m, faz a divisão entre os trechos onde o material das margens é predominantemente areia e os trechos onde o material das margens é essencialmente material composto.

5.3.3.1. Composição e Disposição do Material

O material da margem é caracterizado por uma mistura de areias e seixos de vários tamanhos, de argilas e siltes e de matéria orgânica dispostas em várias camadas, apresentando uma boa consolidação. As camadas superficiais são compostas por uma mistura de argilas, siltes e de matéria orgânica, tendo uma espessura reduzida. As camadas mais profundas são compostas maioritariamente por uma mistura de seixos, areias, argilas e siltes. Devido a serem compostas por diferentes materiais as camadas são facilmente diferenciáveis, sendo normalmente mais espessas junto ao fundo.



Figura 5.9 - Rio Âncora: Composição e disposição do material da margem esquerda do trecho 3.

5.3.3.2. Geometria

A margem esquerda tem uma altura de cerca 2 m desde a base do talude até ao topo. O Talude da margem apresenta uma elevada verticalidade, com um ângulo próximo dos 90º.



Figura 5.10 - Rio Âncora: Geometria do talude da margem do trecho 3.

5.3.3.3. Vegetação

A cobertura vegetal presente neste trecho varia entre as acácias e as plantas herbáceas. As zonas mais próximas da margem são normalmente revestidas por plantas herbáceas, podendo ocasionalmente existirem acácias. Nas zonas mais afastadas da margem predominam as acácias.

Nas áreas mais próximas das margens onde existem acácias, e devido à margem uma altura moderada, as raízes penetram no material em profundidade protegendo-o das acções do escoamento .



Figura 5.11 - Rio Âncora: Revestimento vegetal da margem do trecho 3.

5.3.3.4. Mecanismos de Instabilidade

A instabilidade da margem resulta essencialmente da remoção do material da base do talude, sendo amplificada pela presença de estratificação do material da margem.

As diminuições da resistência do material da margem devido às variações no nível de água no canal também são importantes, uma vez que existe a saturação do material do talude nos períodos de maré cheia. Como já foi explicado no Capítulo 4, os ciclos de maré contribuem para a instabilização das margens devido ao gradiente de pressões que provocam nos poros do material. No entanto este fenómeno não parece ser muito condicionante para a estabilidade da margem, pois como altura desta é pequena e a densidade de raízes é elevada, a diminuição da resistência devido ao gradiente de pressões é compensada pela resistência fornecida pelas raízes.

O tipo e disposição da vegetação na margem também é um factor de instabilidade, nomeadamente, e como já foi referido no subcapítulo 5.3.3.3 os ramos das árvores encontram-se muitas vezes em contacto com o escoamento.

Na realidade, embora se possa pensar que, deste modo, a margem fica mais protegida das acções do escoamento, pelo facto de os ramos contribuem para a diminuição das velocidades junto ao talude, isto apenas é verdade para caudais baixos. Para caudais elevados, a obstrução criada pelos ramos à superfície aumenta a velocidade do escoamento em profundidade. Ora, sendo nas camadas mais profundas que a resistência do material é menor, se houver um aumento das acções erosivas ocorre também uma maior remoção de material da base.

Além disto, a presença dos ramos funciona como uma barreira para os detritos flutuantes arrastados pelo escoamento: esses detritos acumulam-se aumentando a obstrução do escoamento e a resistência ao mesmo; esse aumento de resistência aumenta a força transmitida do tronco da árvore para a margem. Como as árvores estão situadas próximas do limite da margem, as raízes vão provocar uma sobrecarga no solo, pelo que se o solo não tiver capacidade resistente suficiente, a árvore e uma grande porção de material da margem será arrastado para o canal



Figura 5.12 - Rio Âncora: Mecanismos de instabilidade do material da margem esquerda do trecho 3, sendo evidente a deposição junto à base do talude.

5.3.3.5. Mecanismos de Rotura

A remoção do material da base do talude conduz à formação de "consolas", correspondentes ao material das camadas superiores ficar suspenso, tal como foi mencionado no subcapítulo 4.1.2.1. A rotura e consequente queda do material só acontece quando a profundidade da consola, for tal, que a resistência do material é insuficiente para suportar o seu peso próprio.

A queda do material pode originar a deposição do material junto da base da margem, contribuindo de forma já descrita, para o aumento da resistência às acções do escoamento.



Figura 5.13 - Rio Âncora: Mecanismos de rotura do material da margem do trecho 3, notando-se o agravamento na zona que contem ramos de árvores em contacto com o escoamento.

5.3.3.6. Leito do Canal

O canal de escoamento apresenta fundões no extradorso do meandro junto à margem e barras no intradorso. Os fundões têm um profundidade de cerca 1,6 m, apresentam um grande desenvolvimento de um modo geral embora intermitente ao longo da margem e uma variação da inclinação longitudinal moderada.

A barra tem uma grande extensão no plano transversal e uma inclinação suave. Está coberta por uma espessa camada de matéria orgânica, constituída essencialmente por folhas. Sob essa camada encontra-se material granular grosseiro. A presença desta camada de matéria orgânica, e o facto de esta estar emersa, constituem a base ideal para a fixação de vegetação, aliás, imagens aéreas anteriores a esta cheia, (figuras 5.1a e 5.1b), demonstram que a barra nesse local se encontrava revestida por vegetação.

Com base nisto pode-se inferir que a barra funciona como uma zona fusível; para caudais moderados a vegetação reduz as velocidades do escoamento; para caudais elevados a vegetação é removida. Quando o caudal se reduz novamente e as velocidades são mais baixas há novamente a deposição de matéria orgânica e o ciclo iniciar-se-á de novo.

Relativamente ao material do leito este sofre alterações tanto no plano transversal como no longitudinal. No plano transversal, o material junto à barra é essencialmente areia grosseira com uma dimensão máxima de cerca 3 mm. No meio do canal existe essencialmente gravilha média na camada superficial e areia grosseira na camada imediatamente abaixo e alguns seixos de pequenas dimensões, tanto à superfície como em profundidade. O tamanho do material aumenta à medida que o extradorso do meandro se aproxima.

Junto ao pé do talude, e em virtude da acumulação do material das camadas superficiais, o material assemelha-se a um lodo com mistura de alguns pedaços de raízes e de vegetação. Longitudinalmente pode-se verificar que o material de montante tem uma granulometria superior ao do material de jusante. A vegetação ou as obstruções ao escoamento no leito do canal são inexistentes.

5.4.1. TRECHO 4

As características da margem esquerda são muito similares às presentes na margem esquerda do trecho 3, este trecho pode ser entendido como o prolongamento do anterior, sendo delimitada pelo patamar de

cheias no extradorso do meandro. A única diferença relevante entre os dois é ao nível do tipo de vegetação da margem. É a secção com maior desenvolvimento de toda a zona tendo cerca de 100 m.

5.4.1.1. Composição e Disposição do Material

O material da margem é semelhante ao presente no trecho 3, apresenta estratificação e é constituído por uma camada superficial de material argiloso com uma grande percentagem de matéria orgânica. As camadas inferiores são constituídas por material composto existindo algumas bolsas de material granular.



Figura 5.14 - Rio Âncora: Composição e disposição do material do trecho 4.

5.4.1.2. Geometria

A geometria da margem tem as mesmas características do trecho anterior.



Figura 5.15 - Rio Âncora: Geometria do talude da margem do trecho 4.

5.4.1.3. Vegetação

A vegetação é dominada pelas plantas herbáceas, que revestem grande parte do patamar de cheia e bordos do talude, existindo também acácias em algumas áreas. As acácias estão presentes junto à duna e nas extremidades do trecho, ou seja, nas regiões de delimitação, onde formam pequenos bosques. A

vegetação é a característica mais distinta do trecho, e foi o principal critério utilizado para na sua delimitação.





Figura 5.16 - Rio Âncora: Cobertura vegetal no talude da margem do trecho 4.

As plantas herbáceas têm uma elevada densidade de raízes, embora a profundidade de penetração no talude seja apenas de 20 a 25 cm. Esta elevada densidade de raízes dota o material da camada superficial com uma resistência e elasticidade acrescidas. A resistência é de tal maneira elevada que mesmo depois ocorrer a rotura do material, a camada superficial fica a proteger o talude da margem. A elasticidade permite ainda, à camada superficial, depois de erodidas as camadas inferiores, moldar-se e revestir o talude vertical desde a superfície até ao pé do talude. Esta camada protectora assemelha-se a uma tela e protege o pé do talude das acções do escoamento. Nas regiões onde esse tapete não está presente, a margem apresenta uma elevada erosão, levando mesmo à formação de reentrâncias na margem

Nas áreas onde existem as acácias, estas possuem uma disposição semelhantes às existentes no trecho 3, tendo os troncos próximos no bordo do talude e os ramos em contacto com o escoamento, verificando-se os mesmos tipos de problemas relatados para o trecho 3.

5.4.1.4. Mecanismos de Instabilidade

Os mecanismos de instabilidade são semelhantes aos existentes no trecho 3, verificando-se a remoção do material da base da margem. Estes mecanismos são amplificados nas zonas onde não existe protecção por parte da vegetação devido à presença de estratificação do material.



Figura 5.17 - Rio Âncora: Mecanismos de instabilidade do material da margem esquerda no trecho 4, sendo evidente a deposição de material junto ao pé do talude.

Neste trecho existem ainda grandes blocos de material, ainda com vegetação junto à margem. No local onde estes blocos se encontram depositados existe um agravamento da erosão das margens e do leito do canal. A erosão do leito do canal criou um fundão profundo que poderá por em risco a estabilidade da margem.

5.4.1.5. Mecanismos de Rotura

A rotura do material acontece quando as consolas originadas pela remoção do material da base entram em rotura.



Figura 5.18 - Rio Âncora: Mecanismos de rotura do material da margem do trecho 4.

5.4.1.6. Leito do Canal

O material do rio, e em concordância com o que tem vindo a ser referido para os outros trechos varia tanto transversalmente como longitudinalmente. Transversalmente aumenta de tamanho à medida que caminhamos para o extradorso do meandro, sendo constituído por uma camada superficial de gravilha média e de seixos pequenos, por debaixo da qual existe uma camada de areia grosseira. Longitudinalmente o material aumenta de tamanho de jusante para montante, sendo que na região mais a montante a barra do intradorso é formada por seixos de grande dimensão. O leito não possui vegetação nem obstáculos a criar obstruções ao escoamento.

5.5.1. TRECHO 5

Este trecho é o mais de montante da zona de estudo, está situado na transição entre a parte recta que antecede o início do meandro e a curva do meandro, e tem um desenvolvimento de aproximadamente 55 m.

5.5.1.1. Composição e Disposição do Material

O material que compõe a margem esquerda é uma mistura de material argiloso e siltoso com material granular e com seixos, apresentado estratificação e estando por isso disposto em camadas.



Figura 5.19 - Rio Âncora: Composição e disposição do material da margem do trecho 5.

As camadas têm uma espessura entre 40 a 50 cm junto à base do talude e diminuindo com a aproximação ao topo do talude. A variação entre o material de cada camada é brusca existindo camadas de material composto sucedidas por camadas de material granular, nomeadamente areias e seixos de tamanho médio.

Nas camadas superiores, e à semelhança do que se verifica nos outros trechos, o material tem uma grande percentagem de matéria orgânica e de argila e siltes.

5.5.1.2. Geometria

A geometria da margem esquerda desta zona é caracterizada por contrastes em relação ao ângulo e à altura da margem. A inclinação do talude da margem varia entre taludes verticais, e taludes com ângulos inferiores a 90º. A altura da margem varia entre os 2 e os 4 m.

Paralelo ao rio existe uma estrada em terra batida de acesso à praia e a um campo de futebol. A altura desta margem pode advir do aterro realizado aquando a construção da estrada, podendo ser a explicação para a súbita mudança de elevação da margem.

Na parte mais de jusante do trecho as margens apresentam uma altura e ângulo semelhantes aos trechos 3 e 4, no entanto, sensivelmente a meio do trecho, a margem tem uma altura de cerca de 4 m e um ângulo mais suave.

A margem esquerda da parte mais de montante do trecho 5 tem uma altura próxima dos 3 m e um ângulo inferior a 90º. Nesta zona existe aquilo que parece ser um patamar de cheias semelhante ao presente nos trechos 3 e 4. Este patamar pode ter a mesma origem do presentes nos trechos anteriores, ou pode ter sido consequência da construção da estrada de acesso à praia e que delimita o rio.

Uma vez que o material da margem é o mesmo ao longo de toda a extensão da zona estudada, a diferença nos ângulos das margem dos taludes deve-se à variação da altura da margem ao longo do desenvolvimento do trecho, o que por sua vez condicionam os modos de rotura e a disposição do material caído junto à base do talude.

O material das margens de maior altura ao romper, e visto que não sofre uma rotura planar e fica depositado junto ao pé do talude, a acção do escoamento e a natureza pouco consolidada do material ajudam a sua dispersão pelo escoamento.



Figura 5.20 - Rio Âncora: Geometria da margem do trecho 5.

5.5.1.3. Vegetação

Na região mais perto da transição para o trecho 4 a vegetação é dominada por acácias. No resto do trecho a vegetação que prevalece na margem são as plantas herbáceas.





Figura 5.21 - Rio Âncora: Cobertura vegetal do talude da margem do trecho 5.

As acácias situam-se na área que delimita o trecho 4 do trecho 5, têm portanto, as mesmas características, porte e disposição na margem das presentes naquela zona do meandro.

Nesse local existem ainda plantas aquáticas que colonizaram uma reentrância na margem, este é o único sitio em toda a zona onde existe vegetação deste tipo. Esta vegetação protege a margem das acções do escoamento, sem no entanto causar correntes erosivas que destabilizam a margem.

As plantas herbáceas na margem mais baixa protegem o talude da mesma forma do que no trecho 4, nas camadas mais elevadas, a protecção do talude está condicionada pela pequena penetração das raízes no talude.

5.5.1.4. Mecanismos de Instabilidade

Os mecanismos de instabilidade devem-se à remoção do material do pé do talude, que ocorre independentemente da altura da margem, e ao gradiente de pressões resultante da variação dos níveis de água no canal, na margem com a altura mais elevada.

A remoção do material da base da margem com menor altura provoca a formação das “consolas”, em contraste com as partes do trecho com maiores alturas, onde a remoção do material da base provoca a

instabilidade de todo o material adjacente. Caso exista um abaixamento do nível de água no canal, os excessos de pressão neutra diminuem as características mecânicas do material contribuindo para a instabilização do talude.

5.5.1.5. Mecanismos de Rotura

A rotura do material dá-se devido ao esgotamento da capacidade resistente do material. Na região que possui uma altura mais elevada a rotura dá-se ao longo de uma superfície curva ou com um raio de curvatura muito elevado originando uma rotura plana. O material do talude tende a escorregar ao longo da superfície de rotura á medida que o material da base do talude é erodido. A deposição do material que rompeu protege a margem e o talude da margem só é novamente erodido quando o material depositado for removido.



Figura 5.22 - Rio Âncora: Mecanismos de rotura e deposição do material junto ao pé do talude, na margem esquerda do trecho 5.

5.5.1.6. Leito do Canal

Este troço apresenta uma maior variação no tamanho do material do leito. Este varia entre seixos de grandes dimensões, cerca de 8 a 15 cm, na zona da margem direita do canal. Na zona central o tamanho diminui para uma mistura de gravilha com seixo de pequena dimensão, na zona próxima da margem esquerda o material é maioritariamente constituído por areia grosseira em profundidade, contendo alguma gravilha e seixos de pequena dimensão à superfície.

Na região do leito junto ao talude da margem esquerda o material disposto pelos mecanismos de rotura, é arrastado pelo escoamento formando uma camada lodosa.

Não existe vegetação nem obstáculos no leito, não havendo por isso perturbações ao escoamento.

5.6. DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEIVA

O rio Neiva situa-se no Litoral Norte de Portugal, tem uma extensão de cerca 46 km e nasce na Serra do Oural, a cerca de 721 m de altitude. Desagua no Oceano Atlântico, entre as povoações de Antas, situada na margem esquerda e pertencente ao concelho de Esposende, e de Castelo do Neiva situada, na margem direita e pertencente ao concelho de Viana do Castelo.

As inclinações nas zonas de montante são pouco acentuadas, diminuindo ainda gradualmente com a aproximação à foz. As inclinações suaves junto da zona estuarina permitiram a acumulação de materiais finos que formaram uma grande extensão de planície aluvial. Junto à foz o rio tem um trajecto praticamente paralelo ao mar, sendo a separação dos dois meios assegurada por um cordão dunar, na margem esquerda, e pela planície aluvionar na margem direita.

A bacia hidrográfica do rio Neiva tem uma área de 242 km^2, está delimitada a Norte pela bacia hidrográfica do rio Lima e a Sul pela bacia do rio Cávado, e tal como a bacia do rio Âncora, situada poucos quilómetros mais a Norte, está localizada na fachada Atlântica do Norte de Portugal, apresentando Invernos suaves e chuvosos e Verões moderados. A posição geográfica da bacia hidrográfica conduz a que tenha um clima húmido e com uma temperatura média anual de cerca 14,5 ºC.

A pluviosidade é elevada durante o Inverno e quase nula no Verão sendo influenciada pela proximidade ao oceano Atlântico, sendo a precipitação média ponderada na bacia de 1500 mm, um valor bastante superior à média registada em Portugal Continental. O escoamento médio anual é de cerca de $103x10^6$ m^3 e o caudal médio de 3,3 m^3/s.

A bacia do rio Neiva está inserida no maciço Hespérico da zona centro Ibérica que é geologicamente caracterizada pela existência de terrenos graníticos, onde é predominante o granito calco-alcalino, sendo a variedade mais abundante o granito porfiróide de grão grosseiro ou grão médio, e, por terrenos modernos, nomeadamente aluviões.

O rio Neiva corre num leito sinuoso, sendo a zona estuarina constituída por praias antigas ou areias de dunas limitadas por uma arriba fóssil. A Norte existe a bacia sedimentar de Alvarães onde se acumularam importante depósitos de areias e de argilas, e junto à foz, entre as localidades de Suzão e Castelo do Neiva existe um afloramento de xisto, que está presente à superfície nas margens e em algumas partes do canal de escoamento.

A bacia tem uma forma que se afasta da circular, com um índice de Gravellius igual a 1,55, denotando uma menor propensão para a ocorrência de cheias do que a bacia do rio Âncora, DGRN (1990b).

Quanto ao uso do solo a bacia é ocupada por três actividades fundamentais, o uso agrícola, o uso da silvicultura e os terrenos incultos.

Os terrenos agrícolas são destinados essencialmente ao auto-consumo, realizando-se nas zonas mais de montante uma agricultura de regadio pelo que não mobiliza meios mecânicos pesados, junto à foz, e devido à existência de inclinações mais suaves, verifica-se um acréscimo das culturas hortícolas e utilização de meios mecânicos mais pesados.

As actividades florestais estão voltadas para o cultivo de pinheiro manso e bravo e o cultivo intensivo de eucaliptos, essencialmente para a indústria da pasta de papel. Este tipo de actividades, ocupa as zonas com inclinações intermédias estando disposta em socalcos anteriormente ocupados por actividades agrícolas.

Os terrenos incultos representam a percentagem mais baixa do uso do solo e estão essencialmente concentrados nos locais de maior inclinação.

As actividades económicas presentes na bacia as actividades que têm maior expressão são os serviços, nomeadamente o turismo, sobretudo de veraneio, e a indústria, situados fundamentalmente junto ao litoral; a agricultura tem pouco peso e destina-se ao auto-consumo.

A distribuição da população na bacia hidrográfica é muito semelhante à distribuição que se verifica na região do Minho, encontrando-se dispersa, com baixo grau de urbanização e com tendência para a

aglomeração em povoações de média dimensão. À semelhança do que se verifica na bacia hidrográfica do rio Âncora, a população, está concentrada junto ao litoral.

5.7. ZONA DE ESTUDO

A zona de estudo está situada no estuário do rio Neiva, mais concretamente entre clube fluvial e um caminho de acesso à foz, figura 5.23 a) e. Este troço do rio tem uma baixa sinuosidade e é precedido por uma curva de pequeno raio e sucedido por uma curva de grande desenvolvimento, esta curva permite ao rio mudar da orientação Este-Oeste para a orientação Sul-Norte, seguindo paralelo à praia por mais umas centenas de metros para depois ir desaguar ao mar. Este percurso paralelo à praia só é possível porque existe um importante e robusto cordão de dunas.



a)



b)

Figura 5.23 - a) Zona esturarina do rio Neiva; b) Pormenor do troço estudado. (GoogleEarth)

A visita de reconhecimento foi feita entre o açude junto à capela de Santa Tecla, a montante, e a foz do rio. A realização desta visita serviu para avaliar o estado real da erosão das margens e para avaliar as características do rio, tais como a profundidade da água, a localização do talvegue, o tipo de material do leito, a cobertura vegetal das margens, o material e a geometria das margens e também para fazer uma delimitação preliminar dos trechos que seriam estudados.

A profundidade média da água no rio situa-se nos 50 cm dependendo da altura do dia, devido à acção das marés, existem contudo locais onde a profundidade é superior a 1,7 m. O talvegue está situado junto à margem, sendo a zona central do canal a zona menos profunda.

Na zona de montante o canal constante de escoamento do rio tem algumas ilhas permanentemente emersas e revestidas por vegetação, no troço recto da zona existem barras perenes, ou seja, só estão emersas no Verão quando o caudal é pequeno ou quando ocorrem as marés baixas

Relativamente ao material do leito, pode constatar-se que, genericamente, a correspondente granulometria diminui de tamanho de montante para jusante, sendo maioritariamente composto por areia grosseira em profundidade, enquanto que à superfície o material varia entre gravilha média, contendo alguns seixos, ou somente areia. É de notar a presença de vários afloramentos rochosos no leito, na zona mais perto da foz; estes afloramentos são uma continuação do afloramento presente na praia. A presença destes afloramentos cria correntes secundárias que causam erosão do leito. Estes afloramentos também estão presentes nas margens, promovendo a protecção contra a erosão mas provocando correntes erosivas que removem o material do leito.

A cobertura vegetal das margens é abundante tanto na camada superficial como no talude, podendo ser constituída tanto por plantas herbáceas, de várias espécies, como por árvores de grande porte. A vegetação ripícola também é abundante nas margens, e apresenta grande vigor e altura cobrindo uma grande extensão do troço. Porém, a faixa de vegetação ripícola junto às margens varia consideravelmente, podendo ser de apenas algumas dezenas de centímetros ou de alguns metros. Esta vegetação ocupa geralmente a zona das barras ou locais onde a velocidade da água é reduzida, a elevada densidade de vegetação e a elevada carga de sedimentos finos transportado pelo rio provocam a acumulação de material argiloso por entre a vegetação, o que contribui para a fixação de material e o avanço da vegetação ripícola para novos locais.

A geometria e o material das margens são praticamente constantes ao longo de toda a zona percorrida: as margens apresentam uma altura média entre 2 e 2,5 m, e apresentam ângulos elevados, próximos dos 90º, ocorrendo frequentemente locais com inclinações superiores a esses valores. O material das margens é composto por uma elevada percentagem de argila e silte, sendo a camada superficial composta por material composto.

O topo das margens constitui, transversalmente o início da planície de cheias, que está presente ao longo de toda a zona e onde o canal corrente de escoamento do rio tem aproximadamente uma forma rectangular. A planície de cheias é muito extensa e está inserida num vale muito largo, notando-se a influência na margem da proximidade à duna costeira.

Na zona de montante e numa parte junto ao bar de Frieiro-Alto, o canal do rio encontra-se limitado por muros de alvenaria de tijolo e de pedra, que não são fáceis de visualizar especialmente na zona mais a montante, devido à existência de uma densa cobertura vegetal. Embora a realização destes muros tivesse como objectivo orientar o escoamento e evitar a erosão das margens e a perda dos terrenos que ladeiam o rio, este objectivo só foi em parte atingindo, pois nos locais onde se protegeram as duas margens, essencialmente junto ao açude, ouve acumulação de grandes quantidades de sedimentos formando barras embora, como as duas margens estavam protegidas, o canal se tenha mantido estável.

Junto ao bar de Frieiro-Alto, onde apenas foi protegida a margem esquerda, ocorreu a acumulação de uma grande quantidade de sedimentos e a formação de uma barra; entretanto terá ocorrido também a migração do canal do rio para a margem direita e o aumento da erosão dessa margem.

5.8. TRECHOS DE ESTUDO

As características da zona analisada do rio Neiva são bastante homogéneas não havendo um contraste muito acentuado entre áreas, ao contrário do que acontece no rio Âncora. A delimitação dos trechos de estudo nestes termos torna-se difícil. Um dos critérios utilizados foi a não inclusão de áreas onde tenha havido intervenção em qualquer das margens, nomeadamente ao nível da construção de muros de alvenaria, uma vez que não se poderiam tirar conclusões fidedignas do estudo, salientando que o objectivo principal do estudo era determinar a taxa de erosão das margens.

Este critério exclui automaticamente o troço de rio entre o açude da capela de Santa Tecla e a primeira curva e o troço entre o bar de Frieiro-Alto e o início do caminho que dá acesso à foz. Entretanto, junto ao clube fluvial existe uma pequena extensão da margem esquerda, com cerca de 10 m, que se encontra protegida, como esta extensão é muito pequena quando comparada com a extensão total do troço, este critério não foi considerado.

No troço de rio entre o clube fluvial e a capela de Santa Tecla não foi considerado nenhum trecho. Esse troço do rio tem uma elevada profundidade e a área útil do escoamento é relativamente pequena, o que conduz a velocidades elevadas do escoamento. Face a isto e por razões de segurança de trabalho, optou-se por não considerar nenhuma secção nesse troço.

Tendo por base o referido foram considerados três trechos: o primeiro trecho abrange a zona o caminho de acesso à foz, o trecho 2 tem início junto ao bar de Frieiro-Alto e abrange metade do troço recto e o trecho 3 compreende a restante parte do troço recto e termina junto ao clube fluvial, figura 5.24.



Figura 5.24 - Rio Neiva: Identificação das zonas consideradas.

5.8.1. TRECHO 1

O trecho 1 é o que situa mais próximo da foz, tem uma extensão de 122 m, e já se encontra no troço do rio com a orientação Sul-Norte, na margem esquerda existe uma estrada que serve de acesso à foz do rio e a cerca de 20 m encontram-se as dunas, na margem direita a planície de cheias é ocupada por actividades agrícolas. A margem esquerda apresenta alguns sinais de erosão foi e por isso analisada.

5.8.1.1. Composição e Disposição do Material

O material da margem esquerda nas camadas superficiais é essencialmente terra vegetal, as camadas mais profundas são compostas unicamente por argilas e siltes. A transição entre o pé do talude e o leito do rio, material granular fino, é feita de forma brusca. O material da margem apresenta uma composição homogénea sem a presença de estratificação, excepto na transição da camada superficial.

5.8.1.2. Geometria

O talude da margem esquerda apresenta um ângulo quase vertical, cerca de 85º, e uma altura moderada, cerca de 2,3 m.



Figura 5.25 - Rio Neiva: Geometria da margem esquerda do trecho 1.

5.8.1.3. Vegetação

A vegetação presente neste trecho pode ser de dois tipos, herbácea e ripícola. Os dois tipos coexistem no mesmo trecho, e encontram-se em ambas as margens, embora a vegetação ripícola tenha uma maior prevalência junto à base do talude na margem direita.

A margem esquerda está revestida por plantas herbáceas e por chorões-da-praia no topo e a meio do talude; junto à zona da água predominam as plantas ripícolas dispostas em tufos. A vegetação ripícola em tufos não contribui para um reforço do material da margem tão eficaz como a vegetação herbácea, porém protegem o material da base devido à redução da velocidade do escoamento. A disposição da vegetação em tufos cria obstáculos ao escoamento devido ao espaçamento entre os tufos. O escoamento ao encontrar esses obstáculos origina correntes erosivas que levam ao aumento localizado da velocidade, contribuindo para o aumento da erosão do material da margem.



Figura 5.26 - Rio Neiva: Diferentes tipos de vegetação presentes na margem esquerda do trecho 1.

5.8.1.4. Mecanismos de Instabilidade

Os mecanismos de instabilidade estão relacionados com a remoção do material da base do talude e a perda de resistência do material da margem. A remoção do material nesta zona do talude deve-se ao fraco revestimento vegetal da base do talude e à existência de correntes secundárias, devido à presença do tufos de vegetação ripícola, que aumentam localmente a velocidade do escoamento. A remoção do material da base origina a formação de "consolas" de material.



Figura 5.27 - Rio Neiva: Mecanismo de instabilidade na margem esquerda do trecho 1.

A perda de resistência do material deve-se à dissecação, ou seja à perda da água. O material tem uma grande percentagem de argila e de siltes, que é caracterizado por uma elevada percentagem de água na sua composição, sendo que a resistência do material argiloso advém das reacções de atracção entre as partículas de argila e as moléculas de água. Nos meses mais secos a água evapora-se, o material inicia a consolidação formando-se as fendas de dissecação, quando no Inverno seguinte surgirem as primeiras cheias, devido à existência das fendas e da baixa resistência do material, este é facilmente removido pela acção do escoamento.

5.8.1.5. Mecanismos de Rotura

A rotura do material da margem ocorre quando o material por cima das "consolas" é incapaz de suportar o seu peso, a rotura de material também ocorre devido à dissecação.

5.8.1.6. Leito do Canal

O material do leito do canal é maioritariamente areia grosseira. A camada superficial pode, por vezes, conter gravilha média, diminuindo de tamanho de montante para jusante. O canal apresenta um fundão junto à margem esquerda ao longo de todo o trecho, uma vez que se situa numa zona de início de transição de recta para curva.



Figura 5.28 - Rio Neiva: Afloramento rochoso junto da margem esquerda do trecho 1.

Junto à margem esquerda existem ainda afloramentos rochosos de xisto, que nesta secção são paralelos à margem. Estes afloramentos protegem a margem das acções do escoamento mas promovem a erosão do leito devido à formação de correntes secundárias erosivas. A vegetação aquática no canal de escoamento é inexistente, assim como troncos ou ramos de árvores.

5.8.2. TRECHO 2

Este trecho situa-se no troço recto do rio, entre o bar de Frieiro-Alto e o clube fluvial e tem 218,5 m de extensão. É um troço bastante uniforme tanto ao nível da vegetação, das características das margens e do material do leito. A margem esquerda apresenta sinais de erosão em algumas áreas, decidindo-se por isso proceder à sua análise.

5.8.2.1. Composição e Disposição do Material

O material da margem esquerda está disposto em camadas, apresentando estratificação. A camada superficial é constituída maioritariamente por terra vegetal. As restantes camadas são formadas por material argiloso e granular, sendo que nas camadas mais profundas predomina o material granular, figura 5.29.

5.8.2.2. Geometria

A geometria das margens não sofre alterações significativas ao longo de todo o troço ao nível da altura do talude sendo a altura média das margens aproximadamente de 2 m, ao nível do ângulo do talude as variações são mais notórias embora as margens mantenham uma elevada verticalidade, variando entre os 85 e os 110º, figura 5.30.



Figura 5.29 - Rio Neiva: Composição e disposição do material na margem esquerda do trecho 2.

5.8.2.3. Vegetação

A vegetação presente na margem esquerda é constituída por vários tipos de vegetação. A vegetação do tipo herbácea cobre o topo da margem e todo o talude, existindo uma grande variedade de espécies evidenciando um grande vigor e elevada densidade de raízes. Nas zonas mais de montante do trecho existem ainda algumas árvores de grande porte.



Figura 5.30 - Rio Neiva: Cobertura vegetal e geometria da margem esquerda do trecho 2.

A vegetação ripícola está presente de forma intermitente ao longo da margem esquerda, havendo certas áreas que não possuem este tipo de vegetação, verificando-se que é nesses locais onde a margem apresenta sinais de erosão.

A disposição da vegetação ripícola junto à base do talude, constitui uma excelente protecção dessa zona, pois a elevada densidade de raízes que o material possui, confere-lhe uma resistência acrescida contra as acções do escoamento.

O talude da margem que se encontra por detrás dessa vegetação, tem inclinações elevadas, contudo, como está protegido pela vegetação da acção directa do escoamento apresenta uma elevada estabilidade.



Figura 5.31 - Rio Neiva: Local onde a vegetação ripícola deixa de proteger o talude da margem esquerda do trecho 2.

5.8.2.4. Mecanismos de Instabilidade

Os mecanismos que provocam a instabilidade do material da margem esquerda são a remoção do material da base do talude e a perda da resistência do material da margem devido à dissecação.

É de salientar que a remoção do material da base do talude só acontece nos locais onde não existe vegetação ripícola, visto que nos outros locais o pé do talude está protegido das acções do escoamento.

A dissecação também é influenciada pela vegetação ripícola, verificando-se que as áreas com maior incidência situam-se onde existe vegetação herbácea. Isto deve-se ao facto de nestes locais haver uma maior incidência dos raios solares e da evapotranspiração das plantas ser maior, conduzindo a uma maior perda de água por parte do material da margem; nos locais onde existe a vegetação ripícola, como esta vegetação é densa e tem uma altura elevada o material do talude está menos exposto aos raios solares, conseguindo ter um teor de água mais elevado, o que contribui para uma maior estabilidade da margem.

5.8.2.5. Mecanismos de Rotura

Os mecanismos de rotura presentes, neste trecho são similares aos presentes no trecho 1.



Figura 5.32 - Rio Neiva: Tipo de rotura presente na margem esquerda do trecho 2.

5.8.2.6. Leito do Canal

O leito do canal é formado por fundões de pequena profundidade, localizados junto às margens, especialmente na margem esquerda, e por barras, na zona central do canal, especialmente nos meses secos ou na baixa-mar.

O material do leito é constituído essencialmente por areia grosseira e por gravilha média podendo ocasionalmente encontrar-se seixos médios. O canal de escoamento não possui obstruções ao escoamento, a vegetação aquática é também inexistente.

5.8.3. TRECHO 3

O trecho 3 é o que se situa mais a montante, tem uma extensão de 343 m, abrangendo a zona do clube fluvial e sensivelmente metade do troço recto do rio, sendo antecedida por uma curva. A margem direita apresenta sinais de erosão, pelo que se procedeu à sua análise.

5.8.3.1. Composição e Disposição do Material

O material da margem direita está dividido em dois tipos: o material das camadas superficiais que é maioritariamente terra vegetal, e o material do pé do talude que é argiloso. Não existe estratificação, e o material é bastante homogéneo ao longo das duas camadas.



Figura 5.33 - Rio Neiva: Disposição e composição do material da margem direita do trecho 3.

5.8.3.2. Geometria

A altura das margens é de cerca 2,4 m, mantendo-se constante ao longo de todo o trecho, a margem é caracterizada por uma elevada verticalidade, variando o ângulo entre os 85 e os 120º.

5.8.3.3. Vegetação

A vegetação é semelhante à existente no trecho 2, figuras 5.34 e 5.35, sendo válido para este trecho tudo o que foi referido para o trecho 2.



Figura 5.34 - Rio Neiva: Geometria da margem direita do trecho 3.

5.8.3.4. Mecanismos de Instabilidade

Os mecanismos de instabilidade são iguais aos referidos nos outros trechos, nomeadamente a remoção do material junto ao pé do talude e formação de consolas e a dissecação do material da margem.



Figura 5.35 - Rio Neiva: Consolas junto à base do talude presentes na margem direita do trecho 3.

5.8.3.5. Mecanismos de Rotura

A rotura do material acontece quando a consola de terreno da margem não consegue suportar o peso das camadas superiores, e cai para o canal de escoamento, figura 5.36.

5.8.3.6. Leito do Canal

O material do leito do canal é essencialmente constituído por areia grosseira com gravilha média na camada superficial e com alguns seixos de dimensão média. O material não apresenta grande heterogeneidade ao longo do trecho.

Neste trecho o talvegue situa junto à margem, sendo aí onde se registam as maiores profundidades, a parte central do rio é a que possui menor profundidade, havendo locais que nos meses de menor caudal ficam expostos.

O canal não apresenta obstruções ao escoamento nem vegetação aquática.



Figura 5.36 - Rio Neiva: Mecanismo de rotura do material da margem direita do trecho 3.

6

DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE RECOLHA DE DADOS

6.1. ÂMBITO

A recolha de dados no rio tem como objectivos fornecer elementos para a caracterização do tipo de rio segundo o sistema de classificação de Rosgen, a determinação da taxa de erosão através do método BANCS e a realização da classificação modificada de Pfankuch, de modo a avaliar o grau de estabilidade lateral do rio. Foram também determinados os perfis verticais de velocidade em cada uma dos trechos.

Todos os elementos e parâmetros necessários foram recolhidos tentando obedecer o mais fielmente possível às formulações originais dos métodos ou classificações. Contudo, algumas dessas formulações requeriam elementos que ou não estavam disponíveis e não era possível obter em tempo útil, ou que, devido às limitações técnicas, nomeadamente de material, não era possível recriar.

Tentando embora ser o mais rigoroso possível nas medições, deve salientar-se que o ambiente ribeirinho apresenta certas particularidades, que aqueles que já realizaram trabalho de campo terão sentido, que são incontroláveis e que podem pôr em causa o rigor da recolha; nessas mesmas situações tentou-se sempre efectuar uma ponderação minuciosa entre os meios disponíveis e os objectivos pretendidos e arranjar soluções alternativas que satisfizessem os objectivos, por forma a contornar os problemas encontrados.

Entretanto, sempre que existiu a necessidade de utilizar soluções diferentes das enunciadas nos métodos, foi feita uma consulta a diversos relatórios e estudos, por forma a avaliar o procedimento adoptado nesses casos, e então, tendo por base os resultados obtidos e conclusões, optar pela utilização de uma solução similar ou realizar alguns ajustes. Nas situações em que isso aconteceu, procurou-se optar sempre pela opção mais sensata e aquela em maior conformidade com os meios disponíveis e adequada às condições presentes no rio em estudo.

A exposição da recolha dos dados será feita para cada um dos métodos, e nos casos onde haja diferenças de procedimentos será feita a devida exposição para cada rio; nos procedimentos repetidos dos métodos, apenas se procederá à exposição do 1º referido.

6.2. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RIOS NATURAIS DE ROSGEN

A caracterização do tipo de rio segundo o sistema de classificação de Rosgen, tal como foi explicado no Capítulo 3, requer a determinação de vários parâmetros, que, por sua vez exigem a recolha de vários dados *in-situ* do trecho a caracterizar. A recolha desses dados foi genericamente realizada da mesma forma em todos os trechos e nos dois rios e segundo os procedimentos enunciados por Rosgen (1996), USDA (1994) e USGS (2004), a que apenas foram aplicadas pequenas correcções devido a determinadas características do trecho ou rio a analisar.

6.2.1. LARGURA DO LEITO DOMINANTE

A definição de largura do leito dominante pode ser entendida como a largura do canal do rio que é ocupada pelo escoamento de um caudal com um período de retorno de 1,5 a 2 anos. Este caudal é designado caudal dominante ou modelador, por ser considerado, quer pela sua intensidade quer pela sua frequência de ocorrência, o caudal que mais contribui para a definição das características geomorfológicas de um rio.

Embora tenha uma definição simples e seja fácil de explicar na teoria, a determinação prática deste parâmetro *in-situ* é uma tarefa bastante complicada, uma vez que requer a identificação dos limites da secção transversal correspondente ao escoamento do caudal dominante, o que na prática, corresponde a definir o nível da água correspondente a esse escoamento, o que equivale a definir a respectiva largura do escoamento, W_{bkf}, designado largura do leito dominante.

A identificação do nível de água correspondente ao escoamento do caudal dominante, (nível do leito dominante), não é um processo fácil, requerendo séries longas de dados de medições de caudais em estações meteorológicas.

Uma maneira alternativa é identificar o nível do leito dominante em campo, o que pode ser feito recorrendo a três indicadores práticos: o nível da planície ou patamar de cheias, a forma da margem e as variações no tipo de vegetação que reveste a margem, USDA (1994).

Em canais naturais com baixas inclinações inseridos em planícies aluviais, o nível da planície de cheias coincide com o topo da margem mais baixa, situada entre o canal de escoamento e a própria planície de cheia, figura 6.1. Nesse tipo de rio o canal está organizado em patamares, tal como representado na figura 6.1, verificando-se que para caudais inferiores ao dominante o escoamento situa-se no canal de escoamento corrente; para caudais superiores inunda a planície de cheia.

A forma da margem pode também ser utilizada como indicador do nível do leito dominante caso exista uma súbita mudança na inclinação do talude da margem. A linha que separa as duas zonas do talude com diferentes inclinações pode ser interpretada como sendo o nível do leito dominante. Este indicador tem apenas aplicação em margens onde a cobertura vegetal não é muito densa.

O nível do leito dominante pode também ser identificado quando existe uma marcada distinção entre a vegetação que reveste a margem do rio. A zona abaixo do nível do leito dominante é geralmente caracterizada por uma ausência de vegetação terrestre ou pela existência de vegetação aquática, já a zona acima do nível do leito dominante é revestida por plantas herbáceas, arbustos ou mesmo árvores. Esta diferença na vegetação é suficiente para a identificação do nível do leito dominante, porém, a vegetação altera-se ao longo do tempo: para o caudal dominante a vegetação abaixo do nível do leito dominante é arrastada ou recoberta com detritos e portanto facilmente identificada, para caudais inferiores ao dominante, e visto que o caudal dominante tem um período de retorno entre 1,5 a 2 anos, pode-se formar na zona de transição um revestimento vegetal abundante, tornando a identificação do nível do leito dominante mais difícil ou praticamente impossível.

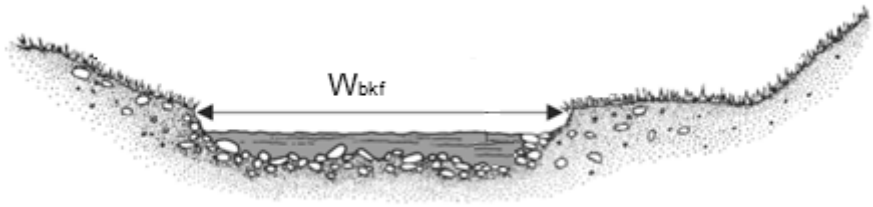


Figura 6.1 - Corte transversal de um troço de rio tipo, com identificação do W_{bkf} (adaptado de Rosgen 1994)).

6.2.1.1. Rio Âncora

No rio Âncora apenas foi utilizado o indicador do nível da planície de cheias para identificar o nível do leito dominante, porém o patamar de cheias está apenas presente nos trechos 3 e 4. Como as características do canal do rio, a largura e a inclinação, não apresentam variações significativas, assim como a topografia do intradorso do meandro ao longo de todo o troço analisado, é aceitável que o nível do leito dominante se situe sempre ao mesmo nível, ou seja, coincida em todo o troço com o nível do patamar de cheias.

Assim, nos trechos 4 e 3 colocou-se estacas de madeira nas margens e no canal, a largura do leito dominante foi medida através de um fio nivelado. Nos restantes trechos, a ausência do patamar de cheias ditou algumas alterações no procedimento. Nos trechos 1, 2 e 5, o procedimento utilizado envolveu a determinação da distância entre a superfície da água e o nível do leito dominante, que posteriormente foi utilizado para a determinação da largura do leito dominante recorrendo novamente às estacas de madeira.

6.2.1.2. Rio Neiva

No rio Neiva único indicador passível de ser utilizado foi, à semelhança do rio Âncora, o nível do patamar ou planície de cheias. Porém, a elevada altura das margens, originou a necessidade de dividir a medição em três fases. Com esta divisão do processo de medição em fases, pretendia-se reduzir os erros de medição e tornar o processo este processo mais cómodo

A primeira fase era realizada junto à margem que apresentava sinais de erosão, a segunda no meio do canal e a terceira fase junto à margem outra margem do rio.

Na primeira fase eram colocadas duas estacas, uma na margem com sinais de erosão e outra, com uma altura maior, no canal do escoamento, procedendo-se à medição da distância (A) entre as duas, figura 6.2 e 6.3. Na segunda fase era colocada uma estaca no meio do canal de escoamento do rio e outra junto à outra margem do rio, medindo-se a distância (B). Na terceira fase o procedimento utilizado é igual ao da primeira fase, só que realizado junto da margem que não apresenta sinais de erosão, procedendo-se à medição da distância (C).

A largura do leito dominante è determinado pela soma das distâncias A, B e C.



Figura 6.2 - 1ª fase da medição do leito dominante.

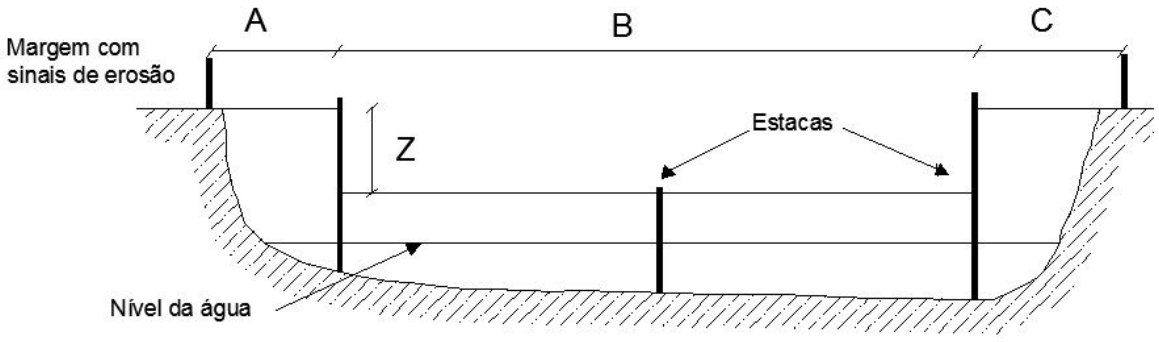


Figura 6.3 - Esquema representativo da medição por fases da largura do leito dominante.

6.2.2. ÁREA DA SECÇÃO DO LEITO DOMINANTE

A determinação da área da secção do leito dominante (A_{bkf}), só pode ser feita com base num perfil transversal da zona. O levantamento do perfil transversal terá que ser realizado no mesmo local utilizado para a determinação da largura do leito dominante.

A construção do perfil transversal consiste na medição, ao longo do leito do rio, da distância desde o fundo até ao nível do leito dominante. A distância mais utilizada entre duas medições foi de 1 m, contudo nas regiões do leito onde as características mudavam subitamente, nomeadamente junto às margens onde havia material depositado proveniente da rotura do talude, optou-se por realizar levantamentos com um espaçamento mais reduzido, quando as características do leito não mudavam significativamente a distância entre os levantamentos era maior, normalmente entre 1,5 a 2 m.

O procedimento adoptado consistiu em utilizar as mesmas estacas de madeira usadas na determinação da largura do leito dominante no rio Âncora. Porém, a medição das distâncias entre o fundo do rio e o nível do leito dominante, nos trechos do rio Neiva, devido à altura das margens, introduzia

frequentemente erros de medição. Assim, realizou-se uma modificação no procedimento. Mediu-se a distância (Z), figura 6.3, desde o topo do nível do leito dominante até um determinado ponto na estaca, e uniu-se um fio entre as duas estacas da margem, passando pela estaca no canal. Deste modo, a medição das distâncias era feita entre o nível delimitado pelo fio, a que era somado a distância Z, figura 6.4. Assim as medições eram realizadas de forma mais cómoda reduzindo-se ao mesmo tempo os erros de medição.



Figura 6.4 - Rio Neiva: Levantamento dos pontos para o perfil transversal.

A profundidade do leito do rio em cada ponto de medição foi efectuada com uma mira topográfica. A utilização de este equipamento nas medições deve-se à robustez do equipamento, à facilidade de consulta dos valores da profundidade, uma vez que esta utiliza um sistema de graduação muito simples, facilmente identificável e devido à sua facilidade de transporte e pouco atravancamento.

6.2.3. LARGURA DA ÁREA SUJEITA A INUNDAÇÕES

Segundo Rosgen, a largura da área sujeita a inundações (W_{fpa}), é a largura do canal do rio a uma altura duas vezes a profundidade máxima do canal em relação ao leito dominante, podendo também ser considerada a altura de água que é atingida no canal para um caudal com um período de retorno de aproximadamente 50 anos. Esta largura deveria ser determinada a partir de um perfil transversal de cada trecho. Contudo, devido às características topográficas dos vales dos dois rios, nomeadamente a inserção deste na extensa planície aluvial, que caracteriza a zona estuarina do rio Âncora e num vale muito largo no caso do rio Neiva, a realização do levantamento dos perfis transversais do rio tornar-se-ia um processo demorado, podendo atrasar todo o calendário de trabalhos, visto que a classificação do tipo de rio é uma tarefa fundamental para se atingir os objectivos do trabalho.

Como existiam cartas topográficas em Autocad das duas zonas de estudo decidiu-se utilizá-las na determinação deste parâmetro. Assim o trabalho é feito de forma mais rápida e com um rigor semelhante ao levantamento dos perfis transversais.

A profundidade máxima do canal pode se determinada através do perfil transversal. A partir da carta topográfica, podemos determinar a cota do patamar de cheias, figura 6.5.



Figura 6.5 - Rio Âncora: Determinação da largura da área sujeita a inundações através do Autocad.

Com esta cota, e sabendo a profundidade máxima do canal em cada trecho, podemos determinar a cota do nível da área sujeita a inundações (Z_{Wfpa}).

Tendo a fotografia aérea da secção com a delimitação dos trechos e com a marcação dos locais onde foram feitos os perfis transversais, podemos sobrepô-la com a carta topográfica, assim ficamos com um mapa topográfico onde são visíveis as cotas e curvas de nível, mas também a delimitação dos trechos.

O próximo passo é fazer coincidir uma linha com o local onde foi realizado cada perfil transversal e prolonga-la até esta intersectar a curva de nível com o valor de (Z_{Wfpa}). O método de determinação deste parâmetro foi determinado da mesma para os dois rios. As imagens que permitiram a determinação da largura da área sujeita a inundações são apresentadas no Anexo D.

6.2.4. SINUOSIDADE

A sinuosidade do meandro do rio pode ser determinada por dois métodos: medindo o comprimento do leito do rio e dividindo-o pelo comprimento do vale onde o rio está inserido; ou dividindo a inclinação do vale pela inclinação do rio.

O primeiro apenas requer uma fotografia aérea e a localização do ponto inicial e final dos troços de estudo, o segundo método requer um levantamento do perfil longitudinal do rio e do vale. Como os dois métodos são equivalentes, como não existe um perfil longitudinal dos rios, e visto que a fotografia aérea da zona é facilmente obtida, optou-se pela utilização do primeiro método.

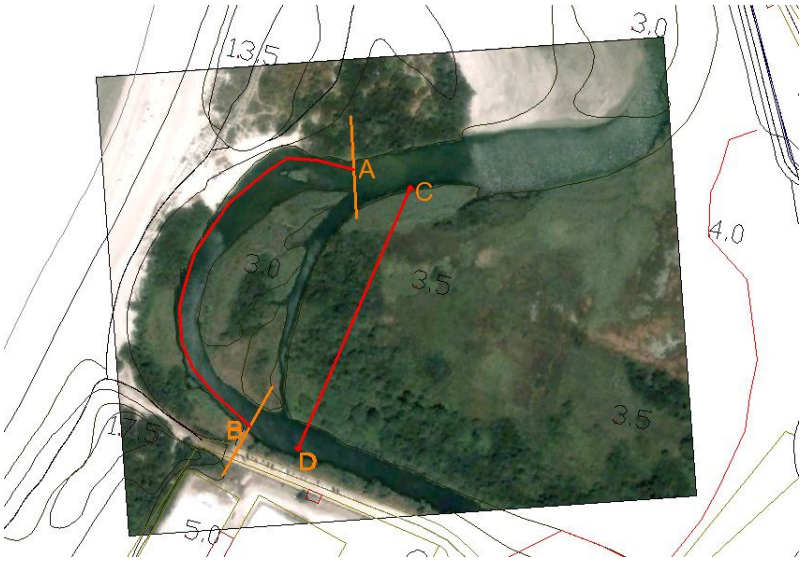


Figura 6.6 - Rio Âncora: Determinação da sinuosidade.

Na imagem aérea marcou-se no Autocad o início e o fim da zona de estudo, de seguida traçou-se uma *polyline* entre os dois pontos, figura 6.6, sendo que a *polyline*, no caso do rio Âncora foi traçada pelo talvegue do rio, no rio Neiva a *polyline* foi traçada pelo meio do canal. As imagens que permitiram a determinação da sinuosidade para os dois rios são apresentadas no Anexo D.

6.2.5. INCLINAÇÃO MÉDIA DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA

A inclinação da superfície da água pode ser determinada através de dois procedimentos: usando o perfil longitudinal do rio, ou através da determinação da inclinação do vale e da divisão desta inclinação pela sinuosidade do meandro. No primeiro procedimento é medida a diferença na elevação da água por unidade de comprimento, numa extensão de pelo menos 20 vezes a largura do canal ou de dois meandros. Embora os dois métodos sejam equivalentes, o rigor do primeiro procedimento é muito superior ao do segundo, Rosgen (1994), de maneira que o segundo procedimento só deve ser utilizado em classificações sumárias e preliminares.

Como já foi referido anteriormente não existe nenhum levantamento longitudinal disponível das zonas de estudo dos dois rios, nem era possível realizá-los num período de tempo aceitável, por isso o primeiro método foi automaticamente excluído. O segundo método também não é alternativa, pois Harmel *et al* (1999) e Eng *et al* (2004), quando utilizando este procedimento obtiveram resultados pouco precisos que conduziam a erros na obtenção da classificação do tipo de rio. Assim, foram consultados vários trabalhos onde a inclinação da superfície da água era determinada, mas todos eles utilizavam um dos procedimentos, descritos por Rosgen. Face a isto, optou-se por uma solução diferente, e determinou-se a inclinação da superfície da água recorrendo ao princípio dos vasos comunicantes.

Para a determinação da inclinação da superfície da água, foram cravadas duas estacas, com cerca de 1,5 m no leito sensivelmente a meio do canal. De seguida foi colocada uma mangueira entre as duas estacas, foi cheia com água, deixando-se o nível estabilizar. Na estaca mais a jusante existe uma diferença entre o nível da água do rio e o nível estático e nivelado dentro da mangueira. Medida essa diferença e a distância entre as estacas determina-se a inclinação da superfície da água.

Embora o esquema desta determinação seja muito simples, existem algumas falhas, nomeadamente na distância entre as duas estacas, que foi de aproximadamente metade da largura do leito dominante. Esta distância não é muito elevada, mas foi a máxima conseguida com os meios materiais disponíveis, e é aqui que podem residir as maiores críticas ao método utilizado. A determinação da inclinação da superfície da água foi realizada apenas uma vez, uma vez que o meandro não tem uma extensão elevada e que as características do canal se mantêm constantes.

6.2.6. Recolha de Amostras de Material do Leito do Canal

A recolha das amostras do material do leito implica a formulação de três componentes: a recolha de amostras propriamente dita, o local de recolha e a quantidade de material recolhido. Estes factores devem ser articulados entre si, com o tipo de rio e com o tipo de sedimentos presentes no leito, devendo permitir a recolha de amostras representativas do tipo de material presente no trecho.

A recolha de material tem como objectivo a determinação do D_{50} da amostra tendo por base uma curva granulométrica. A recolha de uma amostra individual apenas caracteriza o material do leito numa pequena porção de área do leito, sendo por isso necessários vários locais de recolha para que a caracterização seja a mais correcta possível. Para as amostras serem representativas do material do rio, devem ser recolhidas em vários locais da zona a caracterizar, em quantidade suficiente de modo a minimizar o desvio padrão e devem conter material das várias camadas em profundidade, figura 6.7.

Rosgen, na elaboração do seu sistema de classificação de rios naturais, apenas considera um método de recolha de amostras. Este método só pode ser utilizado em canais com leitos de seixos ou de calhaus, material com dimensão superior a 10 cm, e é designado por *Pebble Count* e desenvolvido por Wolman (1954). Ora como a classificação de Rosgen cobre todas as categorias de rios existentes e considera na sua formulação todo o tipo de material do leito, que varia desde siltes a calhaus, através da determinação do D_{50}, não se compreende porque apenas é mencionada esta metodologia de recolha de amostras.



Figura 6.7 - Amostra não remexida de material do fundo, evidenciando a estratificação do material.

O leito do rio Âncora e do rio Neiva nos respectivos trechos em estudo, e tal como foi mencionado na caracterização feita no Capítulo 5, é predominantemente formado por material solto, constituído por areia e gravilha média, apenas com a ocorrência ocasional de seixos.

A recolha de amostras deste tipo de material em condições submersas e onde se verifica a acção do escoamento é quase impossível, pois a acção do escoamento remove as partículas pequenas da estrutura da solo quando este é transportado do leito até à superfície; esse material não representa, assim, na totalidade as características do material do leito, conduzindo a uma determinação errada do D_{50}.

Deste modo, face à lacuna presente na formulação e aplicação do método de determinação do D_{50} da amostra, novas metodologias de recolha de amostras de material do leito do rio tiveram que ser pesquisadas tendo em conta as particularidades do material e dos trechos em estudo, Bunte e Abt (2001), Ramos (1996) e Kondolf *et al* (2005).

6.2.6.1. Dispositivo de Recolha de Amostras

Após alguma ponderação, o dispositivo que se mostrou mais promissor para a recolha das amostras, foi o amostrador de McNeil, McNeil e Ahnell (1964).

O amostrador de McNeil é constituído por um corpo cilíndrico com um diâmetro de cerca de 30 cm e com uma profundidade variável, que na extremidade, contem um tubo com cerca 10 cm de diâmetro e com 15 cm de comprimento que entra no corpo cilíndrico numa extensão de 5 cm, formando um corpo de retenção, figura 6.8.

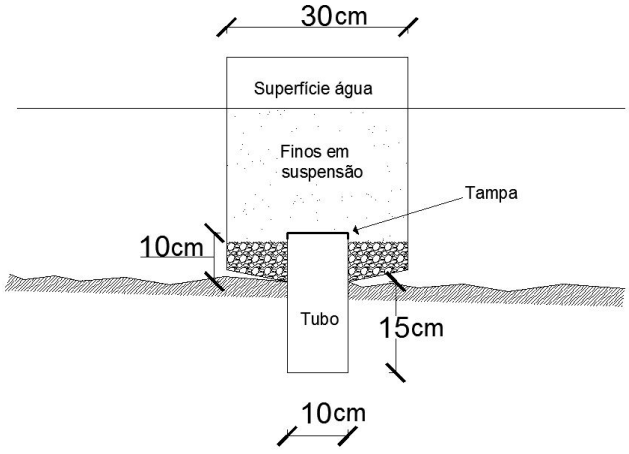


Figura 6.9 - Esquema do amostrador de McNeil (adaptado de McNeil e Ahnell (1964)).

Este dispositivo é ideal para a recolha de amostras de areia e de gravilha fina a média em profundidades pequenas, no máximo de 1 m de água, e onde existam velocidades moderadas do escoamento.

A recolha de amostras com o amostrador de McNeil inicia-se com a inserção do tubo da extremidade no leito até à profundidade máxima, de seguida o material dentro do tubo é escavado para dentro do corpo de retenção, sendo colocada uma tampa sobre a entrada do tubo da extremidade, o amostrador é retirado lentamente de dentro da água, de modo a não haver grandes perturbações do material presente no corpo de retenção quando o nível de água desce, deitando-se seguidamente o material para o dentro de um balde.

O amostrador de McNeil anula o efeito do escoamento na recolha das amostras, pois o seu corpo cilíndrico cria uma zona abrigada da acção do escoamento, não havendo assim a remoção das partículas mais pequenas pelo escoamento; o material fino, em suspensão devido à remoção do material do tubo fica retido na bacia de retenção e acaba por sedimentar. Como a entrada do tubo é tapada e o amostrador é retirado muito lentamente do leito, a perda de finos é mínima.



a) b)

Figura 6.10 - a) Recolha de amostras do leito do rio; b) Detalhe do material fino em suspensão dentro do corpo do amostrador.

O amostrador de McNeil utilizado na recolha das amostras teve que ser construído recorrendo a materiais correntes, devido à impossibilidade de se encontrar um amostrador de McNeil padrão atempadamente. Para a construção do amostrador utilizou-se uma bilha de plástico de 30 L com um diâmetro de 30 cm, com uma boca de cerca 10 cm e um segmento de tubo PVC com 10 cm de diâmetro e 30 de comprimento.

Retirou-se o fundo à bilha e introduzindo-se e adaptando-se o tubo de PVC à boca da bilha, posicionando por parafusos ao corpo da bilha; prendendo-o para impedir que os finos escapassem, foi utilizada a tampa da boca da bilha, que foi colocada sobre a extremidade interior do tubo de PVC quando se retirava o amostrador de dentro de água.

O amostrador McNeil provou ser indispensável na recolha de amostras mesmo nos locais com uma altura de água muito pequena.

6.2.6.2. Disposição Espacial dos Locais de Recolha de Amostras

Os locais de recolha das amostras para caracterização do material do leito, devem seguir uma determinada disposição espacial, pelo que deverá ser elaborado e seguido um esquema espacial de recolha.

O esquema de recolha escolhido para um determinado rio determina os locais onde as amostras devem ser recolhidas e deve ter em conta as características do canal, o grau de precisão ou o erro aceitável para a amostragem, o grau de homogeneidade do material do leito, o tipo de material de que é composto o leito do rio e a quantidade total de material recolhido, Bunte e Abt (2001).

Existem vários esquemas espaciais de recolha de amostras, e nenhum pode ser considerado superior aos outros. Assim, dependendo do utilizador, essencialmente devido à sua experiência, e do objectivo do trabalho, rios da mesma categoria podem ter esquemas de recolha de amostras diferentes.

Como este assunto não se enquadra no objectivo deste trabalho apenas se fará um breve descrição dos esquemas, de modo a enquadra-lo no contexto da recolha das amostras de sedimentos do leito do rio, e de alguma forma complementar a lacuna que o método de classificação de rios naturais de Rosgen evidencia. Assim, Bunte e Abt expõem três esquemas principais de recolha de amostras, cada um dos quais dividido em quatro categorias.

-O esquema espacialmente integrado que utiliza sempre o mesmo padrão de recolha para todo o troço e que não faz distinção entre os locais de recolha das amostras, ou seja, não distingue fundões, barras ou a parte central do canal;

-O esquema espacialmente segregado, que faz a distinção entre os locais de recolha no rio, e utiliza para cada local, fundões, barras ou parte central do canal, uma técnica de amostragem distinta. Por último;

-O esquema espacialmente localizado, que analisa apenas pequenos locais de interesse de recolha no rio, tal como as imediações de uma estrutura hidráulica ou os materiais mais finos num fundão.

Para cada um destes esquemas as amostras podem ser recolhidas através de 4 sub-esquemas de localização. Na figura 6.11, estão representados os 4 sub-esquemas para os esquemas espacialmente segregado e espacialmente segregado, o esquema espacialmente localizado como se destina à recolha de amostras em locais muito específicos não foi considerado. A recolha aleatória, onde as amostras são recolhidas de forma aleatória dentro da área a caracterizar; a recolha com recurso a uma grelha, em que se divide a área a caracterizar em células com uma determinada dimensão sendo as recolhas efectuadas nos vértices das células; a recolha com grelhas sobrepostas, onde a área de estudo é dividida através de duas grelhas com a mesma dimensão, sendo a recolha das amostras realizada para cada grelha como se tratasse de uma grelha separada; por fim, a recolha aleatória com grelha, onde as amostras são recolhidas aleatoriamente dentro de cada célula.

Assim, é possível verificar que para leitos de rios compostos por gravilhas e areias as recolhas de amostras podem ser feitas recorrendo a oito esquemas diferentes.

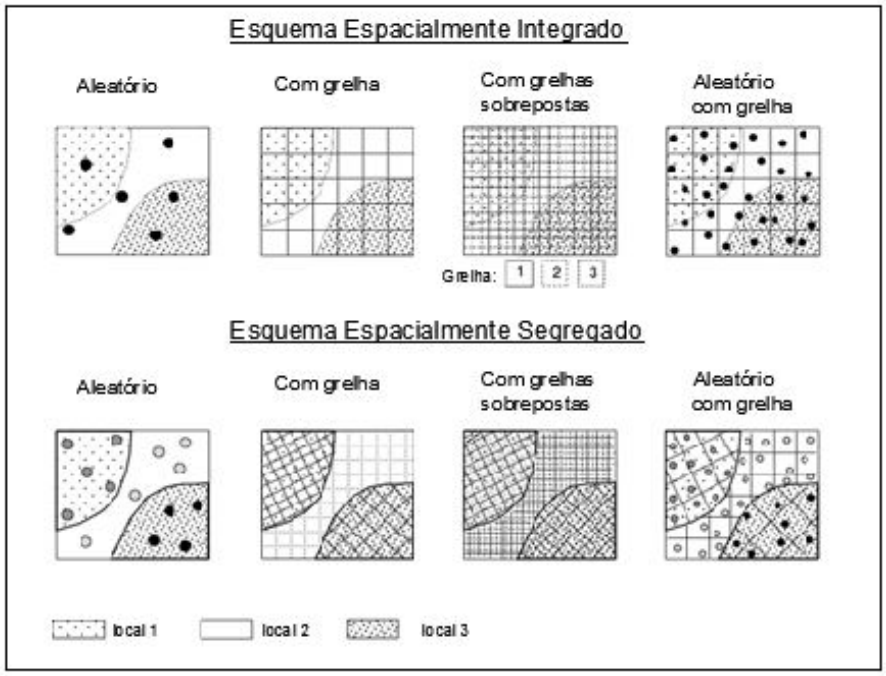


Figura 6.11 - Esquemas espaciais para a recolha de amostras (adaptado de Bunte e Abt (2001)).

6.2.6.3. Comprimento de Recolha das Amostras

A recolha de amostras de material do leito deve ser realizada ao longo de um comprimento suficiente, de modo a que as condições existentes de escoamento e deposição na zona sejam convenientemente caracterizadas. Rosgen não fornece indicações acerca do comprimento de rio onde devem ser feita a recolha das amostras; no entanto, Bunte e Abt (2001) sugerem que para rios do tipo B e C, segundo o sistema de classificação Rosgen, e para estudos locais, se deve adoptar um comprimento entre 5 a 7 vezes a largura do leito dominante, enquanto que para estudos mais gerais da zona se deve adoptar um comprimento entre 20 a 30 vezes a largura do leito dominante.

O percurso de recolha das amostras pode ser aleatório ou seguir uma determinada ordem, geralmente em *zig-zag*, sendo que ambas as hipóteses têm vantagens e desvantagens.

No percurso aleatório, a recolha do material é feita aleatoriamente em pontos escolhidos pelo utilizador, o que pode ter vantagens ou desvantagens: caso o utilizador tenha experiência, saberá distinguir e eleger os pontos mais representativos de recolha; caso seja inexperiente tenderá a recolher as amostras em pontos facilmente identificáveis no leito, tais como aglomerados de gravilhas ou bolsas de areia.

No percurso em *zig-zag*, o utilizador começa a recolha num percurso que faz 45º com a margem de jusante para montante, realizando as amostras ao longo desse percurso em pontos igualmente espaçados.

Para a recolha das amostras nos rios em estudo optou-se por utilizar o percurso em *zig-zag*, figura 6.12.

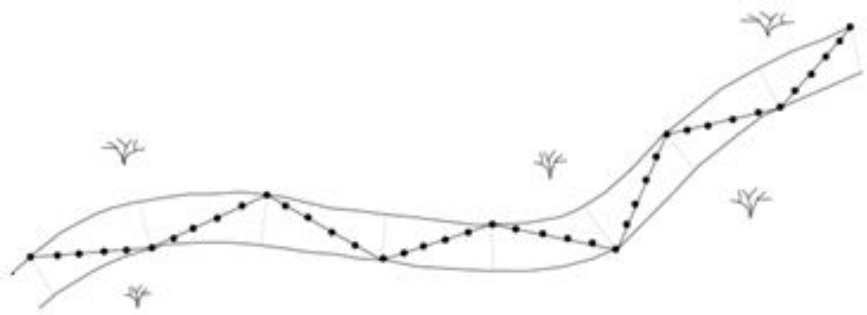
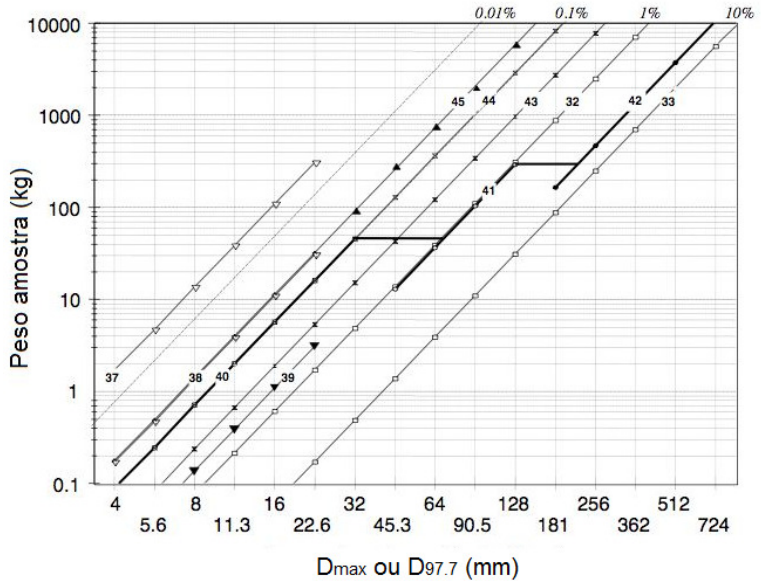


Figura 6.12 - Esquema em *zig-zag* adoptado na recolha (adaptado de Bunte e Abt (2001)).

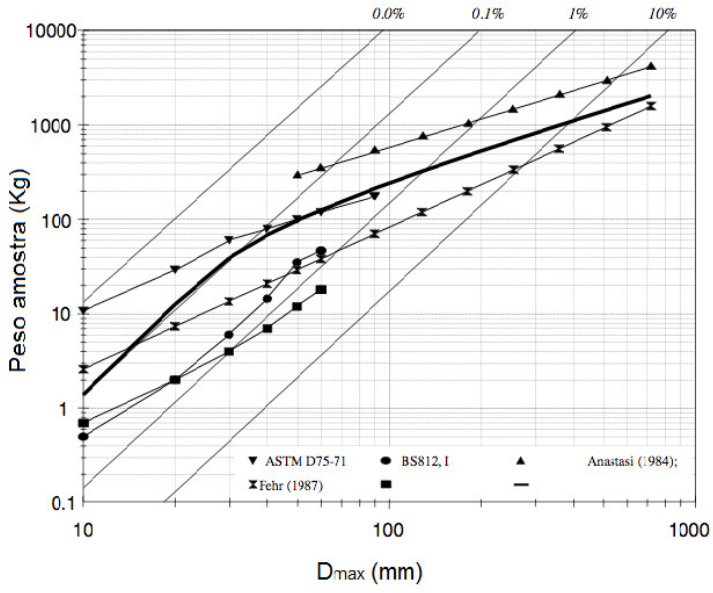
6.2.6.4. Peso Total das Amostras

Uma das componentes da recolha de amostras de material do leito de um rio é a quantidade de material que é recolhida. Esta componente tem bastante peso na avaliação do grau de precisão ou na percentagem de erro das análises, devendo-se proceder a uma ponderação entre o rigor pretendido e a quantidade total de material que é aceitável recolher face aos meios disponíveis.

Bunte e Abt avaliaram o peso total da amostra através de dois ábacos. O primeiro determina o peso da amostra através de fórmulas empíricas, cada uma correspondente a um número no ábaco; o segundo determina o peso das amostras com base em várias normas internacionais. O peso total da amostra é determinado utilizando a dimensão máxima do material do leito e o grau de erro pretendido.



a)



b)

Figura 6.13 - a) Ábaco para a determinação do peso total da amostra utilizando equações empíricas, representados por números nas rectas; b) Ábaco para a determinação do peso total da amostra utilizando as normas internacionais. Em cada um dos casos, os números no canto superior direito indicam a percentagem de erro (adaptado de Bunte e Abt (2001)).

A dimensão máxima das partículas, após uma primeira análise, está situada entre os 3,5 e 4 cm, o que se traduz num peso total das amostras que varia entre 1 kg para um grau de erro de 10 %, e de cerca 700 kg para um grau de erro de 0,1%, figura 6.13 a), e entre 8 e 80 kg para a figura 6,13 b).

Face a esta dispersão, consultou-se o trabalho de Kondolf (2005), que sugere que a para a dimensão máxima do material presente nas zonas de estudo, o peso total da amostra se deve situar entre 32 kg, o peso mínimo ideal e 16 kg o peso prático.

O peso total das amostras adoptado foi de cerca 15 kg, que fica do intervalo dos pesos definido pelos ábacos e um pouco abaixo do valor definido por Kondolf. Este valor é um valor perfeitamente exequível em campo e facilmente transportado.

6.2.6.5. Processo Utilizado na Recolha das Amostras nos Rios Âncora e Neiva

Todas as componentes e métodos mencionados nos pontos anteriores foram utilizados nas duas zonas de estudo, com excepção dos comprimentos de recolha utilizado em cada um dos rios.

No rio Âncora face ao número de trechos adoptados e ao comprimento de cada trecho em relação ao comprimento total do meandro, a relação de 20 a 30 vezes a largura do leito dominante para o comprimento da zona de recolha não foi respeitado. As amostras foram então recolhidas somente no comprimento que cada trecho tinha.

No rio Neiva, a relação de 20 a 30 vezes a largura do leito dominante para o comprimento de recolha do material também não foi respeitada, no entanto e devido às características do canal do rio na secção em estudo, considera-se que o comprimento adoptado representa bem as características do rio.

Com o amostrador de McNeil utilizado é possível retirar cerca de 0,5 a 0,75 kg de material por recolha, o que significa, que para se obter o peso total de 15 kg, teria-se que realizar entre 20 a 30 recolhas por trecho. Embora se tivesse tido o maior rigor na recolha das amostras, o peso total pretendido de 15 kg, em certas zonas ficou um pouco abaixo. Isto deveu-se à presença de água no material e a impossibilidade prática de pesar as amostras no local de recolha.

Embora o valor tenha ficado abaixo do estipulado, este situa-se dentro dos intervalos determinados, o que não deve ter grande influência nos resultados.

6.3. MÉTODO BANCS

Como já foi referido aquando a descrição deste método, no Capítulo 3, este está dividido em 2 componentes, o *ranking* BEHI e o NBS.

A determinação da categoria de risco de uma zona requer a determinação prévia da categoria de risco de cada componente, que requerem a recolha de determinados parâmetros *in-situ*. A recolha destes parâmetros em cada um dos trechos foi realizada exactamente da forma como foi enunciado por Rosgen (2001a), e os procedimentos utilizados foram sempre os mesmos em todos os trechos.

6.3.1. BEHI

A determinação da categoria de risco do BEHI requer a medição *in-situ* da altura do talude da margem, a distância ao leito dominante, a profundidade de penetração das raízes, a densidade de raízes, a protecção da superfície do talude e o ângulo do talude.

À medida que iam sendo recolhidos, os dados eram anotados numa folha de medições tipo, tal como é apresentada no Anexo B.

6.3.1.1. Altura do Talude da Margem

A altura do talude da margem foi medida recorrendo à mira topográfica, em todos os trechos, com a excepção dos trechos 1 e 2 do rio Âncora. A mira utilizada para as medições foi a mesma utilizada para realizar o levantamento dos pontos do perfil transversal.

A medição desta altura foi realizada em simultâneo com o levantamento dos pontos do perfil transversal. Deste modo é aproveitado o material utilizado, as estacas e o fio, quer para a medição da largura do leito dominante quer para o levantamento dos pontos necessários para a elaboração do perfil transversal.

No local onde se identificava o pé do talude, que é marcado por uma súbita mudança de inclinação, era realizada a medição da altura.

Nos trechos 1 e 2 do rio Âncora como as margens faziam parte da duna, e tinham grande altura não era possível usar o mesmo procedimento, assim nestes dois casos, a altura foi determinada recorrendo à planta topográfica da zona.

6.3.1.2. Distância ao Leito Dominante

A distância ao leito dominante é a distância entre o pé do talude da margem o topo do leito dominante, esta distância coincide com a altura ao leito dominante em todas os trechos excepto nos trechos 1, 2 e 5 do rio Âncora onde a altura da margem é superior à distância ao leito dominante.

Nestes trechos a mira foi colocada no pé do talude e foi medida a distância do leito ao fio que demarcava o nível do leito dominante.

6.3.1.3. Profundidade de Penetração das Raízes

A profundidade de penetração das raízes foi medida com recurso a uma fita métrica de bolso, era identificada a extensão máxima das raízes no talude, e depois era medida a distância até ao topo do talude.

6.3.1.4. Densidade de Raízes e Protecção da Superfície do Talude

A determinação destes parâmetros *in-situ* foi feita somente através da análise visual do talude, e depois com base nessa análise foi determinada a percentagem correspondente. Este procedimento embora possa parecer pouco rigoroso, é o mesmo adoptado por Rosgen (2001a).

6.3.1.5. Ângulo do Talude

O procedimento utilizado na determinação do ângulo do talude consistiu em medir a distância horizontal e vertical a partir de um ponto fixo, e com base nesses valores determinar o ângulo correspondente.

Para auxiliar na determinação do valor do ângulo, e para se assegurar que as medições estavam correctas, utilizou-se um esquema, figura 6.14, fornecido por Rosgen, onde com base na configuração do talude da margem, é possível ter verificar-se se a determinação do ângulo do talude está a ser correctamente realizada.

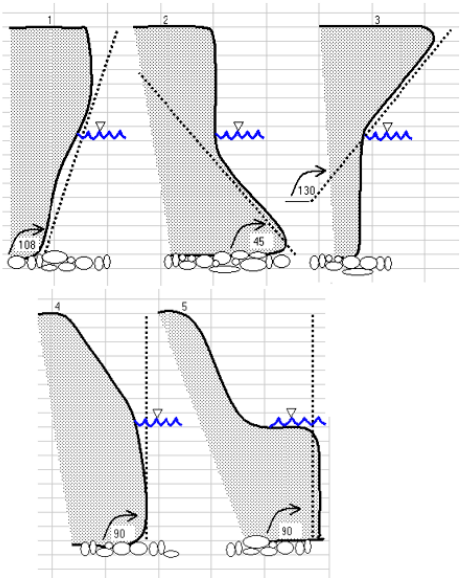


Figura 6.14 - Esquema auxiliar de medição dos ângulos da margem utilizado na recolha de dados (adaptado de Rosgen (2001a) e de EPA).

6.3.2. NBS

A determinação da categoria de risco para o NBS irá ser feita com base na determinação da relação entre as tensões na zona junto à margem e das tensões da zona central do canal. A determinação das tensões utiliza dados já determinados na classificação do rio e na determinação da categoria de risco do BEHI, e portanto não será feita novamente a exposição destes procedimentos, faltando apenas determinar as inclinações a utilizar em cada zona. Para a zona do canal Rosgen explica que se deve usar a inclinação da superfície livre da água, enquanto para a zona junto ao pé do talude recomenda que se utilize a inclinação do leito do rio.

O gradiente de velocidades requer o levantamento do perfil de velocidades ao longo de diversas verticais e de diversos pontos ao longo da vertical.

6.3.2.1. Determinação da Inclinação do Leito

Junto às margens de todas as zonas estudadas existe um fundão, no entanto Rosgen não específica se a inclinação deve ser determinada de montante para jusante ou vice-versa, sendo assim, convencionou-se neste trabalho que a inclinação seria determinada de montante para jusante.

O procedimento adoptado consistiu em cravar duas estacas no leito do rio separadas por uma determinada distância, a distância mais utilizada foi de 5 m. De seguida mediu-se a profundidade do leito em relação à superfície da água, na estaca de montante e na de jusante.

Como a inclinação do leito é superior à da superfície da água, e como a inclinação da superfície é muito pequena, considerou-se que entre as duas estacas à superfície da água se mantinha constante, ficando-se assim com um referencial fixo, as estacas, podendo-se determinar a inclinação do leito fazendo a diferença entre as profundidades das duas estacas e dividindo pela distância entre elas.

6.3.2.2. Levantamento dos Perfis de Velocidade

O levantamento dos perfis de velocidade é feito no mesmo local da recolha dos pontos para a elaboração do perfil transversal, utiliza as estacas colocadas na margem e no canal assim como o fio, utilizado na medição da largura do leito dominante.

Como as duas zonas de estudo são afectadas pelas marés, a variação da altura de água traduz-se também em variação na velocidade do escoamento, assim para se medir a velocidade real do escoamento sem acção das marés teve-se que realizar as medições na estofa da maré baixa.

O aparelho utilizado é um medidor de caudais electromagnético, da marca Valeport modelo 801. O aparelho é constituído por um sensor, que fica acoplado à vara graduada, e por uma unidade de processamento dos dados, existindo um cabo a ligar os dois componentes.

O procedimento adoptado consiste na medição dos perfis de velocidade a cada 1 metro, contudo em certas áreas, onde as características do leito não variam, utilizou-se distâncias maiores. A profundidade de medição é medida no próprio aparelho visto que este possui uma vara graduada, figura 6.15.



Figura 6.15 - Medição das velocidades do escoamento para a elaboração dos perfis verticais de velocidade.

O gradiente de velocidades utiliza a diferença de velocidades entre a velocidade máxima e a velocidade junto à margem, sendo por isso necessário realizar o levantamento ao longo de toda a largura da superfície de água, contudo e devido às características do aparelho, em determinadas secções do rio Âncora não foi possível determinar as velocidades ao longo de todo o canal. O aparelho tem apenas um cabo que liga o sensor à unidade de processamento com cerca de 1,5 m de comprimento, como em certos fundões essa profundidade é superior, mesmo nos períodos de maré baixa, as medições não puderam ser realizadas. A profundidade máxima a que se realizou uma medição foi de cerca 1,35 m e foi já no limite, pois a unidade de processamento não é impermeável por isso tem que se ter o máximo de cuidado para não danificar o equipamento. Assim, houve trechos onde as velocidades na parte central do canal não puderam ser medidas.

6.4. CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE PFANKUCH

A determinação da classificação modificada de Pfankuch não requer a medição *in-situ* de nenhum parâmetro. Esta classificação tal como foi mencionado no subcapítulo 3.5, é uma classificação empírica baseada na observação de características das margens e do leito do rio no trecho analisado.

A metodologia da elaboração desta classificação consistiu em realizar diversas passagens de reconhecimento pelo meio do canal nos troços de rio em estudo. Estas passagens iniciavam-se a montante do troço e iam até ao final, a jusante, realizando-se depois o percurso novamente no sentido inverso voltando-se ao ponto de partida, ao longo destas passagens eram tomadas notas acerca de características importantes nas margens.

Na segunda passagem levava-se um formulário com a classificação modificada de Pfankuch eram anotadas as características das margens segundo a classificação de Pfankuch e era atribuído a cada um das 15 categorias um valor numérico com base nas observações e nas notas tiradas aquando as primeiras passagens.

6.5. EQUIPAMENTO E MATERIAL UTILIZADO

Todo o equipamento e material utilizado na recolha dos dados de campo é mencionado no Anexo C, sendo feita uma breve descrição quando necessário e a exposição de fotos.

7

TRATAMENTO DOS DADOS RECOLHIDOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

7.1. ÂMBITO

O tratamento dos dados tem como objectivo principal determinar a taxa de erosão das margens das zonas de estudo. No entanto, e como referido no Capítulo 3, a metodologia adoptada requer a classificação do tipo de rio e a avaliação da estabilidade lateral das margens.

A determinação do tipo de rio segundo o sistema de classificação de Rosgen será efectuada em primeiro lugar, seguindo-se a determinação da taxa de erosão através do método BANCS. A avaliação da estabilidade das margens surgirá em último lugar, fazendo-se referência à classificação modificada de Pfankuch. Serão ainda determinadas as tensões de arrastamento actuantes nas margens com base nos perfis verticais de velocidade, assim como as tensões resistentes do material das margens.

A metodologia a aplicar em cada trecho é sempre a mesma, por isso, apenas se fará a explicação do tratamento dos dados para o trecho 5 do rio Âncora.

7.2. CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE RIO

O primeiro passo para a determinação do tipo de rio segundo a classificação de rios naturais de Rosgen, é a determinação da largura do leito dominante, (W_{bkf}). Posteriormente, tendo por base essa largura, é feito o levantamento dos pontos necessários para a obtenção do perfil transversal do trecho, possibilitando assim a determinação da área da secção do leito dominante, (A_{bkf}). Os pontos levantados e correspondentes perfis transversais para todos os trechos são apresentados no Anexo D.

Sabendo a largura do leito dominante, (W_{bkf}), e a área da secção do leito dominante (A_{bkf}), é possível de determinar a profundidade média da secção, (d_{bkf}).

A determinação do *entrenchmen*t, ou seja, o grau de encaixe do canal do rio no vale, requer a determinação da largura do leito dominante (W_{bkf}) e a largura da área sujeita a inundações, (W_{fpa}). O processo de determinação da largura da área sujeita a inundações, foi já detalhado no subcapítulo 6.2.3. pelo que não se procederá a uma nova exposição. O *entrenchment* é calculado dividindo a largura da área sujeita a inundações, (W_{fpa}), pela largura do leito dominante (W_{bkf}), tendo-se, obtido, nesta caso um valor de nove (9) para o *entrenchmen*t.

A relação entre a largura do leito dominante e a profundidade média da secção, (W/D), traduz a dimensão e forma do canal do rio. O valor obtido para o trecho 5 foi de aproximadamente vinte (20), o que é considerado um valor de W/D elevado.

A sinuosidade tem o mesmo valor para todos os trechos situados na mesma zona de estudo, uma vez que este parâmetro é calculado dividindo o comprimento do rio, pelo comprimento do vale em que a área de estudo está situada. Para o rio Âncora a sinuosidade toma um valor de 1,42, o que segundo Rosgen (1994), é considerado um valor moderado.

Outro parâmetro comum a todos os trechos situados na mesma zona do rio é a inclinação da superfície da água. Esta inclinação no troço estudado do rio Âncora tem um valor de 0,000453 m/m, ou seja, de 45,3 cm por cada 1000 m.

Os parâmetros referidos permitiram atribuir ao trecho 5 do rio Âncora, a categoria C, no Nível I do sistema de classificação de rios naturais de Rosgen. Para realizar a classificação de Nível II é necessário determinar o D_{50} do material do leito do canal de escoamento, através da correspondente curva granulométrica. Para o trecho 5, o D_{50} tem um valor de 4,4 mm, o que confere a este trecho uma classificação de Nível II de C4c-. As curvas granulométricas foram realizadas no Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção, (LEMC) do departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, estando representadas no Anexo E para todos os trechos.

A aplicação do sistema de classificação de Rosgen aos trechos do rio Âncora e Neiva produziu somente duas categorias: a categoria C5c-, atribuída aos trechos 1, 2 e 3 do rio Âncora e 1 e 3 do rio Neiva, e a categoria C4c-, atribuída aos trechos 4 e 5 do rio Âncora e ao trecho 2 do rio Neiva, tabelas 7.1 e 7.2. A diferença entre as duas categorias está apenas na dimensão do material D_{50} das partículas, que para a categoria C4c- corresponde a areia, enquanto que para a categoria C5c- corresponde a gravilha.

Tabela 7.1 - Tabela resumo dos dados recolhidos e dos parâmetros determinados para o rio Âncora.

Trecho	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
W_{bkf} (m)	34,7	38	32	28,35	23,7
A_{bkf} (m^2)	43,8	56,9	43,7	41,4	28,1
d_{bkf} (m)	1,26	1,5	1,37	1,46	1,19
W/D	27,54	25,33	23,36	19,42	19,92
D_{50} (mm)	0,85	0,88	1,5	2,6	4,4
S (m/m)			0,000453		
Cota margem (m)			3		
Cota W_{fpa} (m)	5,45	4,54	5,38	5,47	4,91
W_{fpa} (m)	588	480	588	524	219
Entrenchment	17	13	17	18	9
Sinuosidade			1,42		
Categoria	C5c-	C5c-	C5c-	C4c-	C4c-

Tabela 7.2 - Tabela resumo dos dados recolhidos e dos parâmetros determinados para cada trecho o rio Neiva.

Trecho	1	2	3
W_{bkf} (m)	54,5	50,3	48,5
A_{bkf} (m^2)	116,45	84,98	97,09
d_{bkf} (m)	2,14	1,69	2
W/D	25,51	29,77	24,23
D_{50} (mm)	1,35	2,1	1,95
S (m/m)		0,000519	
Cota margem (m)	3,5	3,6	3,4
Cota W_{fpa} (m)	6,52	5,69	5,85
W_{fpa} (m)	360,5	324	355
Entrenchment	6,61	6,44	7,32
Sinuosidade		1,1	
Categoria de rio	C5c-	C4c-	C5c-

Com base no sistema de classificação de Rosgen, os dois troços de rio podem ser descritos como tendo uma inclinação da superfície da água pequena, apresentando um traçado meandrizado, com ocorrência alternada de fundões e de barras, situados em canais aluviais com planícies de cheia largas e bem definidas, em que o material do leito embora apresente uma grande variabilidade na sua maioria é de pequeno diâmetro.

7.3. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EROSÃO ATRAVÉS DO MÉTODO BANCS

7.3.1. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE RISCO DE BEHI

A determinação da categoria de risco do indicador BEHI, requer a recolha de diversos dados *in-situ*, de modo a ser possível calcular os parâmetros que determinam a correspondente categoria de risco. Como os tipos de dados recolhidos e os parâmetros determinados são idênticos para todos os trechos, apenas se irá fazer a exposição relativa ao trecho 5 do rio Âncora.

Os dados recolhidos *in-situ* são, a altura da margem desde o pé do talude até ao topo da margem, a profundidade desde o pé do talude até ao limite do leito dominante, ($P_{bkf\ nb}$), a profundidade de penetração de raízes da vegetação no talude, a densidade de raízes, a protecção da margem e o ângulo do talude da margem. Com base nestes dados, é possível determinar o valor numérico de cada parâmetro e a respectiva categoria de risco, através da tabela 3.2. No Anexo F são apresentados os dados recolhidos *in-situ* e as categorias de BEHI para cada trecho.

A soma do valor numérico de cada parâmetro permite determinar um valor preliminar da categoria de risco, devendo esse valor ser ainda corrigido consoante o tipo de material do talude e a presença ou não de estratificação. No caso do trecho 5 o material do talude é material composto, contendo areia e alguma gravilha dispostas em camadas. Assim, aplicou-se uma correcção de 5 pontos para o material da margem e de 5 pontos para a presença de estratificação. O somatório final, tabela 7.3, permitiu atribuir ao trecho 5 uma categoria de BEHI de *Extremo* (Extremo), de acordo com a tabela 3.3.

Tabela 7.3 - Tabela resumo dos dados recolhidos e dos parâmetros determinados para o trecho 5.

	Valor do parâmetro	**Índice**	**Categoria de risco**
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	1,8	6,9	*Elevado*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,11	8,5	*Muito Elevado*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	2,7	10	*Extremo*
Ângulo talude (H)	90	7,9	*Elevado*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	25	6,9	*Elevado*
Total parcial		50,2	*Extremo*
Correcções		10	
Total		50,2	*Extremo*

As categorias de risco do BEHI para todos os trechos do rio Âncora situam-se entre *Elevado/Muito Elevado* e *Extremo.* No rio Neiva as categorias de risco são mais variadas, situando-se entre *Baixo*, *Moderado* e *Elevado/Muito Elevado*.

7.3.2. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE RISCO DE NBS

As categorias de risco de NBS são determinadas, tal como foi mencionado no subcapítulo 3.4.2, através de dois processos: a relação entre as tensões de arrastamento junto à zona do talude da margem (τ_{nb}) e na zona do leito dominante (τ_{bkf}) e o gradiente de velocidades.

As tensões de arrastamento são calculadas pelas fórmulas 7.1 e 7.2, respectivamente.

$$\tau_{nb} = \gamma d_{nb} S_{nb} \qquad (7.1)$$

$$\tau_{bkf} = \gamma d_{bkf} S \qquad (7.2)$$

As variáveis têm o significado referido em 3.4.2.

Os perfis verticais de velocidades, necessários para a determinação do gradiente de velocidades, foram obtidos utilizando o procedimento descrito no subcapítulo 6.3.2.2, sendo apresentados no Anexo G. No mesmo anexo é também apresentado o cálculo detalhado das categorias parciais de NBS. As tabelas 7.4 e 7.5 resumem os valores obtidos pelos dois processos de determinação das categorias de

NBS, assim como as respectivas categorias de risco, para cada trecho estudado dos rios Âncora e Neiva, respectivamente.

Tabela 7.4 - Categoria de risco de NBS para os trechos do rio Âncora.

Trecho	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
τ_{nb}/τ_{bkf}	426	30	214	145	54
Categoria Tensões	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*
Gradiente (m/s/m)	0,597	0,061	0,011	0,018	0,325
Categoria Gradiente	*Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*

Tabela 7.5 - Categoria de risco de NBS para os trechos do rio Neiva

Trecho	**1**	**2**	**3**
τ_{nb}/τ_{bkf}	66	135	34
Categoria Tensões	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*
Gradiente (m/s/m)	0,037	0,033	0,125
Categoria Gradiente	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*

A determinação da categoria de risco final de NBS, é realizada através da ponderação entre as categorias de risco obtidas pela relação entre as tensões e pelo gradiente de velocidades. Contudo, face aos resultados obtidos, torna-se difícil fazer essa ponderação.

Na realidade as categorias de risco de NBS obtidas nos dois processos são contraditórias. A relação entre tensões para atribuir a categoria de *Extremo* a todos os trechos, significando que, segundo este processo, os trechos apresentam um risco muito elevado de erosão. Porém, através do gradiente de velocidades as categorias obtidas são de *Muito Baixo* e *Baixo*, o que significa que os trechos têm um risco baixo de erosão das margens.

Rosgen (2001a), na exposição que faz sobre a componente NBS, não fornece qualquer indicação acerca do procedimento a adoptar na ponderação das categorias de risco. Assim, e face ao papel crucial que as categorias de NBS têm na determinação da taxa de erosão utilizando o método BANCS, surgiu a necessidade de encontrar um procedimento ou metodologia alternativos, permitindo determinar correctamente a categoria de risco de NBS. A opção recaiu sobre um conjunto de metodologias referenciado pela Agência de Protecção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos da América. Segundo a EPA, este conjunto de metodologias é sugerido pelo próprio Rosgen, autor do método BANCS, não se percebendo porque é que este conjunto de metodologias não é incluído na apresentação original do método BANCS, uma vez é de aplicação mais expedita do que os procedimentos mencionados na versão original.

O referido conjunto de metodologias sugeridas pela EPA é explicado no Anexo H.

Dos vários métodos apresentados pela EPA para a determinação das categorias de NBS, escolheu-se a relação entre a profundidade junto à margem (d_{nb}), que é igual à profundidade medida desde o pé do

talude até ao limite do leito dominante, ($P_{bkf\ nb}$), e a profundidade média da secção do leito dominante, (d_{bkf}).

Este método foi já utilizado em vários trabalhos realizados para a determinação da taxa de erosão das margens através do método BANCS, Harmel *et al* (1999), Eng *et al* (2004) e Harman (2008), e forneceu sempre boas relações para a determinação da categoria de NBS. A tabela 7.6 resume os valores obtidos para os rios Âncora e Neiva.

Tabela 7.6 - Tabela resumo das relações entre as profundidades e respectivas categorias.

Trechos (Âncora)	**d_{nb}**	**d_{bkf}**	**d_{nb}/d_{bkf}**	**Categoria**
1	1,93	1,26	1,53	*Moderado*
2	1,54	1,5	1,03	*Baixo*
3	2,12	1,37	1,55	*Moderado*
4	2,29	1,46	1,57	*Moderado*
5	1,56	1,19	1,31	*Baixo*
Trechos (Neiva)				
1	2,35	2,14	1,10	*Baixo*
2	1,80	1,69	1,07	*Baixo*
3	2,45	2,00	1,22	*Baixo*

Embora a EPA considere a possibilidade de aplicação de vários métodos para a determinação da categoria do indicador de NBS, mais uma vez, não existe qualquer indicação de como a ponderação deve ser feita. Os trabalhos consultados, embora façam a ponderação das categorias de NBS, não esclarecem devidamente o procedimento adoptado, referindo vagamente que é atribuída uma "categoria média" de risco. A atribuição desta categoria média pode ser entendida da seguinte forma: existindo 6 categorias de NBS - *Muito Baixo*, *Baixo*, *Moderado*, *Elevado*, *Muito Elevado* e *Extremo* -, suponhamos que a aplicação de dois métodos forneceu as categorias *Muito Baixo* e *Muito Elevado*, a "categoria média" de risco será aquela que se encontra entre as duas, ou seja *Moderado*. Esta ponderação é pouco prática e levanta algumas dúvidas acerca da fiabilidade das categorias de risco assim determinadas.

As categorias de risco de NBS obtidas pelo gradiente de velocidades não conseguiram caracterizar correctamente o estado de erosão das margens, dando origem a categorias com baixo risco de erosão das margens. Porém as condições de erosão presentes nas margens dos rios analisados, especialmente o rio Âncora, apontam noutro sentido, sendo por isso evidente que a inadequação das categorias fornecidas pelo gradiente de velocidades. Assim, optou-se por desprezar as categorias de risco fornecidas pelo gradiente de velocidades, e utilizaram-se em vez dessas as fornecidas pela relação entre as profundidades, mantendo-se as fornecidas pela relação entre as tensões. As novas categorias de risco de NBS passaram então a ser *Muito Elevado* para a combinação de *Extremo* nas tensões e de *Moderado* nas profundidades, e de *Elevado* para a combinação de *Extremo* nas tensões com *Baixo* nas profundidades, tal como mostrado na tabela 7.7.

Tabela 7.7 - Tabela com as categorias ponderadas de NBS.

Trechos (Âncora)	Categoria d_{nb}/d_{bkf}	Categoria tensões	Categoria ponderada
1	*Moderado*	*Extremo*	*Muito Elevado*
2	*Baixo*	*Extremo*	*Elevado*
3	*Moderado*	*Extremo*	*Muito Elevado*
4	*Moderado*	*Extremo*	*Muito Elevado*
5	*Baixo*	*Extremo*	*Elevado*
Trechos (Neiva)			
1	*Baixo*	*Extremo*	*Elevado*
2	*Baixo*	*Extremo*	*Elevado*
3	*Baixo*	*Extremo*	*Elevado*

7.3.3. Determinação da Taxa de Erosão

Com base nas categorias de risco de BEHI e das categorias ponderadas de NBS, é possível determinar a taxa de erosão previsível para as margens. A determinação da taxa e erosão é feita recorrendo a um de dois ábacos, mencionados por Rosgen na exposição do método BANCS. Como os trechos de rio têm uma categoria de C4c- e C5c-, o ábaco que melhor caracteriza estes rios é o ábaco de Colorado, que foi obtido para um rio da categoria C4, figura 7.1. Na tabela 7.8 estão representadas as categorias de BEHI e de NBS consideradas, assim como as taxas de erosão determinadas.

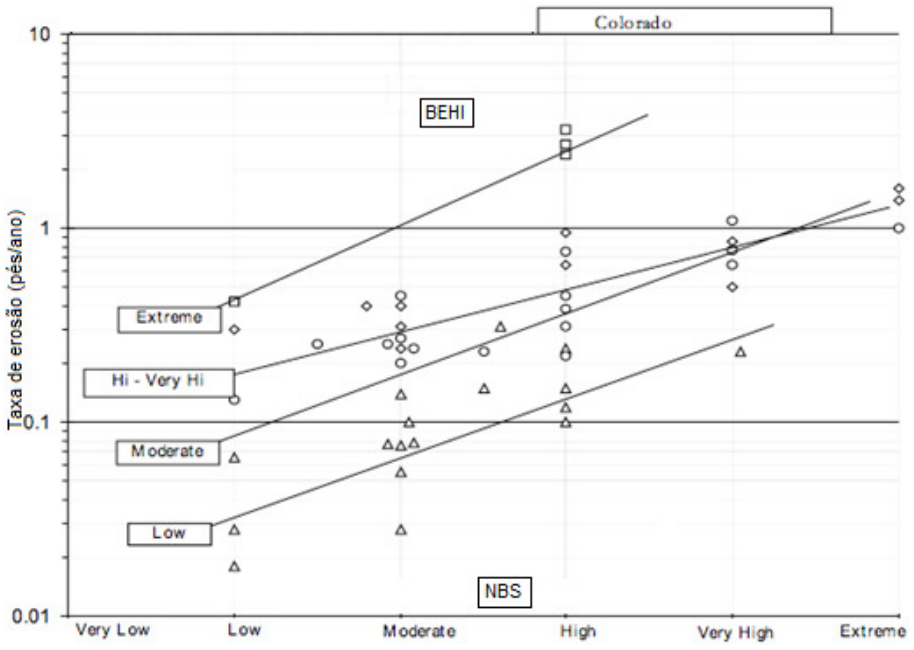


Figura 7.1 - Ábaco de Colorado utilizado na determinação da taxa de erosão das margens.

Tabela 7.8 - Taxa de erosão espectável para cada secção com base nas categorias de BEHI e de NBS.

Trechos (Âncora)	Categoria BEHI	Categoria NBS	Taxa de erosão (m/ano)
1	*Elevado/Muito Elevado*	*Muito Elevado*	0,24
2	*Extremo*	*Elevado*	0,76
3	*Elevado/Muito Elevado*	*Muito Elevado*	0,24
4	*Extremo*	*Muito Elevado*	1,83
5	*Extremo*	*Elevado*	0,76
Trechos (Neiva)			
1	*Baixo*	*Elevado*	0,05
2	*Elevado/Muito Elevado*	*Elevado*	0,12
3	*Moderado*	*Elevado*	0,09

7.4. CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE PFANKUCH

A classificação modificada de Pfankuch tem como objectivo avaliar e relacionar a estabilidade lateral da margem com o tipo de rio. A tabela 7.9 resume o somatório obtido na classificação de Pfankuch e a correspondente avaliação da estabilidade da margem, para cada trecho dos dois rios. Os formulários com a classificação de cada critério obtida em cada trecho analisado são apresentados no Anexo I.

Tabela 7.9 - Somatório Pfankuch e avaliação da estabilidade lateral das margens.

Trechos (Âncora)	Somatório Pfankuch	Estabilidade lateral
1	111	Má
2	105	Moderada
3	100	Moderada
4	86	Boa
5	98	Moderada
Trechos (Neiva)		
1	75	Boa
2	84	Boa
3	72	Boa

A comparação da estabilidade lateral das margens obtida através da classificação de Pfankuch, com as taxas de erosão previsíveis para os trechos dos rios analisados, tabela 7.8, permite observar que apenas no rio Neiva é que existe uma relação entre a estabilidade lateral das margens e o valor previsto para a taxa de erosão. No rio Âncora, as duas variáveis, estabilidade das margens e taxa de erosão, apenas aparentam ter relação nos trechos 2, 3 e 5, já para os trechos 1 e 4, não se verifica qualquer relação.

7.5. DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES DE ARRASTAMENTO NO LEITO

As tensões médias de arrastamento no leito do canal, (τ), foram determinadas utilizando a velocidade média do escoamento no canal, uma vez que a formulação original que envolvia determinar as tensões no leito pela fórmula da parede, 7.1, não forneceu valores suficientemente coerentes e fiáveis para serem utilizados neste estudo.

Na formulação original considerada, a determinação da tensão de arrastamento no leito era realizada, aplicando a fórmula da parede para regimes turbulentos e leito rugoso, equação (7.1), Graf (1998), Robert (1997), aos perfis verticais de velocidade média.

$$\frac{u(z')}{u*} = \frac{1}{K}\ln\left(\frac{z'}{ks}\right) + 8{,}5 \qquad (7.1)$$

Onde,

$u(z')$ é a velocidade medida à profundidade z', em m/s;
$u*$ é a velocidade de fricção;
K é uma constante que para regimes turbulentos toma o valor de 0.4;
z' é a profundidade medida a partir do leito, em m;
ks é a rugosidade uniforme do fundo, em mm.

Como se tratava de um leito de rio constituído por partículas de vários tamanhos, para o valor de *ks* utilizou-se o D_{50} de cada secção, retirado das curvas granulométricas.

A fórmula 7.1 passa então a ser escrita na forma,

$$u(z') = 2{,}5u*\ln\left(\frac{z'}{Ks}\right) + 8{,}5u* \qquad (7.2)$$

Que é a equação de uma recta do tipo $y = mx + b$, onde $m = 2{,}5\ln u*\left(\frac{z'}{ks}\right)$ e $b = 8{,}5u*$, (Graf, 1998).

Criando um gráfico para cada perfil de velocidades, com $u(z')$ no eixo das ordenadas, e $\ln\left(\frac{z'}{ks}\right)$ no eixo das abcissas, e determinando a equação da recta de regressão que contem os pontos para cada perfil, obtemos a equação da recta de regressão que contem os pontos representados.

Desenvolvendo, $m = 2{,}5\ln u*\left(\frac{z'}{ks}\right)$ em função de u*, temos que a tensão de arrastamento junto ao fundo (τ_0), será determinada pela fórmula (7.3):

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \qquad (7.3)$$

Onde,

ρ é a massa volúmica da água em kg/m^3, e τ_0 é a tensão de arrastamento junto ao fundo em N/m^2.

A aplicação deste procedimento aos perfis de velocidade recolhidos *in-situ*, conduziu a valores de tensões no leito incompatíveis com as condições de escoamento verificadas durante a recolha dos perfis. Uma das causas prováveis para os resultados obtidos pode ficar-se a dever-se às poucas medições de velocidades ao longo de cada vertical, conduzindo a uma deficiente caracterização do perfil de velocidades, especialmente na zona mais próxima do leito. Esta conclusão foi retirada após a consulta do trabalho desenvolvido por Robert (1997). Robert aplicou um procedimento semelhante ao descrito, a vários perfis de velocidade, tendo em vista a determinação da tensão de arrastamento no leito. Os perfis de velocidades utilizados por Robert, foram determinados realizando 16 medições ao longo de cada vertical, sendo que metade se localizava nos 15 cm acima do leito do rio.

Para verificar se a causa para a incompatibilidade dos resultados era a falta de medições ao longo de cada vertical, utilizou-se o canal de testes do Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, para realizar várias medições dos perfis de velocidade, e determinar a tensão de arrastamento no fundo da canal. Assim, para uma altura de água de cerca de 38 cm e um caudal de aproximadamente 7 L/s, realizaram-se medições em 5 pontos ao longo de uma vertical no eixo do canal vertical com um espaçamento de 7,5 cm a partir do fundo e eixo do mesmo.

Com a realização destas medições em laboratório esperava-se obter resultados fiáveis das tensões de arrastamento no canal utilizando as equações 7.1, 7.2 e 7.3, pelo facto de se utilizar uma superfície de fundo estável e um rigor superior ao utilizado no rio ao nível do espaçamento entre pontos da medição. Porém, os valores obtidos para as tensões obtidas nos referidos pontos, foram incoerentes à semelhança dos obtidos para os perfis de velocidade no rio.

Deste modo e como já foi referido, foi utilizada uma nova abordagem, para a determinação as tensões médias de arrastamento no leito do canal. Neste caso, são da mesma forma utilizados os perfis de velocidades medidos, mas estes são tratados de uma forma diferente da anteriormente descrita.

Para tal, mostrou-se que a tensão média de arrastamento pode ser calculada pela fórmula (7.4), Chow (1964),

$$\tau = \gamma RS \qquad (7.4)$$

Sendo,

γ o peso volúmico da água expresso em N/m^3;
R é o raio hidráulico em m, obtido dividindo a área da secção molhada (A_m), em m^2, pelo perímetro molhado (P), em m;
S é a inclinação da superfície livre da água, em m/m.

A equação de Manning (7.5) é utilizada em canais com escoamentos controlados pelas forças gravíticas. Substituindo (7.6) em (7.5) e resolvendo em ordem à inclinação obtemos a equação (7.7).

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \tag{7.5}$$

$$Q = UA \tag{7.6}$$

$$S = \left(\frac{Un}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \tag{7.7}$$

onde,

A é a área da secção do escoamento, em m^2;
n é a rugosidade do material, sendo determinada pela fórmula (7.8);
U é a velocidade do escoamento em m/s.

$$n = \frac{D_{50}^{\frac{1}{6}}}{21{,}1} \tag{7.8}$$

Por fim substituindo a equação (7.7) em (7.4), obtemos (7.9),

$$\tau = \gamma R \left(\frac{Un}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \tag{7.9}$$

A tensão de arrastamento média no leito do canal, (τ) em N/m^2, será, assim, determinada pela fórmula (7.9), onde U é a velocidade média ponderada do escoamento, em m/s.

A velocidade ponderada do escoamento é calculada multiplicando a área de influência do perfil de velocidades pela sua velocidade média, e dividindo pela área total do escoamento.

Para o cálculo do raio hidráulico (R) foram utilizados os perfis transversais, determinando-se a área da secção molhada (A_m) e o perímetro molhado (P) em Autocad.

A tensão de arrastamento média no leito do canal terá ainda que ser multiplicada por um factor de majoração, variando entre 1,1, 1,35 ou 1,7, devido ao facto de os trechos se situarem ou não numa secção recta, Cortes (2004). Assim, aos trechos 1 e 3 do rio Âncora, por se situarem numa zona mais sinuosa do meandro, foi aplicado uma majoração de 1.7; ao trecho 4 situado numa zona de sinuosidade moderada, já por isso, foi aplicado uma majoração de 1.35; quanto aos trechos 2 e 5, como se situam numa zona menos sinuosa foi aplicado uma majoração de 1.1. Para o rio Neiva, como os trechos se situam num troço recto de rio, foi apenas aplicado o factor de 1,1. Após a multiplicação pelos factores de majoração, pode ser obtida a tensão média actuante no leito (τ_m), tabela 7.10

Tabela 7.10 - Determinação das tensões médias no leito e da tensão média actuante.

Trechos (Âncora)	A_m (m^2)	P (m)	R (m)	D_{50} (mm)	n	U (m/s)	τ (N/m^2)	majoração	τ_m (N/m^2)
1	2,4	4,1	0,59	0,85	0,046	0,299	2,23	1,7	3,80
2	17,5	33,7	0,52	0,88	0,046	0,459	5,54	1,1	6,10
3	14,0	19,4	0,72	1,50	0,051	0,138	0,54	1,7	0,91
4	27,5	26,7	1,03	2,60	0,056	0,233	1,63	1,35	2,19
5	8,1	18,2	0,44	4,40	0,061	0,375	6,64	1,1	7,31
Trechos (Neiva)									
1	10,7	22,7	0,47	1,35	0,050	0,227	1,61	1,1	1,77
2	16,6	33,6	0,49	2,10	0,054	0,211	1,59	1,1	1,75
3	10,4	36,7	0,28	1,95	0,053	0,210	1,85	1,1	2,03

O Anexo J, contem os dados tratados que conduziram aos valores das tensões para os trechos do rio Âncora e Neiva.

7.6. DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES NA MARGEM

Para as margens do canal de escoamento foram determinadas dois tipos de tensões, as tensões médias actuantes na margem (τ_{margem}), e as tensões resistentes da margem (τ_{res}).

A determinação das tensões médias da margem visa avaliar a magnitude das tensões de arrastamento que normalmente aí se desenvolvem, ou seja, as tensões de arrastamento presentes durante a maior parte do ano. A comparação destas tensões actuantes nas margens com as tensões resistentes do material da margem, permitirá avaliar se a erosão ocorre durante todo o ano ou somente durante os períodos de cheia. Esta comparação será também estendida ao caudal dominante, sendo as tensões obtidas com auxílio do *software* HEC-RAS. Deste modo, pretendem-se quantificar e avaliar de forma os períodos em que as margens estão expostas à erosão.

7.6.1. DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES MÉDIAS ACTUANTES NAS MARGENS

As tensões actuantes na margem (τ_{margem}), serão determinadas multiplicando as tensões de arrastamento médias actuantes do leito, (τ_m), por um determinado factor. O valor deste factor para margens de canais naturais, é dependente das relações entre as alturas das margens, do perímetro molhado e da largura do canal, Julian e Torres (2006). O factor determinado utilizando estas características do canal fornece valores muito próximos dos que Guo e Julien (2005) e Lencastre e Franco (2006) sugerem para canais trapezoidais laboratoriais. A consulta dos trabalhos de diferentes autores, permitiram concluir que o factor a aplicar para determinar as tensões resistentes na margem é de cerca 0,76. A tabela 7.11 representa as tensões actuantes nas margens dos trechos analisados, obtidas através da aplicação daquele factor aos valores das tensões médias actuantes no leito, apresentadas na tabela 7.10.

Tabela 7.11 - Tensões actuantes nas margens dos trechos analisados.

Trechos (Âncora)	τ_{margem} **(N/m^2)**
1	2,88
2	4,64
3	0,69
4	1,67
5	5,55
Trechos (Neiva)	
1	1,35
2	1,33
3	1,55

A determinação da tensão média actuante para o caudal dominante ($\tau_{m2,33}$), foi feita através da aplicação da equação (7.9). Para tal, contudo, as velocidades médias do escoamento na secção para cada trecho, foram determinadas recorrendo ao *software* HEC-RAS.

O período de retorno do caudal dominante situa-se vulgarmente entre os 1,5 e os 2 anos; contudo certos autores alargam esse período até aos 2,5 anos. O caudal utilizado na determinação da velocidade média do escoamento tem um período de retorno de 2,33 anos, o que corresponde a um valor de 28 m^3/s para o rio Âncora e de 82 m^3/s para o rio Neiva.

A equação (7.9) utiliza o raio hidráulico (R). Todavia, como a largura do escoamento é elevada, o raio hidráulico foi substituído pela profundidade média da secção de escoamento do leito dominante, (d_{bkf}). A tensão actuante nas margens para o caudal dominante ($\tau_{margem2.33}$), foi determinada multiplicando a tensão correspondente de arrastamento no leito ($\tau_{m2,33}$), pelo factor de 0,76, tal como já referido. A tabela 7.12 resume esses valores para os diferentes trechos dos dois rios analisados

Tabela 7.12 - Tensões actuantes nas margens para o caudal dominante.

Trechos (Âncora)	**d_{bkf} (m)**	**D_{50} (mm)**	**n**	**U (m/s)**	$\tau_{2,33}$ **(N/m^2)**	**majoração**	$\tau_{m2,33}$ **(N/m^2)**	$\tau_{margem2.33}$ **(N/m^2)**
1	1,26	0,85	0,046	1,050	21,31	1,7	36,22	27,53
2	1,50	0,88	0,046	0,690	8,78	1,1	9,66	7,34
3	1,37	1,50	0,051	0,650	9,60	1,7	16,31	12,40
4	1,46	2,60	0,056	0,810	17,52	1,35	23,66	17,98
5	1,19	4,40	0,061	0,820	22,91	1,1	25,20	19,15
Trechos (Neiva)								
1	2,14	1,35	0,050	1,07	21,64	1,1	23,80	18,09
2	1,69	2,10	0,054	1,09	28,15	1,1	30,96	23,53
3	2,00	1,95	0,053	0,79	13,64	1,1	15,00	11,40

7.6.2. DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES RESISTENTES DAS MARGENS

A determinação das tensões resistentes das margens requer, em primeiro lugar, a determinação das tensões críticas de arrastamento do material da margem (τ_c) em N/m^2. Como o material das margens, varia, as tensões críticas tiveram de ser determinadas recorrendo a dois métodos distintos. Assim, para os trechos 1 e 2 do rio Âncora, que possuem margens com material granular, utilizou-se a fórmula (7.10); para as margens dos restantes trechos, que têm uma elevada percentagem de argilas e siltes, foi utilizado o método proposto por Julian e Torres (2006).

A fórmula (7.10), foi proposta por Shields (1936) para explicar o início do movimento de partículas de material granular quando sujeitas às acções do escoamento, podendo ser utilizado para determinar as tensões resistentes de margens e leitos de rios compostos por material deste tipo.

$$\tau_c = 0{,}056(\rho_s - \rho) g D_{50} \qquad (7.10)$$

onde,

ρ_s é a massa volúmica do material do leito em kg/m^3, considerou-se 2350 kg /m^3;
ρ é a massa volúmica da água, 1000 kg /m^3;
g é a aceleração da gravidade, 9,81 m/s^2;
D_{50} do leito, em m.

A fórmula (7.10) não deve ser utilizada par avaliar as tensões resistentes das margens dos trechos com material composto e argiloso não devem ser determinadas pela fórmula (7.10), Julian e Torres (2006), sugerem um método mais adequado para determinar as tensões em margens com elevado teor de argilas e siltes.

Estes autores consideram que a tensão crítica do material da margem, (τ_c) em N/m^2, está relacionada com a percentagem de argila presente no talude da margem, sugerindo a equação (7.11) para determinar a tensão resistente da margem.

$$\tau_c = 0{,}1 + 0{,}1779(\%AS) + 0{,}0028(\%AS)^2 - 2{,}34^{-5}(\%AS) \qquad (7.11)$$

A percentagem de siltes e argila (%AS), é determinada através da recolha de um pequena quantidade material da margem, que posteriormente é seca, pesada e peneirada. A percentagem de siltes e argila (%AS) é determinado dividindo o peso do material passado num peneiro de 0,063mm pelo peso do material que fica retido.

Assim, para cada trecho, procedeu-se à recolha de 5 amostras de material do talude, tendo essas amostras sido recolhidas ao longo de toda a extensão do talude, figura 7.2. O peso do material passado, retido e total, bem como as percentagens de argilas e siltes de cada trecho estão representados na tabela 7.13.



Figura 7.2 - Recolha de amostras de material para a determinação das tensões resistentes da margem.

Tabela 7.13 - Percentagens de argilas e siltes para os diversos trechos.

Trechos (Âncora)	Peso Total (g)	Peso Retidos (g)	Peso Passados (g)	Percentagem
3	1628,9	1434,2	188,6	13,2
4	1133,1	1028,4	104,7	10,2
5	777,3	699,9	75,9	10,8
Trechos (Neiva)				
1	514,3	531,1	112,1	21,1
2	1172,5	675,3	151,9	22,5
3	615,5	515,9	98,7	19,1

Julian e Torres consideram ainda que a cobertura vegetal contribui para um aumento da resistência do material da margem, em função da percentagem de talude que é revestido por vegetação, devendo por isso a tensão crítica (τ_c) ser majorada, de modo a se obter a tensão resistente (τ_{res}), tabela 7.14.

Assim, com base nestas indicações, aplicou-se para os troços do rio Âncora um factor de majoração de 1,5, correspondente a uma percentagem de revestimento vegetal do talude inferior a 25%; no rio Neiva aplicou-se um factor de majoração de 2,5, que corresponde a uma percentagem do revestimento vegetal superior a 75%.

A tabela 7.14 resume os valores das tensões calculadas para as margens dos diferentes trechos analisados, dos rios Âncora e Neiva.

Tabela 7.14 - Tensões críticas, tensões resistentes e tensões actuantes nas margens dos vários trechos.

Trechos (Âncora)	τ_c **(N/m^2)**	τ_{res} **(N/m^2)**	τ_{margem} **(N/m^2)**
1	0,63	0,945	2,88
2	0,65	0,975	4,64
3	2,87	4,3	0,69
4	2,18	3,27	1,67
5	2,33	3,49	5,55
Trechos (Neiva)			
1	4,88	12,21	1,35
2	5,25	13,13	1,33
3	4,36	10,91	1,55

7.7. ANÁLISE DE RESULTADOS

A classificação de Rosgen conseguiu caracterizar bem os dois troços de rio analisados, sendo que as categorias de rio, C4c- e C5c-, estão em concordância com as características geomorfológicas e fluviais presentes nas duas zonas.

As categorias de rio determinadas diferem apenas no tamanho das partículas D_{50}, embora numa análise mais superficial essa evidência não seja muito clara, uma vez que os rios têm algumas características bastantes distintas. Contudo, os troços analisados situam-se na zona estuarina dos dois rios, distando apenas 20 km um do outro, que se encontram na mesma zona geográfica e geológica, estão expostos às mesmas condições climatéricas e recebem a mesma precipitação anual média, embora o rio Âncora tenha uma bacia hidrográfica menor do que a do rio Neiva, e consequentemente tenha caudais menores.

Relativamente às taxas de erosão, as determinadas para o rio Âncora variam consideravelmente entre os 5 trechos, não correspondendo a taxa de erosão máxima à secção que apresenta maior susceptibilidade à erosão segundo o indicador BEHI e a classificação de Pfankuch. Para os trechos 1 e 3 a taxa de erosão determinada foi de 0,24 m/ano, enquanto que para os trechos 2 e 5 foi de 0,76 m/ano e para o trecho 4 foi de 1,83 m/ano.

As taxas de erosão obtidas para o rio Âncora são elevadas, mas note-se que a recolha dos dados para a determinação do indicador BEHI, foi realizada após um Inverno bastante rigoroso e com a ocorrência de vários picos de cheia, que instabilizaram bastante as margens e removeram grande parte da protecção do talude, nomeadamente a vegetal, tal como foi possível verificar aquando a recolha dos dados durante o mês de Abril.

A recuperação das margens nestas condições, é um processo demorado, estando por isso bastante vulneráveis a caudais de cheias mais reduzidos, que noutras condições não criariam problemas de estabilidade às margens.

No início de Junho foi realizada uma visita ao troço analisado do rio Âncora para a recolha de dados adicionais, verificando-se que na sequência da precipitação que ocorreu na última semana de Maio e primeira de Junho, o caudal do rio aumentou causando fenómenos de instabilidade no trecho 3, que

depositaram junto ao pé do talude algum material das margens. As figuras 7.3 a e 7.3 b mostram e permitem comparar a margem do trecho 3 do rio Âncora em Abril e em Junho, respectivamente.



a)



b)

Figura 7.3 - Rio Âncora, trecho 3, a) Aspecto da margem em Abril; b) Aspecto da margem no início de Junho.

A queda do material da margem nestas condições atesta a vulnerabilidade que as margens ainda possuem às acções do escoamento, em virtude de não possuírem uma adequada protecção vegetal.

Vulnerabilidade que é traduzida nas categorias de risco do BEHI, e consequentemente na determinação das taxas de erosão. Na realidade, no BEHI a cobertura vegetal entra na determinação de dois parâmetros, na densidade ponderada de raízes e na protecção do talude, tornando-se evidente que uma melhoria da cobertura vegetal diminuiria a categoria de risco do indicador BEHI.

Na realidade a determinação da categoria de risco de BEHI deveria ter sido efectuada numa altura mais favorável, quando as margens apresentassem a cobertura vegetal característica, tal como no final do Verão, mas o período de tempo correspondente à realização deste estudo (2º semestre escolar), não o permitiu.

Assim, em virtude de uma provável melhoria da estabilidade das margens por via do restabelecimento da cobertura vegetal, é previsível que a taxa de erosão anual verificada seja, na realidade, inferior aos valores determinados.

No rio Neiva as margens dos trechos analisados não apresentam sinais graves de erosão, verificando-se que as margens têm um elevado revestimento vegetal. A taxa de erosão prevista é bastante mais baixa do que a determinada para o rio Âncora, situando-se entre os 5 e os 12 cm/ano.

A aplicação da classificação de Pfankuch às margens dos troços do rio Âncora e Neiva, foi feita com o intuito de relacionar a estabilidade das margens com as taxas de erosão determinadas, uma vez que a validação dos resultados teve de ser feita recorrendo a métodos indirectos.

Nos trechos do rio Âncora, especialmente os trechos 1 e 4, a estabilidade das margens avaliada pela classificação de Pfankuch não corrobora as taxas de erosão previstas, ou seja, as taxas de erosão são baixas e as margens apresentam, segundo a classificação de Pfankuch, uma elevada estabilidade, ou vice-versa, tabelas 7.8 e 7.9.

A margem do trecho 1 obteve uma avaliação na estabilidade de Má, e uma taxa de erosão prevista de 0,24 m/ano, o trecho 4 obteve uma avaliação na estabilidade de Boa e uma taxa de erosão prevista de 1,83 m/ano. É notório que a classificação de Pfankuch e a taxa de erosão são incompatíveis nestes dois

trechos. Aliás, a compatibilidade entre a estabilidade lateral e as taxas de erosão está apenas patente, em todos os trechos, no rio Neiva.

De modo a observar melhor esta relação foi realizado um gráfico, figura 7.4, onde se relaciona o somatório de Pfankuch de cada trecho, eixo abcissas, com a taxa de erosão prevista, eixo das ordenadas. Os valores dos trechos 1 e 4 do rio Âncora devido à referida incoerência demonstrada, foram excluídos.

A aplicação de uma lei de regressão potencial ao conjunto de pontos, permitiu a obtenção de um R^2 de 0,801, estando também indicado no gráfico a equação que relaciona as duas variáveis.

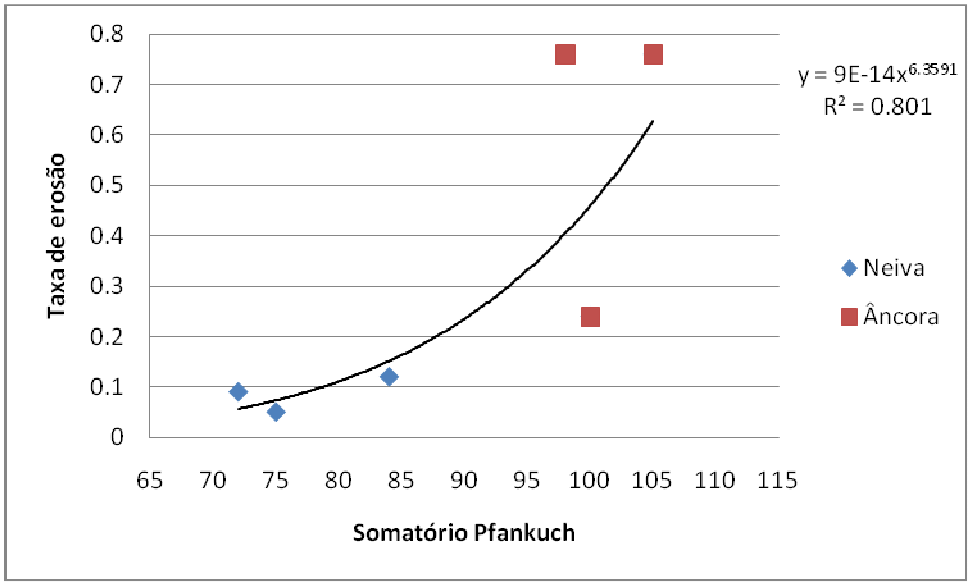


Figura 7.4 - Relação entre a classificação de Pfankuch e a taxa de erosão.

A figura 7.4 prova que existe uma razoável relação entre a estabilidade das margens, determinada através da classificação modificada de Pfankuch, e das taxas de erosão determinadas através do método BANCS. Pode ainda verificar-se que quando a estabilidade aumenta a taxa de erosão diminui, rio Neiva, pontos a azul.

A determinação das tensões actuantes na margem, avaliadas com base na realização dos perfis de velocidade recolhidos e para o caudal dominante, e a consequente comparação com as tensões resistentes do material da margem, tabela 7.14, permite afirmar que os trechos 1, 2 e 5 do rio Âncora têm uma tensão actuante nas margens superior à resistente, significando que, à luz destes valores, os caudais que normalmente são escoados no rio provocam a erosão das margens, nos restantes trechos do rio Âncora e do rio Neiva, essa situação não ocorre.

Relativamente às tensões actuantes nas margens para o caudal dominante, verifica-se que as margens de todos os trechos estão sujeitos à erosão, sendo a diferença entre tensões resistentes e actuantes mais elevadas no rio Âncora.

8

SOLUÇÕES ADOPTADAS NA PROTECÇÃO E REFORÇO DAS MARGENS CONTRA A EROSÃO

8.1. OBJECTIVOS

A protecção e o reforço das margens de rio tem como objectivo impedir a erosão das margens devido à acção do escoamento. As correspondentes soluções a adoptar devem estar de acordo com o tipo de acções actuantes, com os mecanismos de instabilidade e de rotura presentes no talude da margem, assegurar uma boa integração paisagística e o bom funcionamento do ecossistema ribeirinho, não causar alteração do estado de equilíbrio em troços contíguos à margem intervencionada e estar em concordância com a categoria do troço do rio, de acordo com o sistema de classificação, adoptado.

A compatibilidade de todos estes condicionalismos na elaboração e implementação de uma solução de protecção das margens para um local específico, requer o estabelecimento de pontos de referência prioritários. A título de exemplo, o uso de soluções leves de bioengenharia em locais com elevadas tensões de arrastamento é certamente desaconselhável do ponto de vista da estabilidade a médio prazo, sendo preferível adoptar uma solução estrutural tradicional. Neste exemplo estão em conflito a componente de integração paisagística e a componente das acções actuantes.

Torna-se assim claro que a implementação de uma solução óptima que seja prática e exequível é uma tarefa muito complicada, sendo mais razoável a utilização de soluções que minimizem alguns dos principais condicionalismos referidos. Porém, a identificação dos condicionalismos a minimizar e posterior avaliação da adequabilidade da solução carecem de metodologias de avaliação, e de exemplos de intervenções realizadas em número suficiente, de modo a que se possa construir um quadro de referência credível. Tendo em conta, que as metodologias existentes, corresponde frequentemente recomendações muito vagas e genéricas.

A existência de uma metodologia capaz de relacionar a categoria de rio, segundo um determinado sistema de classificação, com os problemas típicos de instabilidade e de rotura das margens de um determinado tipo de rio, seria, sem dúvida um passo importante no sentido ajustar o tipo de intervenção na margem ao comportamento característico do rio. Caso seja possível relacionar estes dois parâmetros, sendo expectável que se possam obter melhores resultados tanto no campo da durabilidade da solução como no campo da manutenção, assim como a melhoria do sistema ecológico ribeirinho. Apesar de não existir ainda uma metodologia que permita obter tais objectivos, e face a estas limitações, para a elaboração das diversas propostas de reforço da estabilidade das margens dos rios Âncora e Neiva, foram utilizadas as recomendações feitas por Hoag e Fripp (2002) e Rosgen (1994, 2004). Estes autores fazem recomendações acerca do tipo de intervenção a utilizar e do

correspondente grau de eficiência expectável para as intervenções, tendo por base o tipo de rio determinado segundo o sistema de classificação proposto por Rosgen.

8.2. ESTADO DE EROSÃO NA ZONA DO RIO ÂNCORA

A zona estudada do rio Âncora, está situada na zona estuarina do rio junto à foz. A proximidade do mar tem influência ao nível do comportamento do rio, nomeadamente devido à existência dos ciclos de maré. Na realidade, as marés perturbam e condicionam o escoamento normal do rio, tornando mais difícil a avaliação dos factores erosivos dominantes.

Tal como foi referido no Capítulo 5, quando da descrição do troço de estudo, o canal do rio é delimitado em toda a sua extensão pela duna do Caldeirão, existindo ou não, dependendo do trecho em questão, zona de patamar de cheias. No último Inverno, início de 2010, a erosão das margens no troço foi particularmente grave devido à ocorrência de várias cheias tendo-se assistido a um recuo significativo da margem., os diversos temporais e a agitação marítima também degradaram a duna na parte da praia.

Caso se desse o rompimento da duna a agitação marítima introduziria grandes quantidades de água salgada no sapal, conduzindo a grandes danos no ecossistema aí existente. Com o rompimento da duna ocorreria também a introdução de uma grande quantidade de areia no canal do rio, o que provocaria perturbações ao escoamento e poderia causar instabilidade no leito do canal do rio nos troços de montante.

Na verdade, a rotura da duna já aconteceu uma vez em meados da década de 90 do século passado. Este acontecimento obrigou à reconstrução de toda zona, incluindo a duna e o canal do rio. Passados 15 anos, a erosão ameaça novamente o rompimento da duna do caldeirão, sendo de prever, se nada for feito, que a situação ocorrida nos anos 90 aconteça de novo, com graves impactos ecológicos e económicos. Seria assim, mais sensato, a todos os níveis, intervir já e realizar as propostas de reforço da resistência das margens na parte ribeirinha, que deverão ser acompanhadas pela mitigação da erosão da duna na parte da praia. Na realidade, e tendo por base o referido, fará todo o sentido que haja uma intervenção simultânea e coordenada na parte marítima e na parte fluvial da duna.

8.3. ESTADO DE EROSÃO NA ZONA DO RIO NEIVA

O estado de erosão do troço analisado no rio Neiva não corresponde à situação de gravidade e emergência verificada no rio Âncora. A diferença dos dois casos pode ser confirmada através da taxa de erosão determinada e pelos resultados obtidos na classificação modificada de Pfankuch.

Segundo informações obtidas, nos últimos anos e desde a realização da intervenção junto da embocadura do rio, tem se assistido a uma acumulação de sedimentos na zona central do canal, verificando-se simultaneamente uma migração do talvegue para junto das margens. Salienta-se que estas informações foram fornecidas por residentes na zona, não existindo ainda, quaisquer registos numéricos nem estudos concretos da situação actual.

Esta situação, a verificar-se, pode agravar e ser agravada pela erosão das margens, uma vez que, como referido, a acumulação de sedimentos na zona central do canal conduz a uma migração do talvegue para as zonas mais próximas das margens. A concentração do escoamento junto às margens provoca uma maior erosão das mesmas, o que conduz à introdução de mais sedimentos no canal, criando ainda um maior desequilíbrio.

De um modo geral a zona analisada, desde o açude da capela de Santa Tecla até à foz, salvo locais particulares, apresenta bons sinais de estabilidade, ficando a mesma a dever-se ao tipo de material das margens e à existência de uma abundante e variada cobertura vegetal tanto por plantas herbáceas como por vegetação ripícola. A erosão das margens incide especialmente nos locais onde não existe essa vegetação ripícola, associado a uma má cobertura do talude por plantas herbáceas.

8.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A protecção das margens não é o objectivo principal deste estudo. Porém, faz todo o sentido que, depois de determinadas as taxas de erosão dos trechos e identificados os fenómenos de instabilidade e de rotura das margens, se tentem encontrar soluções que mitiguem a instabilidade das mesmas.

Para a elaboração das soluções a implementar nas zonas de estudos seguiram-se as recomendações fornecidas por Hoag e Fripp (2002) e por Rosgen (1994).

Hoag e Fripp (2002), propõem algumas estratégias de tratamento, fornecendo também, elementos sobre boas práticas de intervenção baseadas na classificação de rios de Rosgen de Nível I, no estado de erosão presente na margem e na altura da margem. Assim, para a categoria de rio C, presente nas duas zonas estudadas, para um rio que apresenta um alargamento do canal em resultado da erosão junto à base do talude, Hoag e Fripp sugerem que se deve restabelecer ou melhorar a vegetação ripícola existente, considerar uma eventual alteração para aumentar a largura do canal, proceder a um reperfilamento do talude da margens de modo a introduzir a protecção junto ao pé do talude, e que se devem utilizar técnicas de bioengenharia, onde necessário, de modo a aumentar a resistência da margem.

Rosgen por sua vez, avalia os diversos tipos de rio de acordo com a capacidade de resistência às alterações no canal, à potencial recuperação de equilíbrio do canal, à introdução de sedimentos no escoamento, ao potencial de erosão da margem e à influência da vegetação no controlo da erosão. O aspecto mais importante avaliado para a implementação de uma solução de estabilidade das margens é, sem dúvida, a influência da vegetação no controlo da erosão, que segundo Rosgen (1994) tem uma classificação de *Muito Elevado*, ou seja contribui activamente na protecção da margem. Apesar de avaliar todos estes aspectos Rosgen nunca menciona os fundamentos que estiveram na base da atribuição da classificação, nem o tipo de intervenções a realizar.

Cruzando as informações obtidas em Hoag e Fripp (2002) e em Rosgen (1994), observamos que ambos referem a importância da vegetação no incremento da estabilidade da margem e no aumento da resistência contra as acções do escoamento.

8.5. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA SOLUÇÃO ADOPTADA

A idealização de um determinado tipo de solução para protecção de uma determinada margem por si só vale muito pouco, sendo fundamental determinar a resistência à erosão que uma solução confere à margem. É essa resistência que determinará se a solução empregue na margem é adequada ou não.

A resistência das soluções empregues pode ser determinada consultando diversas tabelas tipo que especificam as resistências correspondentes aos diversos materiais. As acções actuantes em cada trecho foram determinadas através da velocidade média do escoamento, para o caudal dominante e para o caudal como um período de retorno de 10 anos. As velocidades serão calculadas utilizando o software HEC-RAS. Utilizando esta metodologia espera-se obter uma indicação da capacidade

resistente da solução, que permita fazer uma avaliação da adequação das soluções a adoptar para as margens.

8.6. SOLUÇÕES PROPOSTAS

8.6.1. RIO ÂNCORA

Tendo por base os pressupostos teóricos mencionados no ponto anterior, foram elaboradas duas soluções distintas para a protecção das margens do rio Âncora. Dependendo das soluções, podem ser utilizados materiais mais pesados junto ao pé do talude, nomeadamente gabiões e enrocamento, ou técnicas de bioengenharia, sendo que na parte superior da margem são utilizadas soluções que privilegiam o uso de vegetação herbácea.

Nas soluções preconizadas tentou-se alterar o menos possível o perfil das margens, pelo que, ao se enveredar por esta abordagem perdeu-se a possibilidade de utilizar vegetação ripícola no aumento da resistência das margens. Pois, os taludes têm uma altura elevada e o talvegue situa-se muito próximo da margem e tem uma elevada profundidade. A utilização de vegetação ripícola obrigaria a uma profunda alteração da geometria da margem e do canal. Por o troço em estudo está também sujeito a elevadas tensões de arrastamento, (se situar num troço curvo do rio), o que pode ser comprovado pelos valores da previsão das taxas de erosão obtidas. Embora a vegetação ripícola por si só tenha uma elevada resistência ao escoamento, esta resistência pode não ser suficiente para contrapor a acção do escoamento, o que significa que, em determinadas ocasiões de cheia, a vegetação será removida, deixando o material da margem exposto, sendo necessário realizar nova intervenção.

Os esquemas das diversas soluções propostas serão apresentados no Anexo L.

8.6.1.1. Proposta 1

A solução proposta utiliza sempre os mesmos fundamentos e materiais em todos os trechos, mas como foi referido na descrição dos trechos, a geometria e o material das margens sofrem grandes alterações ao longo do troço de rio analisado.

Para os trechos 1, 3, 4 e 5, a proposta 1 consiste em colocar uma protecção de gabiões junto ao pé do talude da margem ao longo dos trechos. Na parte superior do talude é previsto um reperfilamento da margem, que ficará com um declive de 3 para 2, revestindo-se depois todo o talude com uma tela de *Enkamat*, figura 8.1, e procedendo-se à realização de uma hidro-sementeira. O *Enkamat* é uma tela geotêxtil perfurada que permite a fixação de vegetação no solo, ao mesmo tempo que aumenta a resistência do material. A hidro-sementeira deverá ser de plantas herbáceas com grande densidade de raízes fasciculadas, de modo a tornar a camada superficial o mais resistente possível. No trecho 1 devido à altura da margem ser elevada e o material da margem ser areia, houve necessidade de serem realizadas algumas alterações. Assim, a margem será protegida com a tela de *Enkamat* até meia altura do talude, depois no restante talude, foi prevista a colocação de dois níveis contínuos de estacas verticais, com um diâmetro de 0,15m e com uma altura de 3,5 m. Deste modo, impede-se que o material da duna rompa comprometendo a estabilidade das camadas superiores, figura 8.2.

A margem do trecho 2 é um caso muito particular, pois tem uma profundidade média da água muito baixa (cerca de 35 cm), é composta por areia e tem uma grande altura, pois é comportada pela própria duna. Face a isto optou-se por, nesta proposta, utilizar somente *Enkamat* para proteger a margem colocando estaria viva para ajudar a fixar a tela. Neste troço a vegetação a colocar sobre a tela de *Enkamat* deverá ser adaptada às condições próprias do habitat dunar. Junto ao pé do talude será

colocada uma protecção rebaixada de enrocamento, de modo a evitar a infra-escavação das margens. A altura do talude até onde se aplicará a protecção será altura do leito dominante.



Figura 8.1 - Aspecto final de um talude protegido com *Enkamat*.

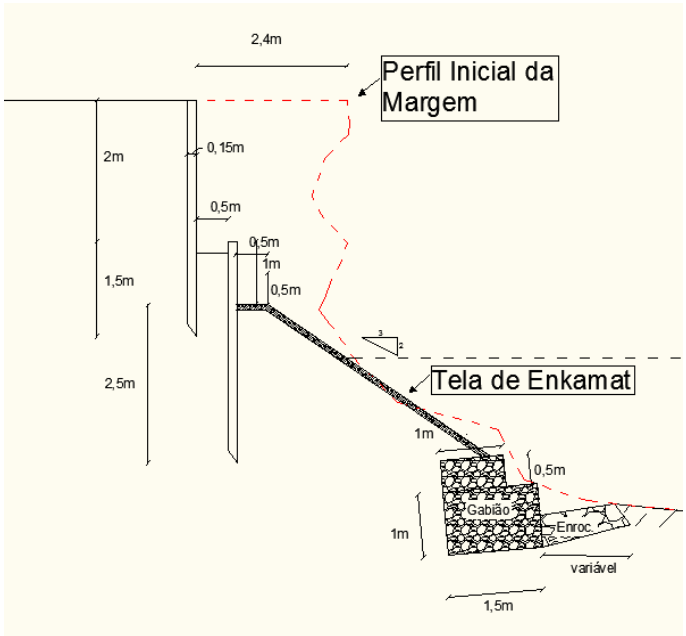


Figura 8.2 - Esquema da proposta 1 para o trecho 1, do rio Âncora.

A proposta 1 exige algum espaço para a sua implementação na zona em estudo, devido a requerer um ligeiro reperfilamento da margem. Na figura 8.3 apresenta-se uma fotografia aérea em que se procura mostrar a delimitação da largura que a implementação da proposta 1, permitindo realçar que a largura requerida para a implementação na margem direita, perturba pouco o perfil longitudinal do troço.



Figura 8.3 - Rio Âncora: Representação espacial da largura necessária para a implementação da proposta 1.

8.6.1.2. Proposta 2

A proposta 2 consiste na aplicação de um muro de contenção de troncos madeira com interposição de estacaria viva. A protecção de margens recorrendo a esta técnica de bioengenharia é bastante comum, quer seja com ou sem estacaria viva. Estes muros sendo de contenção são constituídos por troncos de madeira perpendiculares e paralelos à margem, entre os espaços dos troncos são introduzidos ramos de árvores, tais como salgueiros ou ulmeiros, juntamente com algum substrato. Como os ramos estão vivos, facilmente ganham raízes. Os troncos de madeira com o tempo e devido a estarem em contacto com a água vão-se decompondo adicionando mais substrato para a vegetação aí existente, figura 8.4.



Figura 8.4 - Aspecto final de um talude protegido com troncos de madeira com interposição de estacaria viva.

Na realidade, os troncos servem de protecção à margem e de sustentação dos ramos apenas na fase inicial, numa fase mais avançada, a resistência inicial dos troncos vai sendo substituída pela resistência fornecida pelas raízes dos ramos.

No caso da solução preconizada para o troço do rio Âncora o paramento do talude realizado com os troncos terá uma inclinação de 1 para 1, na transição da margem para o leito do rio será colocado enrrocamento de modo a evitar a infra-escavação. No trecho 1, a parte superior da margem será composta por dois patamares de estacas tal como o sugerido para a proposta 1, figura 8.5.

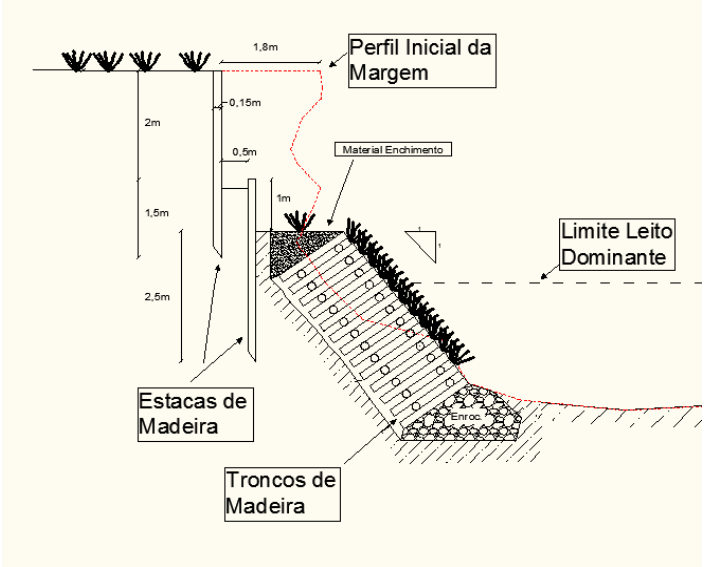


Figura 8.5 - Rio Âncora: Esquema da proposta 2 para o trecho 1.

8.6.2. RIO NEIVA

As margens do troço analisado do rio Neiva apresentam poucos sinais de instabilidade, como se pode verificar pelas taxas de erosão previsíveis calculadas, e pela classificação obtida na avaliação da estabilidade lateral. Pôde-se também verificar que nos locais onde existia vegetação ripícola, as margens não apresentavam quaisquer sinais de instabilidade. A vegetação apresentava um grande vigor, e uma grande densidade de raízes, havendo ainda alguns locais onde a faixa de margem protegida atingia alguns metros de largura.

Deste modo, com base nas observações realizadas e nos fundamentos teóricos fornecidos por Hoag e Fripp (2002), propõe-se para os trechos 2 e 3 do rio Neiva a utilização de vegetação ripícola, para estabilizar as margens esquerda e direita, respectivamente. No trecho 1 as condições da margem esquerda, nomeadamente a presença de rochas e a relativa profundidade do escoamento verificada, aliadas à proximidade das casas à margem, impedem um reperfilamento da margem assim como a utilização de vegetação ripícola.

Neste caso, a melhor solução seria uma reprodução da proposta 2 do rio Âncora. Contudo, esta proposta poderia acarretar alguns problemas à circulação de veículos na estrada de acesso à foz, devido ao um possível estreitamento da via, resultante do crescimento da vegetação. A utilização de uma solução deste tipo teria que ser acompanhada pela proibição do acesso automóvel naquela estrada, e a intervenção nas margens fizesse parte de uma intervenção global na zona da foz.

Nesse caso, o tipo de vegetação deveria ser do mesmo tipo da presente ao longo do canal, ou seja caniços. Este tipo de vegetação seria o ideal para proteger as margens naquele trecho, pois as suas raízes penetram no solo e formam uma estrutura compósita que é extremamente resistente às acções do escoamento. O facto de serem um tipo de vegetação que tem um porte elevado, ajuda também a proteger o talude ao longo de toda a altura, sendo previsível que com o aumento da altura de água em situação de cheia essa protecção diminua devido à incapacidade da parte superior do tronco da vegetação resistir às acções do escoamento.

A utilização de vegetação ripícola, representada a vermelho na figura 8.6, não requer o reperfilamento da margem em nenhum dos trechos. O talvegue do rio não se situa mesmo junto à margem, tal como acontece no rio Âncora, e por isso existe espaço para que a vegetação possa ser colocada logo junto ao pé do talude.

Será também conveniente a par da introdução da vegetação ripícola, a criação de um corredor vegetal ao longo das margens através da plantação de arbustos ou de árvores de pequeno porte, figura 8.6. Esta medida visa evitar que as máquinas agrícolas, que trabalham nas explorações adjacentes ao rio, se aproximem demasiado das margens, especialmente da margem direita. O peso das máquinas introduz sobrecargas importantes no talude, que caso já tenham sido instabilizadas podem entrar em rotura. A rotura além de introduzir quantidades importantes de material também expõe o material do talude que não tem cobertura vegetal, e como se viu apresenta menor resistência ao escoamento.

A figura 8.6 retrata a localização espacial das diferentes propostas de protecção das margens no troço de rio estudado.



Figura 8.6 - Rio Neiva: Localização espacial das medidas de protecção sugeridas.

8.7. RESISTÊNCIA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

A determinação da resistência das soluções proposta é uma tarefa difícil, pois cada componente que faz parte da solução tem uma resistência específica e a resistência total da solução resulta da contribuição de todos os componentes.

A proposta 1 do rio Âncora será composta por gabiões junto ao pé do talude e por uma tela de *Enkamat* com vegetação na parte superior do talude. O elemento que apresenta menos resistência ao escoamento será a tela de *Enkamat*. Segundo dados do fabricante, Colbond, a resistência do *Enkamat* com uma cobertura de plantas herbáceas é de cerca 290 N/m^2.

A proposta 2 é composta por um muro de contenção de madeira com estacaria viva, estando a resistência destas estruturas dependente do material de enchimento, rochas ou terra, e da idade da vegetação. A estrutura com enchimento, se feita em rochas, e logo após a instalação, possui uma resistência de 190 N/m^2 e de 95 N/m2 quando o enchimento é feito com terra. Para estruturas mais antigas, onde houve tempo para a vegetação se estabelecer e crescer, a resistência aumenta até aos 287 N/m^2 no caso do enchimento com rochas e 240 N/m^2 quando o enchimento é realizado com terra, NRCS (2007).

A proposta do rio Neiva para o trecho 1 tem a mesma resistência expectável da proposta 2 do rio Âncora. Relativamente à vegetação ripícola a resistência irá depender da maturidade e idade das plantas. A resistência varia entre 60 N/m^2 logo após a plantação e entre 80 a 100 N/m^2 após alguns anos, NRCS (2007).

8.8. TENSÕES ACTUANTES PARA UM CAUDAL COM UM PERÍODO DE RETORNO DE 10 ANOS

As tensões actuantes serão determinadas utilizando o mesmo procedimento de determinação das tensões actuantes nas margens utilizando o caudal dominante. O HEC-RAS fornece as velocidades médias na secção de escoamento mediante a introdução dos perfil transversal do trecho a analisar e do caudal. Com os resultados fornecidos pelo HEC-RAS é também possível determinar a profundidade média do escoamento ($d_{média}$), dividindo a área da secção do escoamento pela largura superficial do escoamento no canal, parâmetros também fornecidos pelo programa. Os valores das tensões médias de arrastamento no leito (τ_{10}) são determinados através da fórmula (7.9) utilizando a profundidade média do escoamento em vez do raio hidráulico. As tensões actuantes nas margens ($\tau_{margem10}$), serão determinadas multiplicando as tensões médias actuantes de arrastamento no leito (τ_{m10}) pelo factor 0,76, tabela 8.1.

Tabela 8.1 - Tensões actuantes nas margens para o caudal com um período de retorno de 10 anos.

Trechos (Âncora)	**$d_{média}$ (m)**	**D_{50} (mm)**	**n**	**U (m/s)**	**τ_{10} (N/m^2)**	**majoração**	**τ_{m10} (N/m^2)**	**$\tau_{margem10}$ (N/m^2)**
1	1,48	0,85	0,046	1,75	55,7	1,7	94,7	72,0
2	1,81	0,88	0,046	1,14	22,2	1,1	24,4	18,5
3	1,66	1,50	0,051	1,09	25,6	1,7	43,5	33,1
4	1,49	2,60	0,056	1,3	45,5	1,35	61,4	46,7
5	1,50	4,40	0,061	1,32	55,6	1,1	61,1	46,5
Trechos (Neiva)								
1	1,74	1,35	0,05	1,4	39,9	1,1	43,9	33,4
2	1,48	2,10	0,054	1,68	70,8	1,1	77,9	59,2
3	1,86	1,95	0,053	1,74	67,8	1,1	74,6	56,7

As tensões de arrastamento actuantes nas margens para um caudal com um período de 10 anos ficam muito abaixo da resistência das soluções propostas. No rio Âncora, conforme referido, a proposta 1 segundo dados do fabricante, tem uma resistência de 290 N/m^2, valor bastante superior ao valor de 72 N/m^2 correspondentes às tensões previsíveis para o trecho 1. A proposta 2, que é composta por um muro de troncos com estacaria viva logo após a construção, utilizando terra como material de enchimento, e por isso uma opção menos robusta, resiste às já referidas acções do escoamento previstas para o trecho 1, visto que tem uma resistência expectável de 95 N/m^2.

No rio Neiva a tensão resistente da solução proposta para o trecho 1, é semelhante à proposta 2 para o rio Âncora é de 95 N/m^2. Nos restantes trechos, onde se propõe utilizar vegetação ripícola, a tensão resistente logo após a plantação é quase a mesma da tensão actuante, o que poderia causar a remoção dessa vegetação caso se verificasse uma cheia logo após a realização da intervenção, a resistência a longo prazo, devido ao crescimento vegetação ripícola, varia entre 80 e 100 N/m^2, o que, à partida, não deve causar problemas de instabilidade.

Apesar de as tensões resistentes das soluções serem bastante superiores às tensões actuantes previsíveis para um caudal como um período de retorno de 10 anos, isto não significa que não possam haver problemas de instabilidade. A instabilidade, a acontecer, poderá ficar a dever-se a fenómenos localizados, resultantes de pontos fracos na estrutura de protecção ou do aumento das tensões actuantes devido a correntes secundárias.

9
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1. CONCLUSÕES

A metodologia proposta no Capítulo 3, revelou-se de um modo geral, suficiente para a determinação das taxas de erosão para os troços de rio analisados. Os métodos utilizados no Capítulo 7, para o tratamento dos dados e análise dos resultados, mostraram-se fundamentais para a validação dos resultados na ausência de métodos directos, nomeadamente a inexistência do registo das regressões das margens e/ou fotografias aéreas.

O sistema de classificação de rios naturais proposto por Rosgen, mostrou-se adequado para caracterizar os troços de rio analisados, produzindo duas características distintas C4c- e C5c-. O sistema de Rosgen requer ainda a recolha de vários dados *in-situ*, havendo no entanto algumas críticas fazer relativamente ao método de recolha das amostras de sedimentos do leito. O procedimento referido apenas como adequado para rios com leito de seixos, não sendo feita nenhuma referência ou sugerida alguma alteração para rios com leito predominantemente em gravilha e areia.

O método BANCS forneceu boas estimativas da taxa de erosão para o rio Neiva mas mostrou-se inconclusivo na generalidade dos trechos do rio Âncora. Na realidade, os resultados obtidos para o rio Âncora, foram influenciados pela atribuição da categoria de risco de BEHI às margens, efectuados após um período onde se registaram vários picos de cheia, que removeram a protecção (essencialmente a vegetal) do talude. Será previsível que a aplicação e avaliação do BEHI à mesma margem, quando esta apresente uma cobertura vegetal recuperada e restabelecida, conduza a taxas de erosão menores. Este facto parece ser apoiado pelo estado de erosão no rio Neiva, onde as margens têm uma boa cobertura vegetal e apresentam poucos sinais de instabilidade. Para este rio, as categorias de risco de BEHI foram inferiores às determinadas para o rio Âncora, verificando-se que o mesmo acontece para as taxas de erosão.

Nota-se também que o indicador BEHI tem mais influência na determinação da taxa de erosão do que o indicador NBS, verificando-se que os dois rios estudados possuem categorias de NBS semelhantes, mas categorias de BEHI bastante díspares, sendo as taxas de erosão mais elevadas à medida que a categoria de risco de BEHI é mais elevada.

Verificou-se também uma incapacidade em atribuir as categorias de risco às margens com base no indicador NBS, podendo esta dificuldade advir da inabilidade em quantificar os fenómenos que se desenvolvem na zona do canal junto à margem.

Harmel (1997) fez a seguinte crítica, " *Individualmente, o indicador de avaliação do potencial de erosão (BEHI) e a classificação de estabilidade lateral de Pfankuch forneceram boas aproximações para a erosão das margens, contudo as estimativas de NBS não foram bem sucedidas neste campo, verificando-se que o indicador NBS falha na atribuição da categoria de risco aos efeitos responsáveis pela erosão das margens. Tal falha deve-se a uma má caracterização dos fenómenos erosivos, quer pela relação de tensões quer pelo gradiente de velocidades.* ".

As afirmações de Harmel (1997), ajudam a explicar as dificuldades encontradas na determinação da categoria de risco de NBS nos rios Âncora e Neiva. A falta de informação acerca do procedimento a adoptar na ponderação das categorias de risco de NBS determinadas por diferentes métodos, contribui para que o procedimento de determinação da categoria de NBS seja aquele que suscita maior fonte de críticas após aplicação do método BANCS.

A impossibilidade de validar os dados de forma directa, criou a necessidade de utilizar vários métodos alternativos de validação, tais como: a classificação modificada de Pfankuch; a determinação das tensões de arrastamento nas margens com base nos perfis de velocidade medidos *in-situ;* a determinação das tensões actuantes nas margens para caudais com diversos períodos de retorno utilizando o *software* HEC-RAS; e, a determinação das tensões resistentes das margens, que foram essenciais para se poder avaliar correctamente o estado de erosão das margens. Podendo afirmar-se que em certos trechos do rio Âncora, para o estado das margens encontrado aquando a recolha dos dados, que a remoção do material do talude ocorre para caudais da ordem dos 3 m^3/s, bastante inferiores ao caudal dominante. Para o caudal dominante, todas as secções dos dois rios experimentavam remoção do material da margem.

A comparação da resistência das soluções preconizadas para a estabilização das margens com as tensões actuantes nas margens para um caudal com um período de retorno de 10 anos, revelou que as soluções resistiam às solicitações do escoamento.

O papel que a cobertura vegetal e a composição do material da margem desempenham na estabilidade ficou também comprovado, verificando-se que as margens com cobertura vegetal de plantas herbáceas e compostas por materiais com elevadas percentagens de argilas e siltes têm uma maior resistência às acções do escoamento, ao contrário das margens com pouco revestimento vegetal e compostas essencialmente por materiais granulares que têm menor resistência às acções do escoamento.

Foi possível também verificar que os fenómenos de instabilidade do talude da margem estão concentrados junto ao pé do talude, local onde existe uma deficiente cobertura vegetal

9.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos foi possível verificar que o rio Âncora apresenta um maior risco de erosão das margens do que o rio Neiva. Esta afirmação pode ser comprovada, não só analisando a componente do BEHI do método BANCS, mas também através: da geometria e material da margem e da cobertura vegetal; da obtenção e ponderação da classificação modificada de Pfankuch; das tensões actuantes nas margens para diversos caudais; e, por comparação com as tensões resistentes das margens.

A metodologia proposta no Capítulo 3 revelou-se capaz de determinar a taxa de erosão nas margens de dois rios do Norte de Portugal. Contudo os problemas encontrados ao nível da determinação da categoria de risco de NBS levantam algumas reservas acerca da aplicação do método BANCS nos moldes propostos pela formulação original de Rosgen. O conjunto de procedimentos enumerados no

Capítulo 7, e adoptados na análise dos resultados, permitiram ultrapassar algumas das dificuldades levantadas pela falta de dados de regressão das margens e de fotografias aéreas actuais.

O HEC-RAS mostrou ser uma ferramenta capaz de produzir bons resultados para a avaliação das velocidades médias do escoamento nas secções transversais dos trechos. Todavia, devido à limitação de tempo para realizar este estudo, as potencialidades do HEC-RAS não puderam ser totalmente exploradas, nem aplicadas noutros contextos.

9.3. TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se que seja efectuada mais investigação ao nível das categorias de risco de NBS, de modo a que seja possível possam atribuir as categorias de risco adequada e correctamente às margens.

Sugere-se também, que se realizem estudos semelhantes a outros rios do Norte de Portugal modo a que se possa criar uma base de trabalho fiável e forneça valores padrão acerca das taxas de erosão.

A criação de um registo contínuo de dados sobre as taxas de regressão das margens, ou o levantamento periódico de fotografias aéreas de áreas adequadas à avaliação da erosão das margens poderiam servir para validar futuros trabalhos, de forma a obter validações objectivas e credíveis.

A aplicação do sistema de classificação de rios naturais, a rios onde se proceda à implementação de medidas de reforço da estabilidade ou de controlo da erosão nas margens, permitiria colmatar uma das principais dificuldades encontradas na elaboração de soluções de protecção de margens, que é a falta de registos e/ou informações sobre os tipos de intervenções realizadas com base no tipo de rio. Este registo iria permitir encontrar as soluções de protecção mais adequada ao rio em questão tendo por base os resultados e dificuldade encontrados noutras situações similares.

BIBLIOGRAFIA

Beeson, C. E., Doyle, P. F. (1995). *Comparison of bank erosion at vegetated and non vegetated channel bends*. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) Vol. 31, No. 6, 8 Junho 2007, páginas 983-990, Wiley InterScience.

Bunte, K., Abt, S.R. (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring.* General Technical Report, RMRS-GTR-74, Maio 2001, United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service Rocky, Mountain Research Station, Fort Collins Colorado.

Casagli, N., Rinaldi, M., Gargini, A., Curini, A., (1997), *Pore water pressure and streambank stability: results from a monitoring site on the Sieve River, Italy.* Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 24, No. 12, 8 Novembro 1999, páginas 1095-1114, Wiley InterScience.

Chow, V.T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Inc, New York.

Cortes, R.M.V (2004), *Requalificação de cursos de água*, Instituto da Água.

Direcção Geral dos Recursos Naturais, (DGRN) (1990a). *A Bacia Hidrográfica do rio Âncora, Monografias sobre as bacias hidrográficas do Norte de Portugal.* Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais. Projecto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos do Norte, (PGIRH/N).

Direcção Geral dos Recursos Naturais, (DGRN) (1990b). *A Bacia Hidrográfica do rio Neiva, Monografias sobre as bacias hidrográficas do Norte de Portugal.* Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais. Projecto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos do Norte, (PGIRH/N).

Eng, C.K., McCandless, T.L., Starr, R.R. (2004). *Moores Run, Baltimore City, Maryland, Data Collection and Assessment Protocols for a Geomorphic Condition and Channel Stability Survey.*U.S Department of the Interior, U.S Fish and Wildlife Service, report CBFO-S04-03, Maio 2004.

Gatto, L.W. (1984). *Tanana River monitoring and research program: relationships among bank erosion, vegetation, soils, sediments, and permafrost on the Tanana River near Fairbanks, Alaska*. U.S Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Special Report, páginas 84-21.

Gatto, L.W. (1995). *Soil freeze -thaw effects on bank erodibility and stability*. U.S Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Special Report, páginas 95-24.

Graf, W.H. (1998). Hydrodynamic Considerations. In *Fluvial Hydraulics: Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry*, páginas 40-59. Editor John Wiley & Sons, New York.

Gray, D. H., MacDonald, A. (1989). *The role of vegetation in river bank erosion*. Páginas 218-223 *in* M. A. Ports, editor. Hydraulic engineering. Proceedings of the 1989 national conference on hydraulic engineering.

Guo, J., Julien, P.Y. (2005). *Shear Stress in Smooth Rectangular Open-Channel FLows*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 131, No. 1, Janeiro, 2005, páginas 30-37, American Society of Civil Engineers (ASCE).

Harman, A.W., (2008*). Natural Channel Design Review Checklist*. U.S Fish and Wildlife Service, preparado por, Baker Engineering NY Inc.

Harmel, R. D. (1997). *Analysis of bank erosion on the Illinois River in northeast Oklahoma*. Ph.D. thesis. Oklahoma State University. (Citado em Dissertation Abstracts International Part B: Science and Engineering, 1998, Vol. 59 (2)).

Harmel, R.D., Haan, C.T., Dutnell, R.C. (1999). *Evaluation of Rosgen's Streambank Erosion Potential Assessment in Northeast Oklahoma*. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) Vol. 35, No. 1, Fevereiro 1999, páginas 113-121, Wiley InterScience.

Hoag, C., Fripp, J. (2002). *Streambank Soil Bioengineering Field Guide for Baixo Precipitation Areas.* United States Department of Agriculture, National Design, Construction, and Soil Mechanics Center, (USDA-NRCS), Plant Material Center, Aberdeen, Idaho.

http://www.colbond-geosynthetics.com/cms/projectdata/pdf/Enkamat,%20EM-11-GB-03-2009.pdf Junho de 2010

http://www.epa.gov/warsss/pla/box08.htm. Maio de 2010

Jha, S., Western, A.W., Rutherfurd, I.D., Grayson, R.B. (2005). *Testing Uncertainty in a Model of Stream bank Erosion.* Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand (MODSIM05), Dezembro 2005, páginas 2714-2720.

Julian, J.P., Torres, R. (2006). *Hydraulic erosion of cohesive riverbanks.* Geomorphology 76 (2006), páginas 193-206, Elsevier Science Direct.

Kellerhals, R., Neill, C.R., Bray, D.I. (1972). *Hydraulic and geomorphic characteristics of rivers in Alberta*. River Engineering and Surface Hydrology Report 72-1, Alberta Research Council, Edmonton, Alta.

Kondolf, G. M., Curry, R. R. (1984). *The role of riparian vegetation in channel bank stability: Carmel River, California*. California riparian systems: ecology, conservation, and management, páginas 124-133.

Kondolf, G. M., Curry, R. R. (1986).*Channel erosion along the Carmel River, Monterey County, California*. Earth Surface Processes and Landforms Vol.11, No. 3, 18 Julho 2006, páginas 307-319, Wiley InterScience.

Kondolf, G.M., Piégay, H. (2005). Bed Sediment Measurement. In *Tools in fluvial geomorphology*, páginas 347-395. Editor John Wiley & Sons, New York.

Laubel, A., Svendsen L.M., Kronvang B., Larsen, S.E. (1999). *Bank erosion in a Danish Lowland stream system*. Hydrobiologia, Vol. 410, No. 0, Setembro 1999, páginas 279-285, Springer Netherlands.

Lawler, D. M., Grove J. R., Couperthwaite, J. S., Leeks G. J. L. (1999). *Downstream change in river bank erosion rates in the Swale-Ouse system, northern England.* Hydrological Processes Vol. 13, No. 7, 26 Maio 1999, páginas 977-992, Wiley InterScience.

Lencastre, A., Franco, F.M. (2006). Transporte Sólido. In *Lições de Hidrologia*, páginas 355-399.

Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P. (1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Co, San Francisco.

McNeil, W.J., Ahnell, W.H., (1964). *Success of pink salmon spawning relative to size of spawning bed materials*. US Fish and Wildlife Service Special Scientific Report, Fisheries No. 469.

Merrit, W.S., Letcher, R.A., Jakeman, A.J. (2003). *A review of erosion and sediment transport models.* Environmental Modelling and Software 18 (2003), páginas 761-799, Elsevier ScienceDirect.

Montgomery, D.R., Buffington, J.M. (1993). *Channel classification, prediction of channel response, and assessment of channel condition*. Report TFW-SH10-93-002 prepared for the SHAMW committee of the Washington State Timber/Fish/Wildlife Agreement.

Montgomery, D.R., Buffington, J.M. (1997). *Channel-reach morphology in mountain drainage basins.* Geological Society of America Bulletin 109 (5), páginas 596-611.

Nanson, G.C., Hickin, E.J. (1983). *Channel migration and incision on the Beatton River*. Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 109, No. 3, Março 1983, páginas 327-337.

Nanson, G.C.; Hickin, E.J. (1986). *A statistical analysis of bank erosion and channel migration in Western Canada*. Bulletin Geological Society of America, Vol. 97, No. 8, Abril 1986, páginas 497-504.

National Resources Conservation Service (NRCS) (2006). *Ruby River Watershed Total Maximum Daily Loads and Framework for a Water Quality Restoration Plan.* Total Maximum Daily Load (TMDL) Program*,* Montana Department of Environmental Quality (MDEQ).

National Resources Conservation Service (NRCS). (1983). *Erosion and sediment yield. In: proceedings from the channel evaluation workshop*. Ventura, California.

National Resources Conservation Service, (NRCS) (2007), Technical Supplement 14I, Streambank Soil Bioengineering, Part 654 National Engineering Handbook.

Pfankuch, D.J. (1975). *Stream Reach Inventory and Channel Stability Evaluation*. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, report R1-75-002. Government printing office, No. 696-260/200, Washington. D.C.

Prosser, I.P., Rustomji, P., Young, W.J., Moran, C.J., and Hughes, A.O. (2001). Constructing *river basin sediment budgets for the National Land and Water Resources Audit*. Technical Report 15/01, CSIRO Land and Water, Canberra, Austrália.

Ramos, C., (1996). *Quantification of stream channel morphological features: recommended procedures for use in watershed analysis and TFW ambient monitoring*. Timber, Fish and Wildlife, Report TFW-Am9-96-006.

Robert, A. (1997*). Characteristics of velocity profiles along rifle-pool sequences and estimates of bed shear stress*. Geomorphology 19 (1997), páginas 89-98, Elsevier.

Rosgen, D.L. (1994). *A Classification of natural Rivers*. CATENA Vol. 22, No. 3, Junho 1994, páginas 169-199. Elsevier ScienceDirect.

Rosgen, D.L. (1996). *Field Survey Procedures for Characterization of River Morphology.* Wildland Hydrology Consultants, field courses, Setembro 1996.

Rosgen, D.L. (2001a). *A Practical Method of Computing Streambank Erosion Rate*. 7th Federal Interagency Sediment Conference, Março 24-29, Reno, Nevada.

Rosgen, D.L. (2001b). *A Stream Channel Stability Assessment Methodology*. 7th Federal Interagency Sedimentation Conference. Março 24-29. Reno, Nevada.

Rosgen, D.L. (2001c). *A Hierarchical River Stability Watershed-based Sediment Assessment Methodology*. 7th Federal Interagency Sedimentation Conference. March 24-29. Reno, Nevada.

Rosgen, D.L. (2004). *Restoration WARSSS*. Apresentado em, 2004 Annual Meeting of the American Society of Agricultural and Biological Engineers. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Missouri.

Rowntree, K. M., Dollar, E. S. J. (1999). *Vegetation controls on channel stability in the Bell River, Eastern Cape, South Africa*. Earth Surface Processes and Landforms Vol. 24, No. 2, 18 Fevereiro 1999, páginas 127-134, Wiley InterScience.

Savery, T.S., Belt, G.H., Higgins, D.A. (2001). *Evaluation of the Rosgen Stream Classification System in Chequamegon-Nicolet Forrest, Wisconsin*. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) Vol. 37, No. 3, Junho 2001, páginas 641-654, Wiley InterScience.

Shields, A. (1936). *Application of Similarity Principles and Turbulence Research to Bed- load Movement*. In Ott, W.P. and Unchelen, J.C. (Tradutores), Mitteilungen der preussischen Nersuchsanstalt fur Wassed Brau end Schiffbuar. Report 167, California Institute of Technology, Pasedena, Califórnia.

Simon, A., Curini, A., Darby, S.E., Langendoen, E.J. (2000). *Bank and near-bank processes in an incised channel.* Geomorphology 35 (2006), páginas 193-217, Elsevier ScienceDirect.

Thorne, C. R. (1982). *Processes and mechanisms of river bank erosion*. Páginas 227-271 *in* R. D. Hey, J. C. Bathurst, and C. R. Thorne, editores. Gravel-bed rivers: fluvial processes, engineering and management. John Wiley & Sons Ltd., New York.

Thorne, C. R., Tovey, N.K. (1981). *Stability of composite river banks.* Earth Surface Processes and Landforms Vol. 6, No. 5, Setembro/Outubro 1981, páginas 469-484, Wiley InterScience.

United States Department of Agriculture, Forest Service (1994). *Stream Channel Reference Sites: An Illustrated Guide to Field Technique,* General Technical Report RM-245, Abril 1994.

United States Geological Survey, (USGS), (2004). *Determination of Channel-Morphology Characteristics, Bankfull Discharge, and Various Design-Peak Discharges in Western Montana,* Scientific Investigations Report 2004-5263 em cooperação com Montana Department of Transportation(MDT) e United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, Lolo National Forest.

Wolman, M.G. (1954). *A method of sampling coarse bed material*. American Geophysical Union, Transactions, Vol. 35, páginas 951-956.

ANEXO A – DESCRIÇÃO DAS CATEGORIAS DE RIO DO NÍVEL I DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RIOS NATURAIS DE ROSGEN

Quadro A1 - Descrição das categorias de rio de Nível I

Tipo	Descrição geral	*Entrenchment*	(W/D)	Sinuosidade	Inclinação	Relevo/solos/Características
Aa+	Canal muito inclinado e muito encaixado no vale, transporte de destroços.	<1,4	<12	1,0 a 1,1	>0,10	Mudança de inclinação muito acentuada, erosivo, leito rochoso ou sedimentar, grande potencial de transporte de calhaus, canais muito encaixados. Troços muito inclinados com fundões largos e profundos, existência de quedas de água.
A	Inclinado, encaixado no vale, rio com fundões/barras, com elevada energia e transporte de destroços, associado a solos sedimentares. Rio muito estável caso o leito seja em rocha ou em calhaus rolados.	<1,4	<12	1,0 a 1,2	0,04 a 0,10	Mudança de direcção acentuada, apresentam formas erosivas, sedimentares ou rochosas. Rio encaixado e confinado no vale. Apresenta fundões profundos e espaçados.
B	Grau de encaixe no vale moderado, inclinação moderada, canal dominado por rápidos, podendo apresentar fundões espaçados. Perfil, plano e margens muito estáveis.	1,4 a 2.2	>12	>1,2	0,02 a 0,039	Mudança de direcção moderada, deposição de material solto ou de solos residuais. Possui grau de encaixe no vale e razão (W/D) moderados. Vales apertados com inclinação suave. Predominância de rápidos com a existência ocasional de fundões.
C	Inclinação pequena, meandrizado, com barras nas curvas, fundão/barra, canais aluviais com plataforma de cheias bem definidos.	>2,2	>12	>1,4	<0,02	Vales largos com plataforma de cheia, solos aluviais. Ligeiramente encaixado no vale com um percurso meandrizado bem definido.

D	Canal entrançado com barras longitudinais e transversais, canal muito largo com erosão de margens.	n/d	>40	n/d	<0,04	Vales largos com depósitos de material solto e aluvial. Instabilidade lateral com fornecimento abundante sedimentos.
DA	Canais múltiplos estreitos e profundos com uma plataforma de cheia com muita vegetação e associada a pântanos. Mudança de inclinação muito suave com sinuosidade variável. Margens estáveis.	>4,0	>40	Variável	<0,005	Vales largos, com inclinações pequenas, solos aluvionares compostos por material fino. Canais múltiplos, com barras cobertas de vegetação lateralmente estáveis com plataformas de cheias amplas.
E	Inclinação pequena, canal meandrizado com fundões e barras, baixa razão (W/D) e pequena deposição. Canal muito eficiente e estável.	>2,2	<12	>1,5	<0,02	Material aluvial com plataforma de cheias. Muito sinuosos com margens com muita vegetação. Relação W/D muito baixa.
F	Rio encaixado no vale, meandrizado com fundões e barras com uma Relação largura profundidade elevada.	<1,4	<12	>1,4	<0,02	Encaixado no vale com leito muito erodido, inclinações suaves, com relação (W/D). Meandrizado, lateralmente instável com elevada erosão das margens.
G	Rio encaixado no vale com relação largura profundidade baixa e inclinações moderadas.	<1,4	<12	>1,2	0,02 a 0,039	Inclinações moderadas e baixa relação (W/D). Vales estreitos, ou muito encaixados em material aluvial ou solto. Instável, com problemas de controlo da inclinação e com elevada erosão das margens.

ANEXO B – FOLHAS DE MEDIÇÃO

B.1. Folhas Medição Categoria de Rio

Rio:____________________ Trecho:________________ Data: / /

Largura Leito Dominante (m)	Profundidade Máxima Terço Junto à Margem (m)
Inclinação Média Leito	Inclinação Média Leito Terço Junto à Margem

Rio:____________________ Trecho:_________________ Data: / /

Largura Leito Dominante (m)	Profundidade Máxima Terço Junto à Margem (m)
Inclinação Média Leito	Inclinação Média Leito Terço Junto à Margem

Rio:____________________ Trecho:_________________ Data: / /

Largura Leito Dominante (m)	Profundidade Máxima Terço Junto à Margem (m)
Inclinação Média Leito	Inclinação Média Leito Terço Junto à Margem

B.2. FOLHA MEDIÇÃO BEHI

Rio: **Trecho:** **Data:**

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**A**/**B** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	Altura da Margem (m) **A**	**D**/**A** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

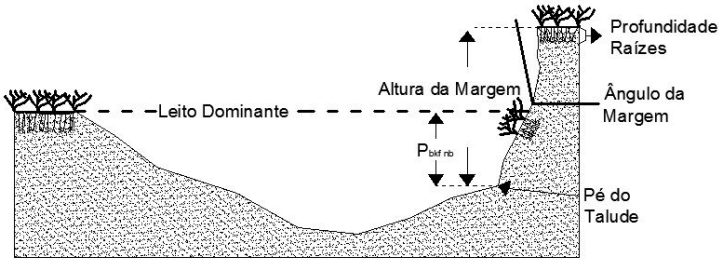
Densidade de Raízes (%) **F**	**F*E** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção Talude da Margem (%) **I**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**



Esquema Margem

B.3. FOLHA MEDIÇÃO VELOCIDADES

Rio:_____ Data: / /

Distância à Margem:_____ Trecho:_____ Profundidade:_____

Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)
Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)
Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)
Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)

Distância à Margem:_____ Trecho:_____ Profundidade:_____

Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)
Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)
Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)
Profundidade Medição (m)	Velocidade (m/s)

B.4. FORMULÁRIO PFANKUCH

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou das barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavação e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavação e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	**Razoável**	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavação e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	**Mau**	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequentes causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Continuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhante >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação e material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavação e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**

ANEXO C – MATERIAL UTILIZADO NA RECOLHA DE DADOS

C.1. MATERIAL UTILIZADO NA RECOLHA DOS DADOS *IN-SITU*



Figura C.1 - Mira topográfica dobrada.



Figura C.2 - Aparelho utilizado nas medições das velocidades, (a laranja - mala de transporte; a amarelo - controlador e barra graduada com o sensor que faz as leituras das velocidades)



Figura C.3 - Amostrador de McNeil.

ANEXO D – PERFIS TRANSVERSAIS, DETERMINAÇÃO DA SINUOSIDADE E IDENTIFICAÇÃO DO W_{FPA}

D.1. RIO ÂNCORA

Tabela D.1 - Pontos recolhidos no trecho 1 do rio Âncora.

Distância Margem (m)	Profundidade (m)
0 (margem Direita)	0
1	0,33
2	0,65
3	0,7
4	0,75
5	0,75
7	1,05
8	1,25
9	1,38
10	1,3
11	0,93
13	0,95
14	0,84
15	0,66
17	0,8
18	0,9
19	0,93
20	1,05
21	1,23
22	1,5
23	1,68
24	1,83
25,5	2,16
26,5	2,25
27,5	2,37
29	2,45
31	2,25
32	1,9
33	1,35
34	0,7
34,7	0

Tabela D.2 - Pontos recolhidos no trecho 2 do rio Âncora.

Distância Margem (m)	**Profundidade (m)**
0 (margem Direita)	0
0,5	0,3
1	0,55
1,5	0,82
2	1,12
3	1,16
4	1,11
5	1,15
6	1,18
7	1,3
8	1,28
10	1,23
12	1,28
14	1,34
16	1,33
18	1,24
20	1,38
21	1,41
22	1,49
23	1,55
24	1,58
25	1,54
26	1,57
27	1,57
28	1,54
29	1,51
30	1,52
31	1,57
32	1,54
33	1,24
34	1,04
35	0,84
38	0

Tabela D.3 - Pontos recolhidos no trecho 3 do rio Âncora.

Distância Margem (m)	**Profundidade (m)**
0 (margem Direita)	0
1	0,17
2	0,2
3	0,28
4	0,32
5	0,41
6	0,55
7	0,58
8	0,65
9	0,66
10	0,73
11	0,89
12	1
13	1,42
14	1,55
15	1,62
16,5	1,79
18	1,89
19,5	2,15
21	2,31
22,5	2,38
24	2,35
25,5	2,28
27	2,17
28	1,93
30	1,54
31	0,88
32	0,7

Tabela D.4 - Pontos recolhidos no trecho 4 do rio Âncora.

Distância Margem (m)	**Profundidade (m)**
0 (margem Esquerda)	0
0,2	0,8
0,3	0,83
0,5	0,9
0,8	1,02
1	0,95
1,5	1,55
2	1,94
3	2,1
4	2,12
5	2,05
6	1,94
7	1,82
8	1,78
9	1,7
10	1,59
11	1,4
12	1,32
13	1,19
14	1,05
15	0,95
18	0,82
21	0,73
23,2	0,64
24,2	0,55
25	0,35
28,35	0

Tabela D.5 - Pontos recolhidos no trecho 5 do rio Âncora.

Distância Margem (m)	**Profundidade (m)**
0 (margem Esquerda)	0
0.5	0.66
1	1.11
1.5	1.48
2	1.7
3	1.85
4	1.91
5.5	1.8
7	1.6
8.5	1.51
10	1.38
12	1.3
14	1.21
16	1.11
18	1.05
19	0.86
19.5	0.74
20.5	0.56
23.7	0

D.2. RIO NEIVA

Tabela D.6 - Pontos recolhidos no trecho 1 do rio Neiva.

Distância Margem (m)	Profundidade (m)
0	0,95
1,25	1,36
2,5	1,6
3	1,68
3,5	1,75
4	1,9
4,5	1,95
5	2,17
6	2,41
7	2,74
8	2,81
9	3,02
10	2,85
11	2,88
12	2,9
13	2,88
14	2,8
15	2,85
16	2,69
17	2,6
18	2,51
19	2,44
20	2,39
21	2,36
22	2,29
23	2,21
24	2,17
25	2,17
26	2,15
27	2,1
28	2,07
29	2,06
30	2,1
31	2,07
32	2,05
33	2,21
34	2,2
35	2,23
36	2,26

Tabela D.6 - Pontos recolhidos no trecho 1 do rio Neiva, (continuação).

Distância Margem (m)	Profundidade (m)
37	2,03
38	2,03
39	1,95
40	1,85
41	1,76
42	1,68
43	1,66
44	1,6
44,7	1,65
46	1,66
47	1,69
48	1,72
49	1,7
50	1,66
51	1,6
52	1,57
53	1,52
54	1,36
54,5	1,17

Tabela D.7 - Pontos recolhidos no trecho 2 do rio Neiva.

Distância Margem (m)	Profundidade (m)
0	0
1,5	1,18
1,9	1,45
2,4	1,68
2,9	1,79
3,4	1,83
4,4	1,86
5,4	1,92
6,4	1,97
7,4	2,06
8,4	2,04
9,4	2,07
10,4	2,06
11,4	2,04
12,4	2,04
13,4	2,04
14,4	2,04
15,4	2,1
16,4	2,09
17,4	2,07
18,4	2,05
19,4	2
20,4	1,97
21,4	1,96
22,4	1,95
23,4	1,93
24,4	1,91
25,4	1,88
26,4	1,86
27,4	1,84
28,4	1,75
29,4	1,74
30,4	1,71
31,4	1,67
32,4	1,62
33,4	1,62
34,4	1,54
35,4	1,44
36	1,39
37	1,38

Tabela D.7 - Pontos recolhidos no trecho 2 do rio Neiva, (continuação).

Distância Margem (m)	Profundidade (m)
38	1,34
39	1,34
40	1,44
41	1,44
42	1,38
43	1,35
44	1,32
45	1,29
46	1,27
47	1,27
48	1,25
49	1,21
49,5	1,05
49,75	0,88
50	0,67

Tabela D.8 - Pontos recolhidos no trecho 3 do rio Neiva.

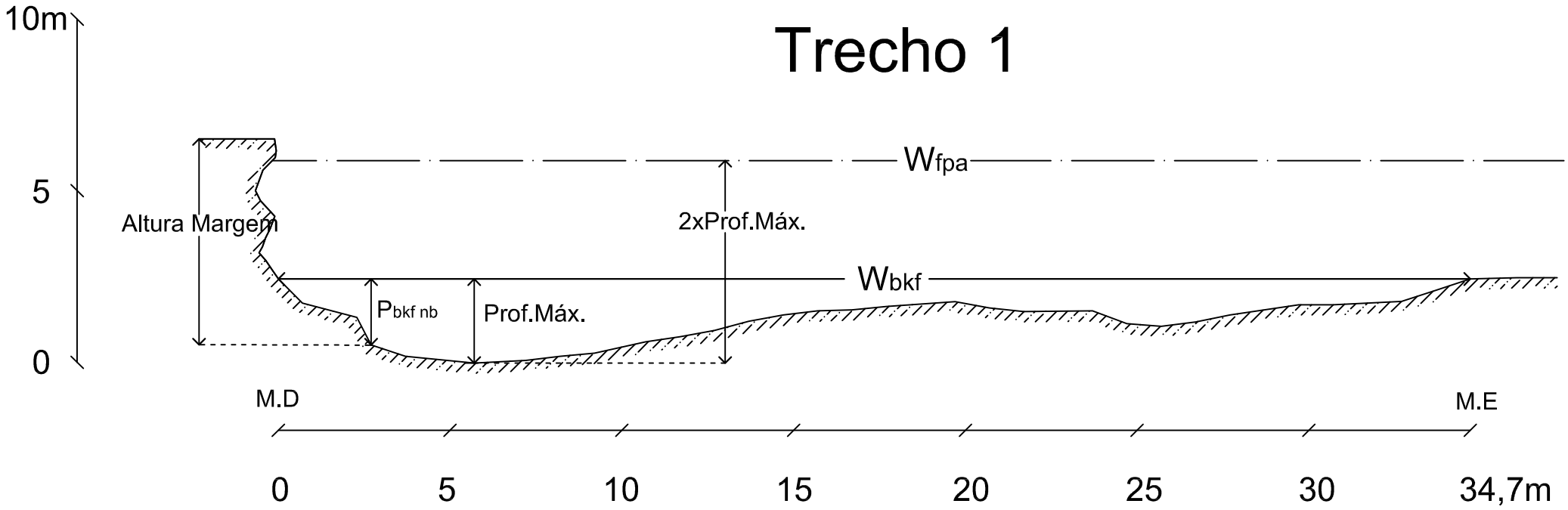
Distância Margem (m)	Profundidade (m)
0	0,6
0,5	0,71
1	0,96
1,5	1,42
2	1,62
3	1,75
4	1,81
5	1,81
6	1,75
7	1,61
8	1,55
9	1,55
10	1,57
11,2	1,43
12,2	1,87
13,2	2,24
14,2	2,38
15,2	2,37
17,2	2,41
19,2	2,36
21,2	2,25
23,2	2,19
25,2	2,14
27,2	2,07
29,2	2,04
31,2	1,95
33,2	2
35,2	1,99
37,2	2,03
38,2	2,11
39,2	2,15
40,2	2,31
41,2	2,34
42,2	2,42
43,2	2,45
44,7	2,19
45,2	1,95
46,7	1,71
47,15	1,51
48,5	0

D.3. PERFIS TRANSVERSAIS RIO ÂNCORA

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



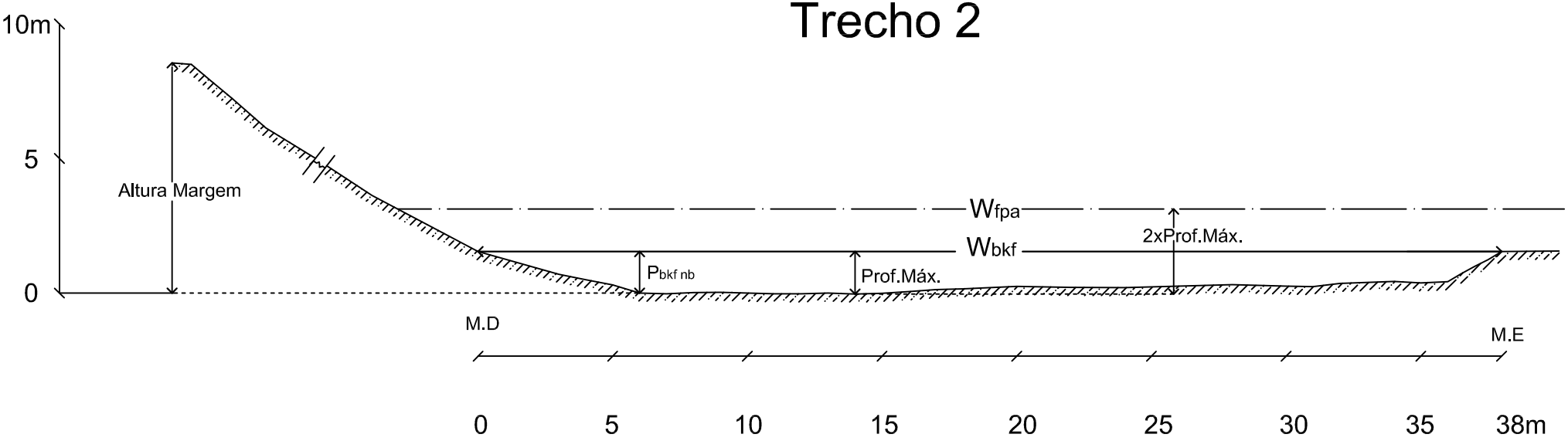
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

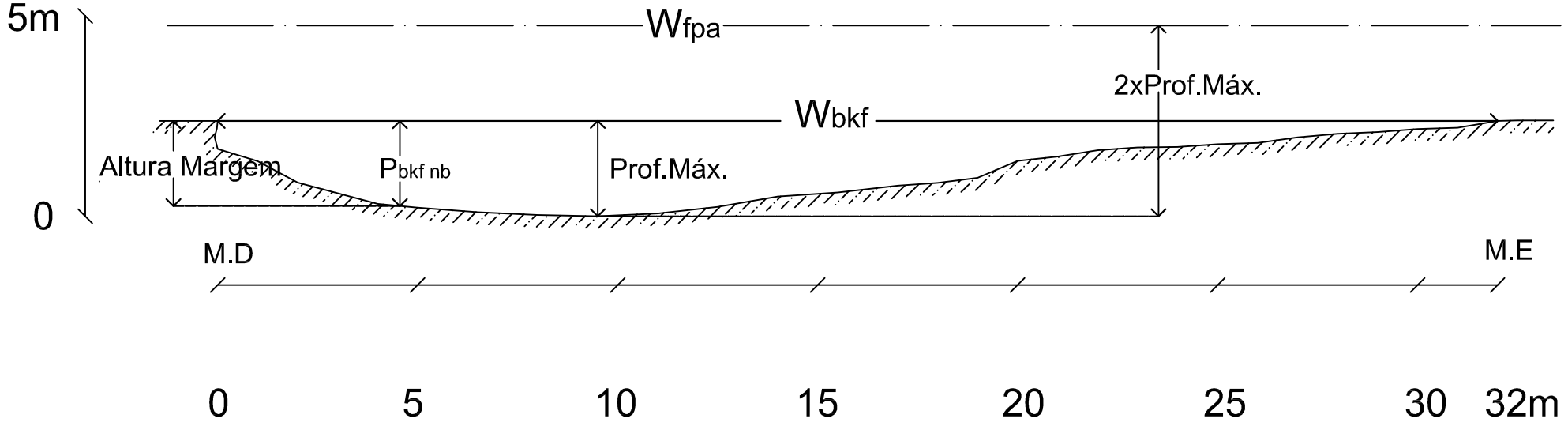
Trecho 2



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

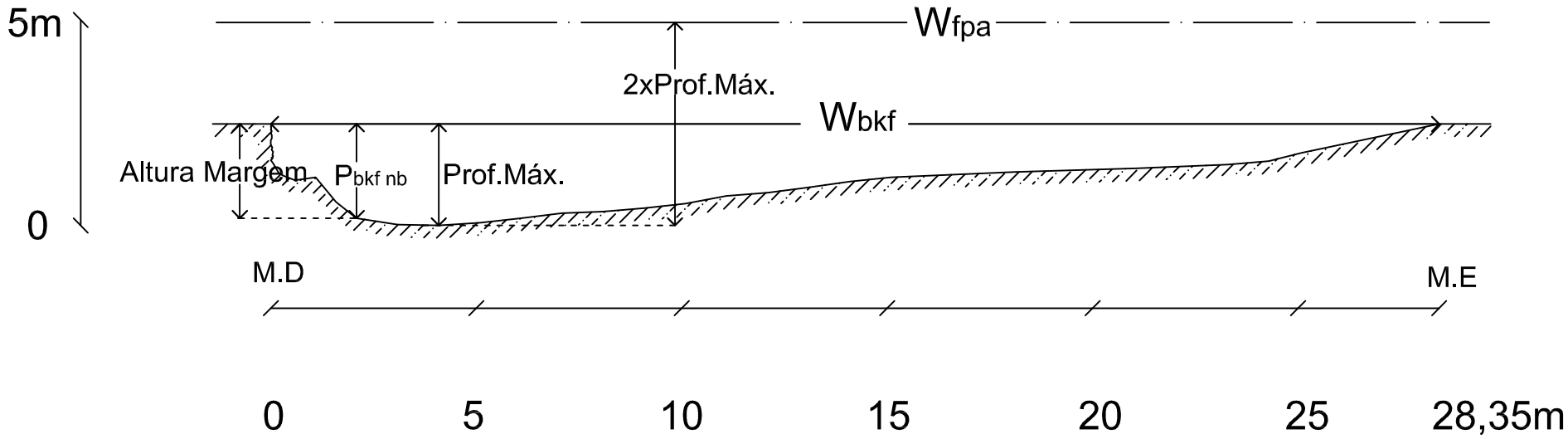
Trecho 3



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

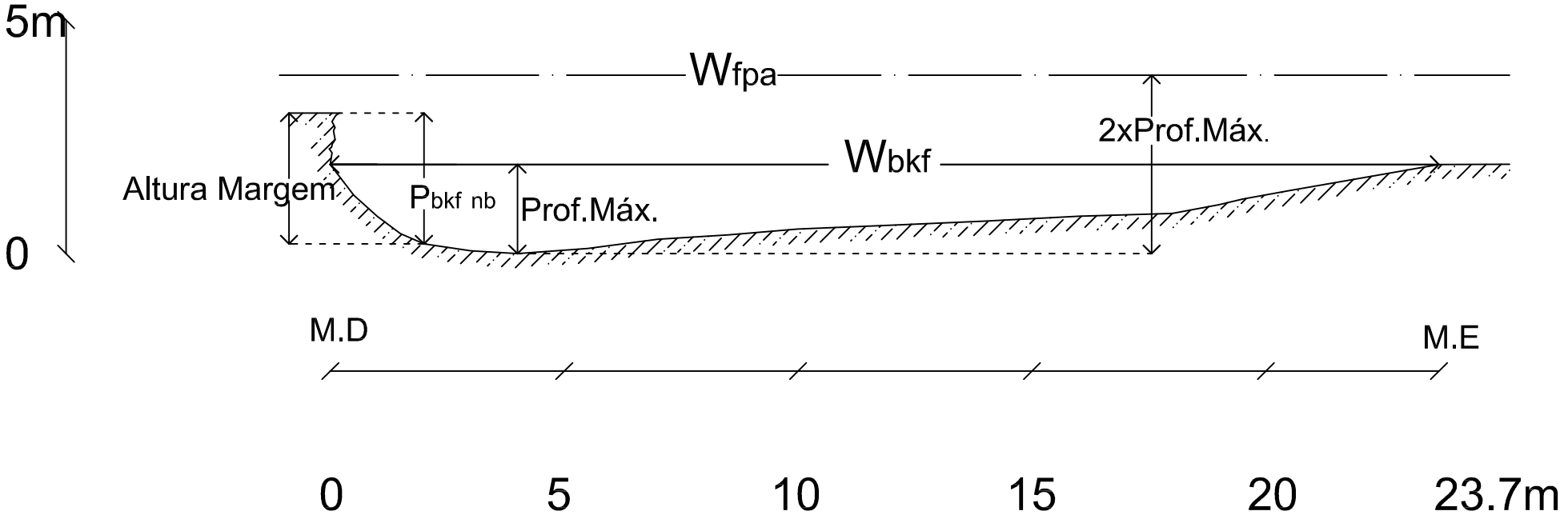
Trecho 4



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 5



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

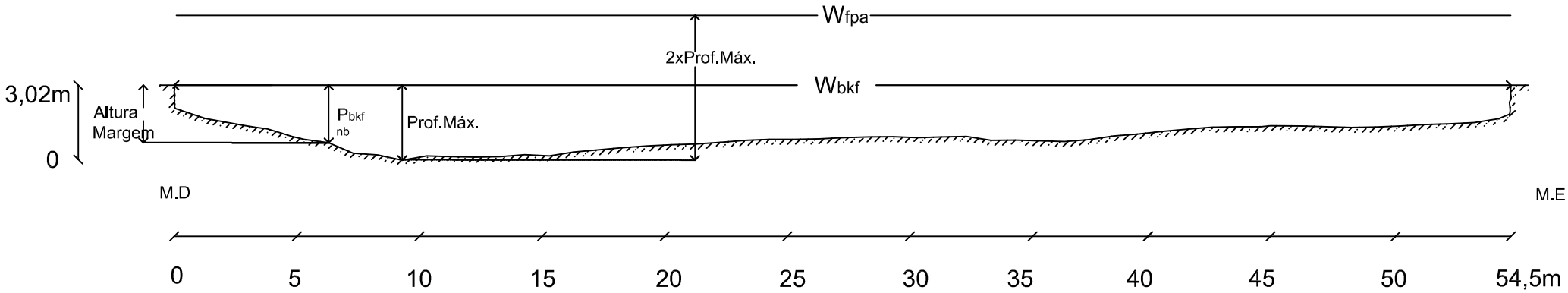
D.4. PERFIS TRANSVERSAIS RIO NEIVA

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 1



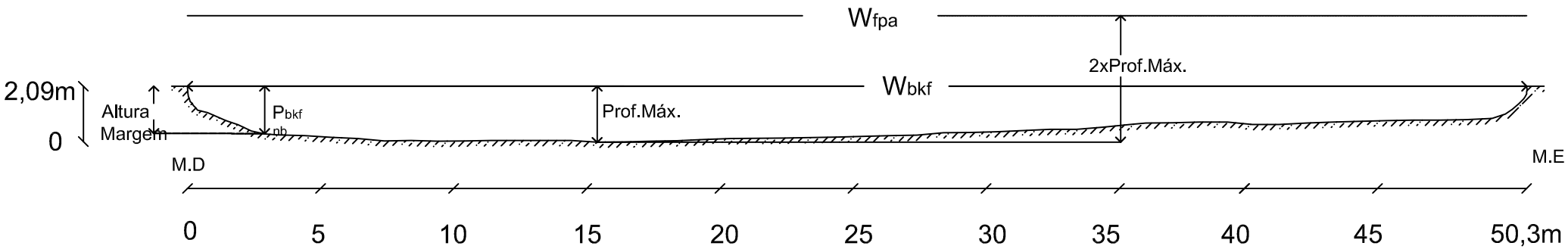
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 2



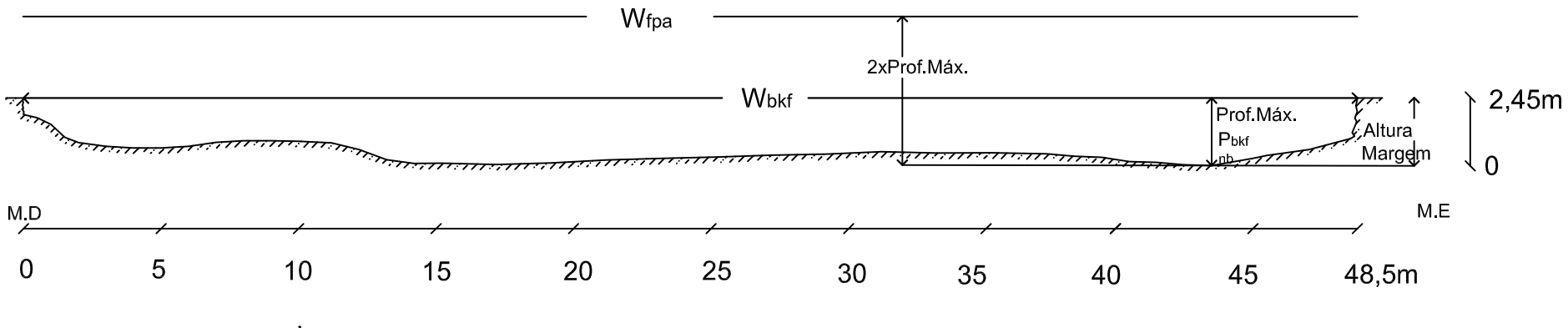
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 3



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

D.5. DETERMINAÇÃO DA SINUOSIDADE

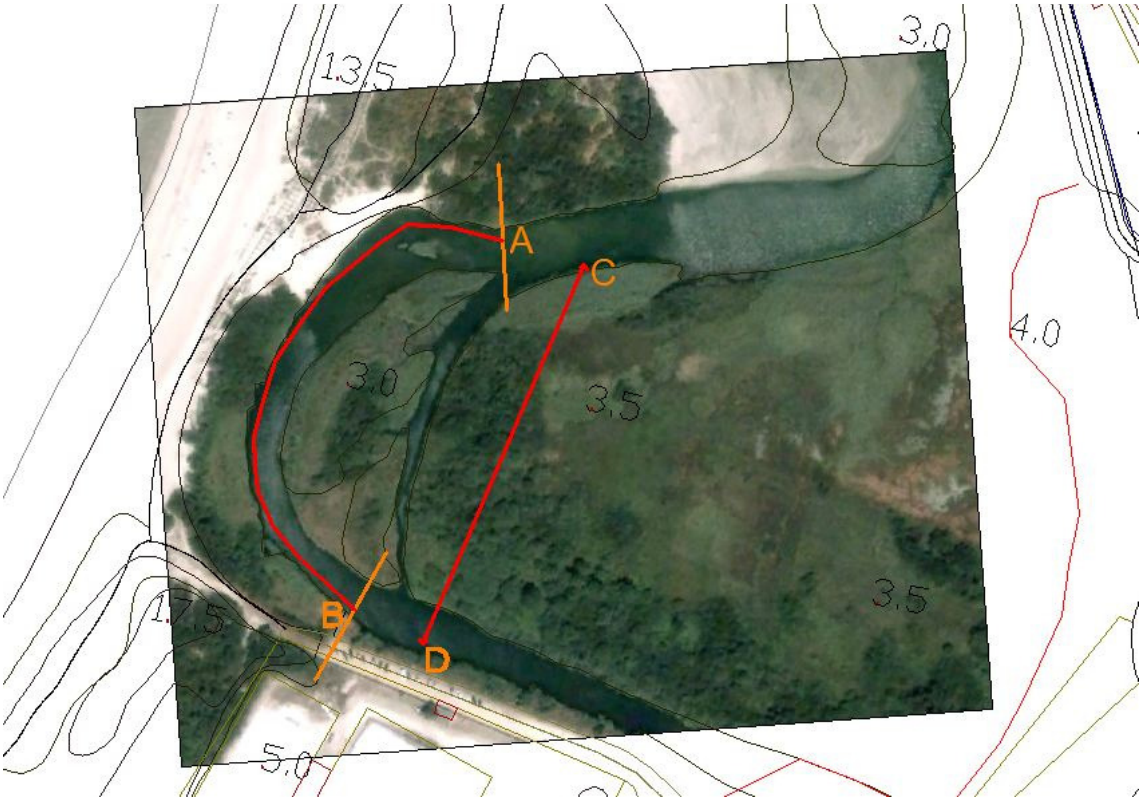


Figura D.1 - Rio Âncora: Sinuosidade



Figura D.2 - Rio Neiva: Sinuosidade

D.6. DETERMINAÇÃO DO W_{FPA}

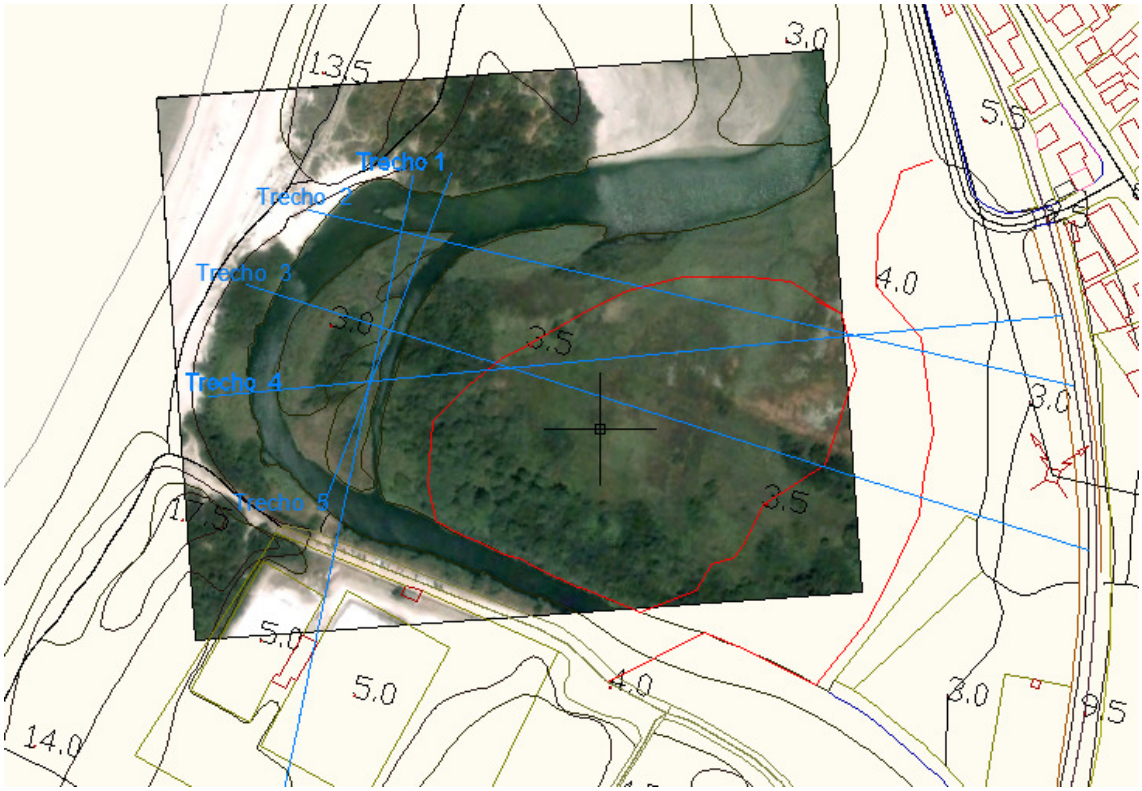


Figura D.3 - Rio Âncora: Identificação do W_{fpa}

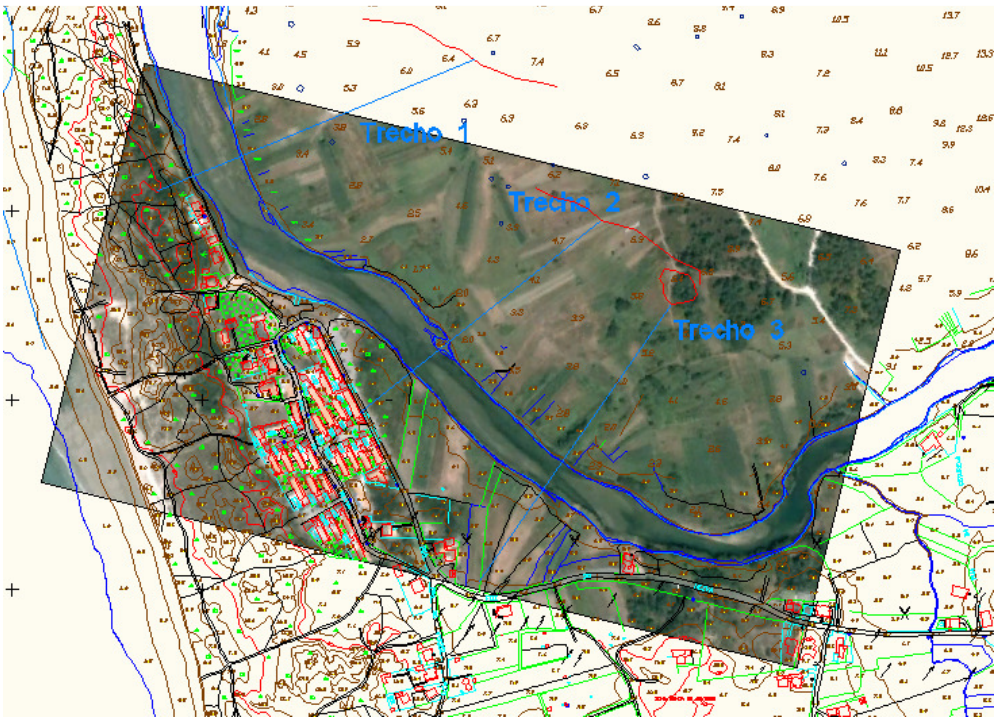


Figura D.4 - Rio Neiva: Identificação do W_{fpa}

ANEXO E – CURVAS GRANULOMÉTRICAS

E.1. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DOS TRECHOS DO RIO ÂNCORA

Tabela E.1 - Análise granulométria do trecho 1 do rio Âncora.

M_1- Massa total da amostra seca (g)	15783,4

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	0,0	0,00	0,00	100,00
22,4	220,9	1,40	1,40	98,60
16,0	515,9	3,27	4,67	95,33
11,2	575,4	3,65	8,31	91,69
8,0	614,4	3,89	12,21	87,79
5,6	647,5	4,10	16,31	83,69
4,0	667,9	4,23	20,54	79,46
2,0	1396,0	8,84	29,39	70,61
1,0	1655,1	10,49	39,87	60,13
0,500	5009,9	31,74	71,61	28,39
0,250	4284,4	27,14	98,76	1,24
0,125	124,2	0,79	99,55	0,45
0,063	14,9	0,09	99,64	0,36
P	4,0	0,03	99,66	0,34

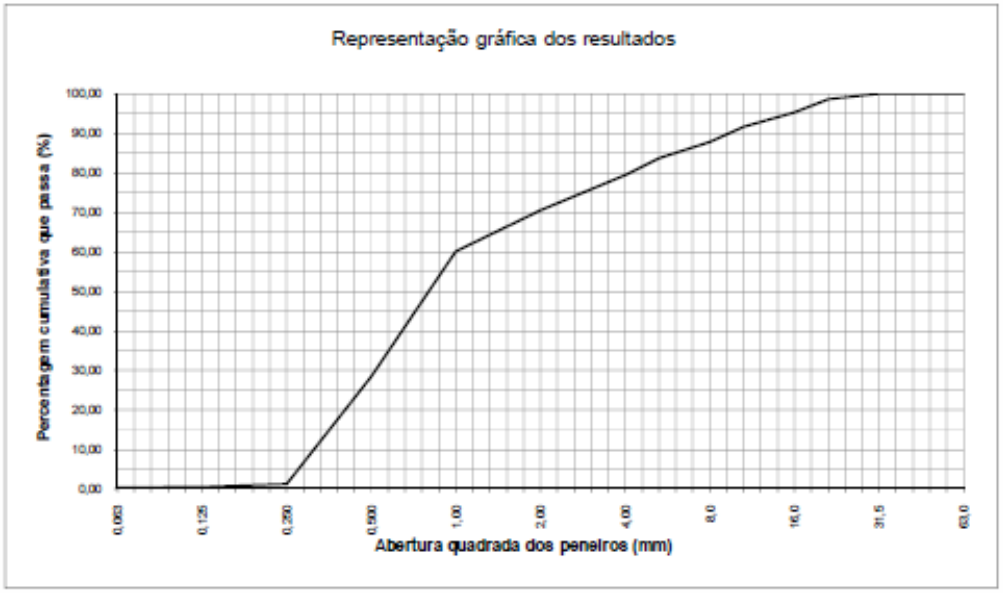


Tabela E.2 - Análise granulométria do trecho 2 do rio Âncora.

M_1- Massa total da amostra seca	(g)	11594,7

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	176,9	1,53	1,53	98,47
22,4	226,5	1,95	3,48	96,52
16,0	258,7	2,23	5,71	94,29
11,2	300,0	2,59	8,30	91,70
8,0	460,2	3,97	12,27	87,73
5,6	456,7	3,94	16,21	83,79
4,0	506,8	4,37	20,58	79,42
2,0	1030,0	8,88	29,46	70,54
1,0	1622,5	13,99	43,45	56,55
0,500	3171,5	27,35	70,81	29,19
0,250	3170,4	27,34	98,15	1,85
0,125	88,8	0,77	98,92	1,08
0,063	28,1	0,24	99,16	0,84
P	4,6	0,04	99,20	0,80

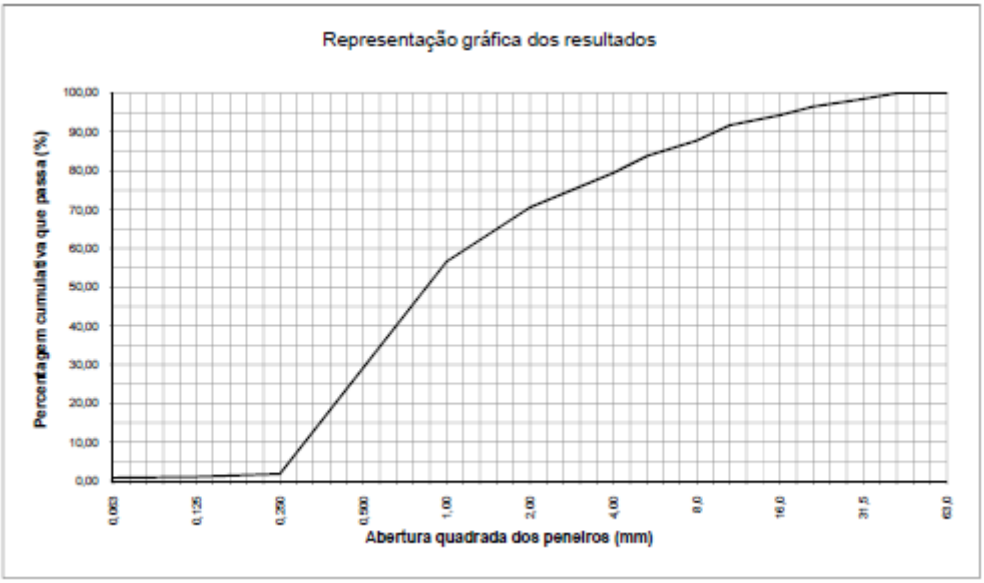


Tabela E.3 - Análise granulométria do trecho 3 do rio Âncora.

M_1- Massa total da amostra seca	(g)	14911,1

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	161,3	1,08	1,08	98,92
22,4	415,3	2,79	3,87	96,13
16,0	530,4	3,56	7,42	92,58
11,2	544,3	3,65	11,07	88,93
8,0	777,9	5,22	16,29	83,71
5,6	966,2	6,48	22,77	77,23
4,0	1126,1	7,55	30,32	69,68
2,0	2018,1	13,53	43,86	56,14
1,0	1915,0	12,84	56,70	43,30
0,500	3894,8	26,12	82,82	17,18
0,250	2368,4	15,88	98,70	1,30
0,125	57,8	0,39	99,09	0,91
0,063	34,8	0,23	99,32	0,68
P	6,7	0,04	99,37	0,63



Tabela E.4 - Análise granulométria do trecho 4 do rio Âncora.

M_1- Massa total da amostra seca	(g)	12268,2

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	149,5	1,22	1,22	98,78
22,4	495,9	4,04	5,26	94,74
16,0	581,3	4,74	10,00	90,00
11,2	682,4	5,56	15,56	84,44
8,0	768,0	6,26	21,82	78,18
5,6	966,5	7,88	29,70	70,30
4,0	1052,4	8,58	38,28	61,72
2,0	2083,8	16,99	55,26	44,74
1,0	2596,0	21,16	76,42	23,58
0,500	1629,1	13,28	89,70	10,30
0,250	1099,8	8,96	98,67	1,33
0,125	72,5	0,59	99,26	0,74
0,063	28,1	0,23	99,49	0,51
P	4,5	0,04	99,52	0,48

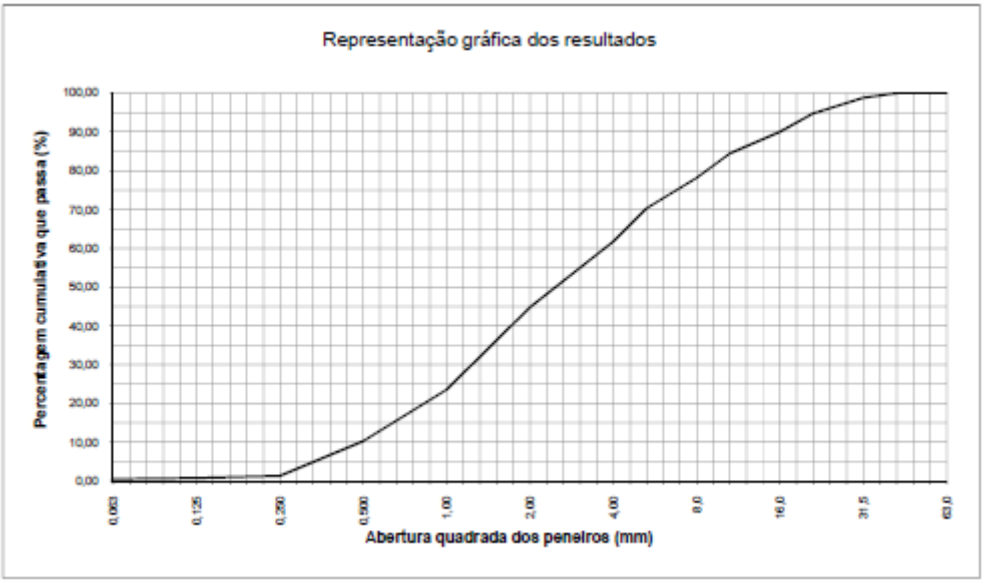


Tabela E.5 - Análise granulométria do trecho 5 do rio Âncora.

M_1- Massa total da amostra seca (g)	14312,2

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	2099,2	14,67	14,67	85,33
22,4	448,6	3,13	17,80	82,20
16,0	693,4	4,84	22,65	77,35
11,2	960,0	6,71	29,35	70,65
8,0	901,2	6,30	35,65	64,35
5,6	1302,4	9,10	44,75	55,25
4,0	1009,8	7,06	51,81	48,19
2,0	2215,6	15,48	67,29	32,71
1,0	2918,3	20,39	87,68	12,32
0,500	1300,8	9,09	96,77	3,23
0,250	351,8	2,46	99,22	0,78
0,125	58,3	0,41	99,63	0,37
0,063	20,0	0,14	99,77	0,23
P	2,1	0,01	99,79	0,21



E.2. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DOS TRECHOS DO RIO NEIVA

Tabela E.6 - Análise granulométria do trecho 1 do rio Neiva.

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	0,0	0,00	0,00	100,00
22,4	50,3	0,49	0,49	99,51
16,0	84,5	0,82	1,30	98,70
11,2	189,0	1,83	3,13	96,87
8,0	326,3	3,16	6,29	93,71
5,6	428,2	4,14	10,44	89,56
4,0	847,5	8,20	18,64	81,36
2,0	2017,1	19,52	38,16	61,84
1,0	2524,3	24,43	62,59	37,41
0,500	2340,6	22,65	85,24	14,76
0,250	750,0	7,26	92,50	7,50
0,125	274,9	2,66	95,16	4,84
0,063	169,1	1,64	96,80	3,20
P	8,4	0,08	96,88	3,12

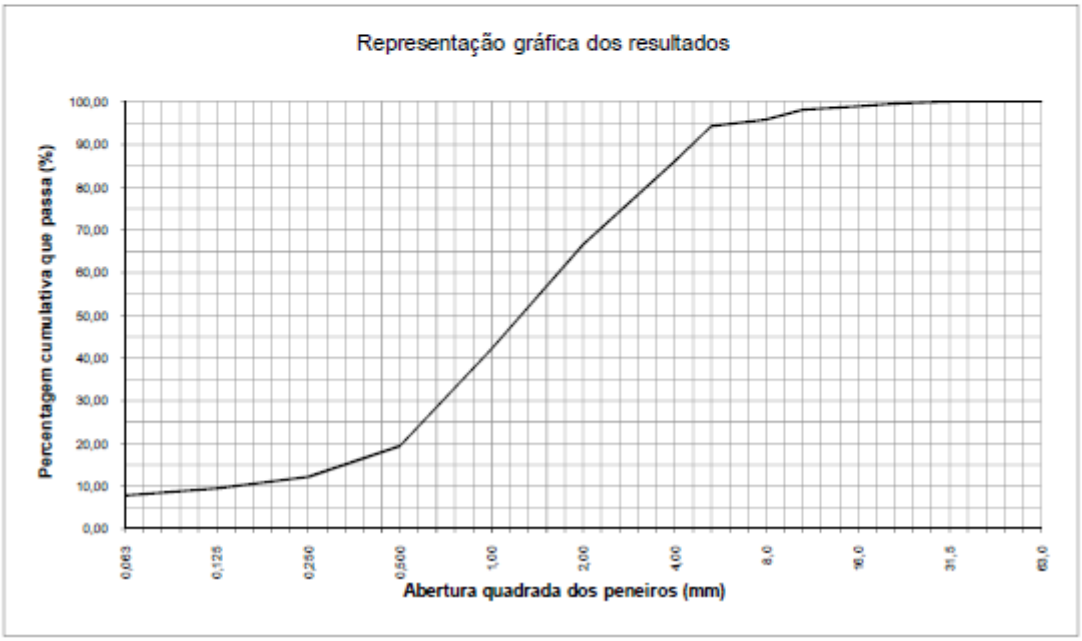


Tabela E.7 - Análise granulométria do trecho 2 do rio Neiva.

M_1- Massa total da amostra seca	(g)	10017,5

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	622,5	6,21	6,21	93,79
22,4	664,9	6,64	12,85	87,15
16,0	324,5	3,24	16,09	83,91
11,2	400,6	4,00	20,09	79,91
8,0	376,9	3,76	23,85	76,15
5,6	462,7	4,62	28,47	71,53
4,0	771,6	7,70	36,17	63,83
2,0	2613,0	26,08	62,26	37,74
1,0	1885,0	18,82	81,08	18,92
0,500	1365,0	13,63	94,70	5,30
0,250	430,0	4,29	98,99	1,01
0,125	50,8	0,51	99,50	0,50
0,063	20,0	0,20	99,70	0,30
P	1,8	0,02	99,72	0,28

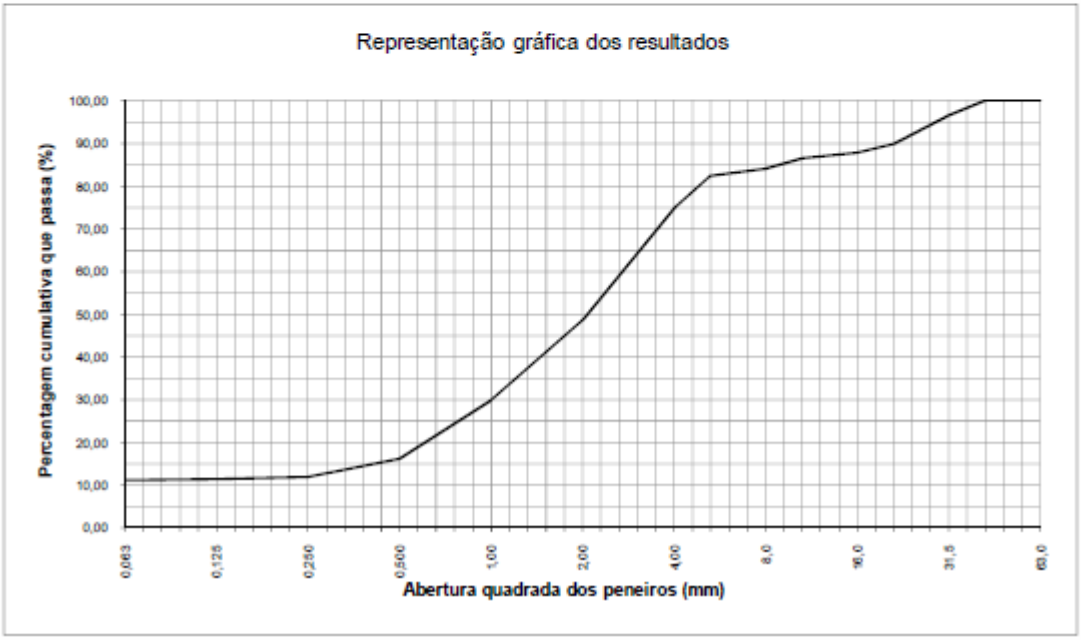
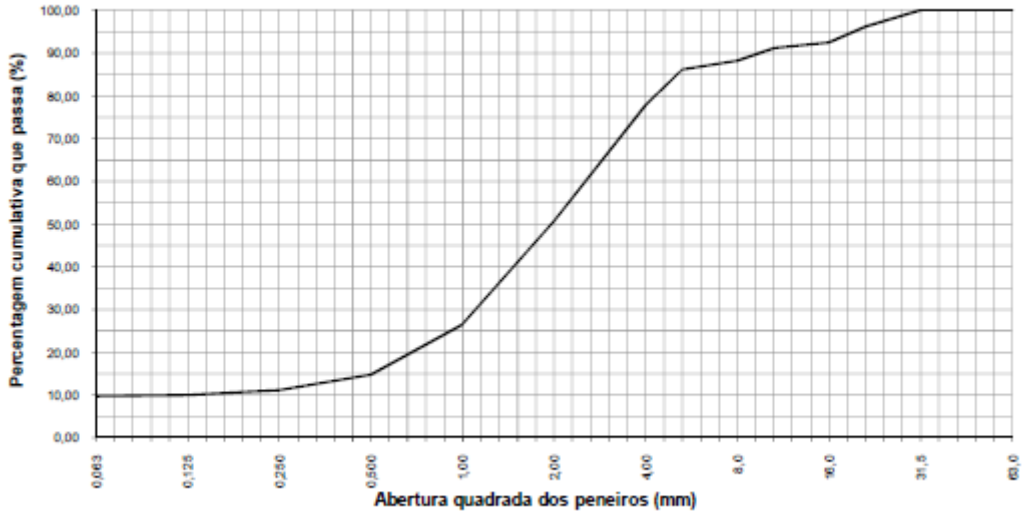


Tabela E.8 - Análise granulométria do trecho 3 do rio Neiva.

M_1- Massa total da amostra seca	(g)	6539,1

Abertura dos peneiros (mm)	Massa Retida (R_i) (g)	Percentagem Retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem acumulados passados (%)
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
45,0	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	0,0	0,00	0,00	100,00
22,4	247,8	3,79	3,79	96,21
16,0	406,9	6,22	10,01	89,99
11,2	298,6	4,57	14,58	85,42
8,0	278,1	4,25	18,83	81,17
5,6	278,4	4,26	23,09	76,91
4,0	541,6	8,28	31,37	68,63
2,0	1776,6	27,17	58,54	41,46
1,0	1579,6	24,16	82,70	17,30
0,500	767,1	11,73	94,43	5,57
0,250	238,8	3,65	98,08	1,92
0,125	68,9	1,05	99,13	0,87
0,063	22,0	0,34	99,47	0,53
P	1,9	0,03	99,50	0,50

Representação gráfica dos resultados



ANEXO F – BEHI, DADOS RECOLHIDOS *IN-SITU*

F.1. DADOS RECOLHIDOS NO RIO ÂNCORA

Rio: Âncora Trecho: 1 Data: 9 /4 /2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	**6,5**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**1,93**	**A/B** **3,34** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	**4,5**	Altura da Margem (m) **A**	**6,5**	**D/A** **0,7** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

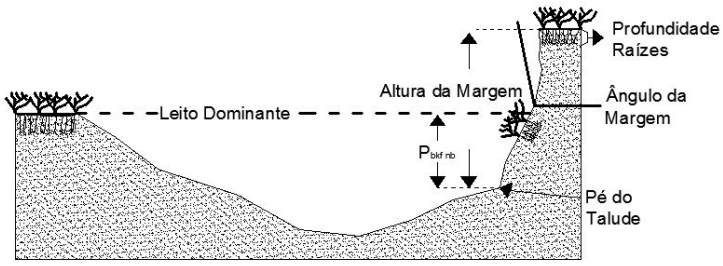
Densidade de Raízes (%) **F**	**50**	**F*E** **35** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I**	**60**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**	**110**



Rio: Âncora Trecho: 2 Data: 9 /4 /2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	**8,50**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**1,54**	**A/B** **5,52** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	**1,0**	Altura da Margem (m) **A**	**8,5**	**D/A** **0,12** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

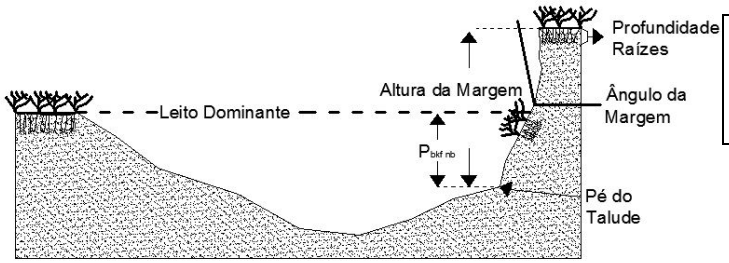
Densidade de Raízes (%) **F**	**10**	**F*E** **1,2** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I**	**10**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**	**40**



Rio: Âncora Trecho: 3 Data: 9 /4 /2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	**2,12**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**2,12**	**A**/**B** **1** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	**0,3**	Altura da Margem (m) **A**	**2,12**	**D**/**A** **0,14** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

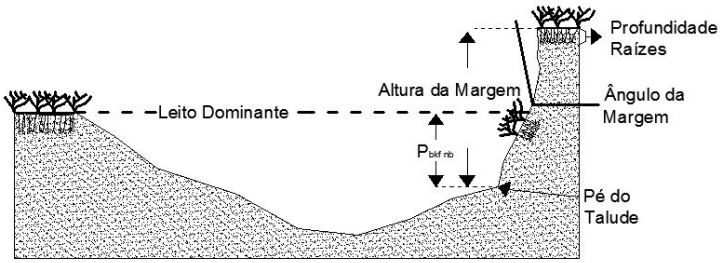
Densidade de Raízes (%) **F**	**25**	**F*E** **3,5** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I**
60

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**
90



Rio: Âncora Trecho: 4 Data: 9 /4 /2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	**2,29**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**2,29**	**A/B**	**1** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	**0,3**	Altura da Margem (m) **A**	**2,29**	**D/A**	**0,11** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

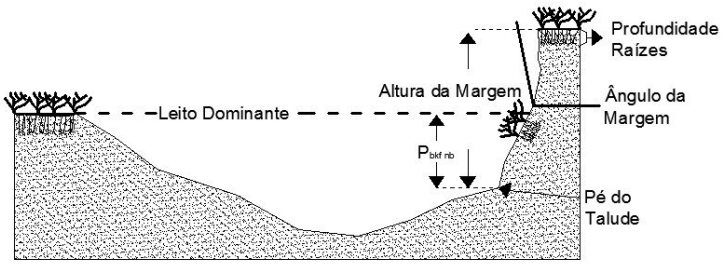
Densidade de Raízes (%) **F**	**10**	**F*E**	**1,1** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I**	**10**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**	**120**



Rio: Âncora Trecho: 5 Data: 9 /4 /2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A** **2,8**	Profundidade Leito Dominante (m) **B** **1,56**	**A/B** **1,8** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D** **0,3**	Altura da Margem (m) **A** **2,8**	**D/A** **0,11** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

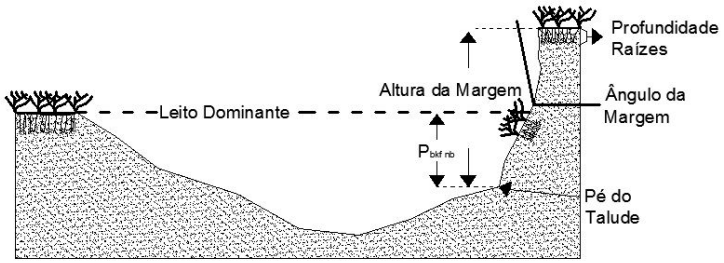
Densidade de Raízes (%) **F** **25**	**F*E** **2,7** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I** **25**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H** **90**



F.1.1. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE RISCO DE BEHI PARA OS TRECHOS DO RIO ÂNCORA

Tabela F.1 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 1 do rio Âncora.

	Valor do parâmetro	Índice	Categoria de risco
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	3,34	10	*Extremo*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,7	3	*Baixo*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	35	5,3	*Moderado*
Ângulo talude (H)	110	8,5	*Muito Elevado*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	60	3,5	*Baixo*
Total parcial		30,3	*Elevado - Muito Elevado*
Correcções		10	
Total / Categoria		40,3	*Elevado - Muito Elevado*

Tabela F.2 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 2 do rio Âncora.

	Valor do parâmetro	Índice	Categoria de risco
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	5,52	10	*Extremo*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,12	8,2	*Muito Elevado*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	1,2	10	*Extremo*
Ângulo talude (H)	40	2,8	*Baixo*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	10	9	*Muito Elevado*
Total parcial		40	*Elevado - Muito Elevado*
Correcções		10	
Total / Categoria		50	*Extremo*

Tabela F.3 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 3 do rio Âncora.

	Valor do parâmetro	Índice	Categoria de risco
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	1	1	*Muito Baixo*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,14	6,3	*Elevado*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	3,5	8,9	*Muito Elevado*
Ângulo talude (H)	90	7,9	*Muito Elevado*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	60	3,5	*Baixo*
Total parcial		27,6	*Moderado*
Correcções		10	
Total / Categoria		37,6	*Elevado - Muito Elevado*

Tabela F.4 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 4 do rio Âncora.

	Valor do parâmetro	Índice	Categoria de risco
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	1	1	*Muito Baixo*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,11	8,5	*Muito Elevado*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	1,4	10	*Extremo*
Ângulo talude (H)	120	10	*Extremo*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	10	10	*Extremo*
Total parcial		43,5	*Moderado*
Correcções		10	
Total / Categoria		53,5	*Extremo*

Tabela F.5 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 5 do rio Âncora.

	Valor do parâmetro	**Índice**	**Categoria de risco**
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	1,8	6,9	*Elevado*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,11	8,5	*Muito Elevado*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	2,7	10	*Extremo*
Ângulo talude (H)	90	7,9	*Elevado*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	25	6,9	*Elevado*
Total parcial		50,2	*Extremo*
Correcções		10	
Total / Categoria		50,2	*Extremo*

F.2. DADOS RECOLHIDOS NO RIO NEIVA

Rio: Neiva Trecho: 1 Data: 13/5/2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	**2,3**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**2,3**	**A**/**B**	**1** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	**1**	Altura da Margem (m) **A**	**2,3**	**D**/**A**	**0,43** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

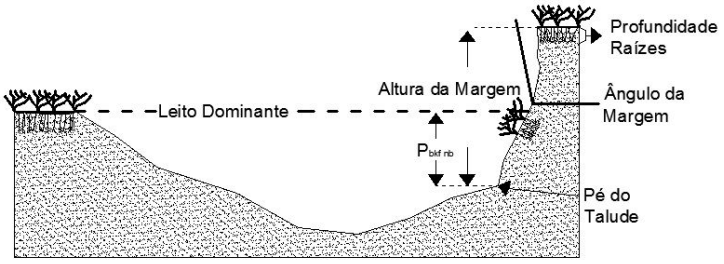
Densidade de Raízes (%) **F**	**75**	**F*E**	**0,33** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I**	**85**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**	**85**



Rio: Neiva Trecho: 2 Data: 13/5/2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	**1,9**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**1,9**	**A/B**	**1** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	**0,4**	Altura da Margem (m) **A**	**1,9**	**D/A**	**0,21** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

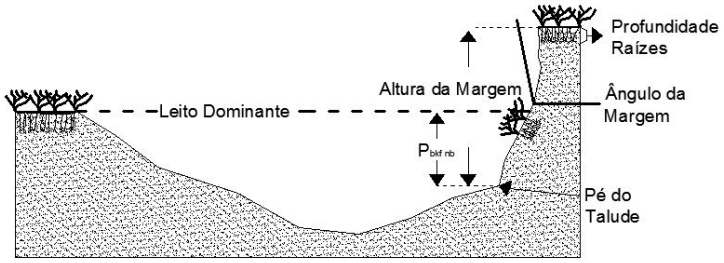
Densidade de Raízes (%) **F**	**75**	**F*E**	**0,16** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I**	**85**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**	**110**



Rio: Neiva Trecho: 3 Data: 13/5/2010

Altura da Margem/Prof. Leito Dominante (**C**)

Altura da Margem (m) **A**	**2,4**	Profundidade Leito Dominante (m) **B**	**2,4**	**A**/**B** **1** **C**

Profundidade das Raízes/ Altura da Margem (**E**)

Profundidade Raízes (m) **D**	**1,5**	Altura da Margem (m) **A**	**2,4**	**D**/**A** **0,625** **E**

Densidade de Raízes Ponderada (**G**)

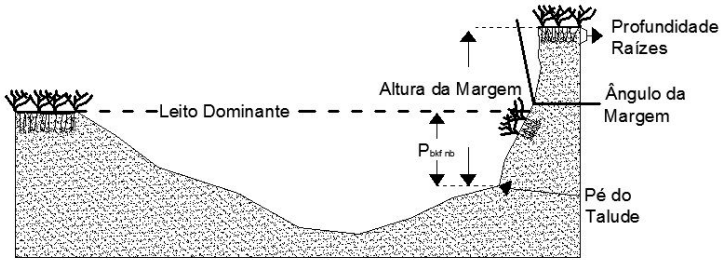
Densidade de Raízes (%) **F**	**80**	**F*E** **0,5** **G**

Protecção da Margem (**I**)

Protecção da Margem (%) **I**	**80**

Ângulo Talude Margem (**H**)

Ângulo Talude (Graus) **H**	**120**



F.2.1. DETERMINAÇÃO DAS CATEGORIAS DE RISCO DE BEHI PARA OS TRECHOS DO RIO NEIVA

Tabela F.6 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 1 do rio Neiva.

	Valor do parâmetro	Índice	Categoria de risco
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	1	1	*Baixo*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,43	4,2	*Moderado*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	33	5,8	*Moderado*
Ângulo talude (H)	85	5,9	*Moderado*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	85	1,5	*Muito Baixo*
Total parcial		18,4	*Baixo*
Correcções		0	
Total / Categoria		18,4	*Baixo*

Tabela F.7 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 2 do rio Neiva.

	Valor do parâmetro	Índice	Categoria de risco
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	1	1	*Baixo*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,11	6,5	*Elevado*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	16	7,8	*Elevado*
Ângulo talude (H)	110	8,5	*Muito Elevado*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	85	1,5	*Muito Baixo*
Total parcial		25,3	*Moderado*
Correcções		7	
Total / Categoria		32,3	*Elevado - Muito Elevado*

Tabela F.8 - Categoria de Risco de BEHI para o Trecho 3 do rio Neiva.

	Valor do parâmetro	Índice	Categoria de risco
Altura Margem/ Distância leito dominante (C)	1	1	*Baixo*
Densidade Raízes/ Altura margem (E)	0,625	3	*Baixo*
Densidade ponderada de raízes (%) (G)	50	4,2	*Moderado*
Ângulo talude (H)	120	10	*Extremo*
Protecção Talude da Margem (%) (I)	80	1,9	*Muito Baixo*
Total parcial		20,1	*Moderado*
Correcções		7	
Total / Categoria		27,1	*Moderado*

ANEXO G – PERFIS VERTICAIS DE VELOCIDADES

G.2. PERFIS DE VELOCIDADE NOS TRECHOS DO RIO ÂNCORA

Tabela G.1 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 1 do rio Âncora.

Distância (m) (margem esquerda)	Profundidade total (m)	Profundidade medição (m)	Velocidade (m/s)
2	0,22	0,12	-0,076*
2,5	0,54	0,1	0,425
		0,3	0,219
3	0,78	0,1	0,521
		0,3	0,387
		0,5	0,188
3,5	0,98	0,1	0,51
		0,3	0,41
		0,5	0,069
4	1,1	0,2	0,449
		0,4	0,433
		0,6	0,306
		0,8	0,134

* Valor não considerado

Tabela G.2 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 2 do rio Âncora.

Distância (m) (margem esquerda)	**Profundidade total (m)**	**Profundidade medição (m)**	**Velocidade (m/s)**
5	0,3	0,15	0,211
6	0,25	0,12	0,478
7	0,3	0,15	0,495
8	0,3	0,15	0,543
9	0,35	0,175	0,501
10	0,35	0,175	0,523
11	0,4	0,2	0,574
12	0,4	0,2	0,604
13	0,4	0,1	0,701
		0,2	0,525
14	0,4	0,1	0,66
		0,2	0,53
15	0,35	0,1	0,661
		0,17	0,634
16	0,35	0,17	0,614
17	0,25	0,12	0,583
18	0,15	0,07	0,499
19	0,2	0,1	0,462
20	0,2	0,1	0,385
21	0,25	0,12	0,367
22	0,2	0,1	0,343
23	0,2	0,1	0,441
24	0,25	0,12	0,317
25	0,2	0,1	0,325
26	0,2	0,1	0,426
28	0,25	0,12	0,3
29	0,18	0,1	0,358
30	0,2	0,1	0,219
31	0,18	0,1	0,315
32	0,15	0,07	0,274
33	0,1	0,05	0,319
34,5	0,1	0,05	0,244

Tabela G.3 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 3 do rio Âncora.

Distância (m) (margem esquerda)	**Profundidade total (m)**	**Profundidade medição (m)**	**Velocidade (m/s)**
3	0,55	0,15	0,115
		0,25	0,095
		0,35	0,052
4	1	0,2	0,189
		0,4	0,157
		0,6	0,161
5	1,2	0,2	0,134
		0,4	0,14
		0,6	0,143
		0,9	0,077
10,5	1,35	0,2	0,175
		0,5	0,177
		0,8	0,188
12,5	1,3	0,2	0,158
		0,5	0,163
		0,7	0,156
13,5	0,93	0,2	0,126
		0,5	0,162
		0,7	0,155
15,5	0,86	0,2	0,12
		0,4	0,127
16,5	0,67	0,2	0,113
		0,4	0,112
18,5	0,5	0,25	0,076

Tabela G.4 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 4 do rio Âncora.

Distância (m) (margem esquerda)	**Profundidade total (m)**	**Profundidade medição (m)**	**Velocidade (m/s)**
3,5	0,4	0,2	0,162
5,5	0,65	0,2	0,192
		0,4	0,162
6,5	0,77	0,2	0,216
		0,4	0,223
		0,6	0,207
7,5	0,88	0,2	0,227
		0,4	0,249
		0,6	0,227
8,5	1,01	0,2	0,245
		0,4	0,24
		0,6	0,216
9,5	1,2	0,2	0,265
		0,5	0,261
		0,75	0,26
10,5	1,35	0,2	0,263
		0,4	0,29
		0,7	0,235

Tabela G.5 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 5 do rio Âncora.

Distância (m) (margem esquerda)	**Profundidade total (m)**	**Profundidade medição (m)**	**Velocidade (m/s)**
1	0,28	0,1	0,091
2	0,45	0,2	0,53
2,5	0,75	0,2	0,551
		0,4	0,578
		0,6	0,173
3,5	0,9	0,2	0,536
		0,35	0,529
		0,55	0,52
		0,75	0,441
4,5	1	0,2	0,448
		0,4	0,505
		0,6	0,304
5,5	0,9	0,2	0,464
		0,4	0,458
		0,6	0,42
6,5	0,6	0,2	0,433
		0,4	0,407
8,5	0,5	0,2	0,342
		0,3	0,325
10,5	0,36	0,18	0,058

G.2. PERFIS DE VELOCIDADE NOS TRECHOS NO RIO NEIVA

Tabela G.6 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 1 do rio Neiva.

Distância à Margem (m) (margem esquerda)	Profundidade total (m)	Profundidade medição (m)	Velocidade (m/s)
1,5	0,45	0,2	0,103
		0,35	0,027
2	0,7	0,2	0,179
		0,4	0,215
		0,55	0,061
2,5	0,65	0,2	0,318
		0,4	0,296
3,5	0,6	0,2	0,352
		0,4	0,304
4,5	0,55	0,2	0,313
		0,4	0,289
5,5	0,5	0,2	0,313
		0,35	0,289
6,5	0,45	0,15	0,288
		0,35	0,236
8	0,35	0,18	0,21
9,5	0,3	0,15	0,203
11,5	0,25	0,13	0,139
13,5	0,25	0,13	0,134
15,5	0,22	0,11	0,106
17,5	0,3	0,3	0,119
19,5	0,35	0,18	0,119
21,5	0,4	0,2	0,175
23,5	0,45	0,22	0,186
25,5	0,45	0,22	0,201
27,5	0,55	0,15	0,247
		0,3	0,203
29	0,55	0,2	0,289
		0,35	0,209
31	0,65	0,2	0,29
		0,4	0,186
32,5	0,6	0,2	0,358
		0,4	0,29
34	0,5	0,15	0,331
		0,35	0,267

Tabela G.6 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 1 do rio Neiva (continuação).

Distância à Margem (m) (margem esquerda)	Profundidade total (m)	Profundidade medição (m)	Velocidade (m/s)
35	0,5	0,15	0,262
		0,35	0,233
36	0,5	0,2	0,226
		0,35	0,262
37	0,45	0,15	0,23
		0,3	0,197

Tabela G.7 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 2 do rio Neiva.

Distância à Margem (m) (margem esquerda)	Profundidade total (m)	Profundidade medição (m)	Velocidade (m/s)
5	0,5	0,2	0,052
		0,35	-0,034*
6,5	0,55	0,2	0,188
		0,35	0,138
7,5	0,55	0,2	0,197
		0,35	0,14
8,5	0,5	0,2	0,208
		0,35	0,165
10,5	0,5	0,2	0,273
		0,35	0,153
12,5	0,6	0,2	0,276
		0,4	0,201
14,5	0,6	0,2	0,36
		0,4	0,316
16,5	0,6	0,2	0,436
		0,4	0,308
18,5	0,55	0,2	0,43
		0,4	0,364
20,5	0,5	0,2	0,401
		0,4	0,359
22,5	0,45	0,15	0,361
		0,25	0,294
24,5	0,4	0,2	0,27
26,5	0,4	0,2	0,147
28,5	0,3	0,15	0,077

* Valor não considerado

Tabela G.8 - Valores dos perfis de velocidades recolhidos no trecho 3 do rio Neiva.

Distância à Margem (m) (margem direita)	**Profundidade total (m)**	**Profundidade medição (m)**	**Velocidade (m/s)**
3,5	0,3	0,15	-0,037*
4,5	0,45	0,2	-0,023*
5,5	0,7	0,2	0,022
		0,4	0,014
		0,55	0,003
6,5	0,95	0,2	0,05
		0,4	0,038
		0,6	0,06
7,5	1	0,2	0,128
		0,4	0,129
		0,6	0,142
		0,8	0,12
8,5	1	0,2	0,203
		0,4	0,18
		0,6	0,113
		0,8	0,132
9,5	1	0,2	0,208
		0,4	0,229
		0,6	0,189
		0,8	0,207
11	1	0,2	0,304
		0,4	0,305
		0,7	0,252
13	0,95	0,2	0,334
		0,4	0,339
		0,6	0,311
15	0,9	0,2	0,344
		0,4	0,32
		0,6	0,253
17	0,8	0,2	0,311
			0,291
			0,266
19	0,7	0,2	0,292
		0,4	0,287
21	0,55	0,2	0,214
		0,35	0,19
23	0,45	0,22	0,147
25	0,35	0,18	0,077
26,5	0,2	0,1	0,044

* Valor não considerado

G.3. CÁLCULO DETALHADO DAS CATEGORIAS DE NBS PARA OS TRECHOS DO RIO ÂNCORA

Tabela G.9 - Categorias de NBS para o rio Âncora.

Trecho	1	2	3	4	5
d_{nb}(m)	1,93	1,54	2,12	2,29	1,56
S_{nb} (%)	8,4	1,25	6,25	4,375	1,875
d_{bkf} (m)	1,26	1,50	1,37	1,46	1,19
S (m/m)			0,000453		
τ_{nb} (N/m^2)	2390	202	1300	944	287
τ_{bkf} (N/m^2)	6	7	6	6	5
τ_{nb}/τ_{bkf}	426	30	214	145	54
Categoria Tensões	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*
U_{nb} (m/s)	0,076	0,211	0,115	0,162	0,091
$U_{máx}$ (m/s)	0,521	0,701	0,188	0,29	0,578
Distância (m)	1	8	6,5	7	1,5
Gradiente (m/s/m)	0,597	0,061	0,011	0,018	0,325
Categoria Gradiente	*Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*

Tabela G.10 - Categorias de NBS para o rio Neiva.

Trecho	**1**	**2**	**3**
d_{nb}(m)	2,35	1,80	2,45
S_{nb} (%)	3,75	7,45	2,15
d_{bkf} (m)	2,15	1,69	2,00
S (m/m)		0,000519	
τ_{nb} **(N/m^2)**	12	9	12
τ_{bkf} **(N/m^2)**	786	1235	422
τ_{nb}/τ_{bkf}	66	135	34
Categoria Tensões	*Extremo*	*Extremo*	*Extremo*
U_{nb} (m/s)	0,103	0,188	0,013
$U_{máx}$ (m/s)	0,352	0,436	0,339
Distância (m)	2	11,5	9,5
Gradiente (m/s/m)	0,037	0,033	0,125
Categoria Gradiente	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*	*Muito Baixo*

ANEXO H – METODOLOGIA DA EPA PARA A DETERMINAÇÃO DA CATEGORIA DE NBS

H.1. METODOLOGIA SUGERIDA PELA EPA

A metodologia alternativa para a determinação da categoria de risco de NBS sugerida pela EPA, foi elaborada para facilitar a determinação da categoria de NBS *in-situ,* sem no entanto comprometer o rigor do método BANCS. São considerados 7 métodos de determinação das categorias que se encontram agrupados em 4 níveis. A consideração de vários níveis de detalhe permite ao utilizador escolher o método que melhor se adapta ao rigor pretendido para o estudo realizado.Os 4 níveis de determinação e respectivos métodos são:

Nível 1- reconhecimento

(1) -O nível de risco é calculado com base na visualização da morfologia do rio.

Nível 2- previsão geral

(2)-relação entre o raio de curvatura rio e a largura do leito dominante (R_c/W_{bkf})

(3)-relação entre a inclinação do fundão e a inclinação média do leito (S_p/S)

(4)-relação entre a inclinação do fundão e a inclinação da barra (S_p/S_{rif})

Nível 3- previsão detalhada

(5)-relação entre a profundidade perto do talude da margem e da profundidade média do leito dominante (d_{nb}/d_{bkf})

(6)-relação entre a tensão de arrastamento junto ao talude (*Near Bank Section*) e a tensão de arrastamento no leito dominante (τ_{nb}/τ_{bkf})

Nível 4- validação

(7)-A categoria de risco é determinado com base no gradiente de velocidades, calculado junto ao pé do talude.

Consoante os valores determinados pelos diversos métodos, a categoria de risco é retirada da figura H.1.

Na determinação das categorias de risco dos trechos do rio Âncora e Neiva, utilizou-se o método 5 do nível 3.

Estimating Near-Bank Stress (NBS)

Stream: | Location: | Date: | Crew:

Methods for Estimating Near-Bank Stress

(1) Transverse bar or split channel/central bar creating NBS/high velocity gradient: **Level I - Reconnaissance.**
(2) Channel pattern (Rc/W): **Level II - General Prediction.**
(3) Ratio of pool slope to average water surface slope (S_p/S): **Level II - General Prediction.**
(4) Ratio of pool slope to riffle slope (S_p/S_{rif}): **Level II - General Prediction.**
(5) Ratio of near-bank maximum depth to bankfull mean depth (d_{nb}/d_{bkf}): **Level III - Detailed Prediction.**
(6) Ratio of near-bank shear stress to bankfull shear stress (τ_{nb}/τ_{bkf}): **Level III - Detailed Prediction.**
(7) Velocity profiles/Isovels/Velocity gradient: **Level IV - Validation.**

Level I

(1) Transverse and/or central bars - short and/or discontinuous. NBS = High/Very High
Extensive deposition (continuous, cross channel). NBS = Extreme
Chute cutoffs, down-valley meander migration, converging flow (Figure X). NBS = Extreme

Level II

(2)

Radius of Curvature Rc (feet)	Bankfull Width W_{bkf} (feet)	Ratio Rc/W	Near-Bank Stress

(3)

Pool Slope S_p	Average Slope S	Ratio S_p/S	Near-Bank Stress

Dominant Near-Bank Stress

(4)

Pool Slope S_p	Riffle Slope S_{rif}	Ratio S_p/S_{rif}	Near-Bank Stress

Level III

(5)

Near-Bank Max Depth d_{nb} (feet)	Mean Depth d (feet)	Ratio d_{nb}/d	Near-Bank Stress

(6)

Near-Bank Max Depth d_{nb} (feet)	Near-Bank Slope S_{nb}	Near-Bank Shear Stress τ_{nb} (lb/ft^2)	Mean Depth d (feet)	Average Slope S	Shear Stress τ (lb/ft^2)	Ratio τ_{nb}/τ	Near-Bank Stress

Level IV

(7)

Velocity Gradient (ft/s/ft)	Near-Bank Stress

Converting Values to a Near-Bank Stress Rating

Near-Bank Stress Rating	Method Number (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Very Low	N/A	>3.0	< 0.20	< 0.4	<1.0	<0.8	<1.0
Low		2.21 - 3.0	0.20 - 0.40	0.41 - 0.60	1.0 - 1.5	0.8 - 1.05	1.0 - 1.2
Moderate		2.01 - 2.2	0.41 - 0.60	0.61 - 0.80	1.51 - 1.8	1.06 - 1.14	1.21 - 1.6
High	See (1) Above	1.81 - 2.0	0.61 - 0.80	0.81 - 1.0	1.81 - 2.5	1.15 - 1.19	1.61 - 2.0
Very High		1.5 - 1.8	0.81 - 1.0	1.01 - 1.2	2.51 - 3.0	1.20 - 1.60	2.01 - 2.3
Extreme		< 1.5	> 1.0	> 1.2	> 3.0	> 1.6	> 2.3

Overall Near-Bank Stress Rating

Figura H.1 - Folha tipo para a determinação no campo da categoria de NBS (worksheet 22a adaptado de EPA).

ANEXO I – FOLHAS COM OS DADOS DE CAMPO DA CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE PFANKUCH

I.1. FOLHAS DE CAMPO PARA COM A CLASSIFICAÇÃO DE PFANKUCH PARA OS TRECHOS DO RIO ÂNCORA

I.1.1. TRECHO 1

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou das barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavação e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavação e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavação e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Continuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação de material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavações e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**111**

I.1.2. TRECHO 2

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou de barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	Vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavações e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavação e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavações e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Continuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação de material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavações e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**105**

I.1.3. TRECHO 3

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou das barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	Vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavação e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavação e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavação e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Continuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação e material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavação e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**100**

I.1.4. TRECHO 4

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou das barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	Vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavação e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavação e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavação e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Continuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação e material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavação e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**86**

I.1.5. TRECHO 5

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou das barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	Vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavação e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavação e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavação e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Continuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação e material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavação e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**98**

I.2. FOLHAS DE CAMPO COM A CLASSIFICAÇÃO DE PFANKUCH PARA OS TRECHOS DO RIO NEIVA

I.2.1. TRECHO 1

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou de barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavações e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavações e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavações e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Contínuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação de material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavações e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**75**

I.2.2. TRECHO 2

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou de barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavações e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavações e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavações e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Contínuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação de material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavações e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**84**

I.2.3. TRECHO 3

Localização	Chave	Categoria	Excelente	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo <30%	**2**
	2	**Instabilidade do material**	Sem evidência de instabilidades passadas ou futuras	**3**
	3	**Quantidade de Destroços**	Ausentes do canal	**2**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	>90% densidade vegetação, vigor e variedade sugere a existência de uma elevada densidade e raízes	**3**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Relação W/D <7	**1**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	>65% com rochas grandes >30cm	**2**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de Rochas e troncos de árvores. Escoamento sem deposições, canal estável.	**2**
	8	**Desgaste do material**	Pouco ou nenhum, margens nuas pouco frequentes <15 cm	**4**
	9	**Deposição**	Pouca, sem alargamento do canal ou de barras	**4**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas aguçadas, superfícies planas ásperas	**1**
	11	**Brilho**	Sem brilho	**1**
	12	**Consolidação do material**	vários tamanhos compactados	**2**
	13	**Distribuição do material**	Sem variação evidente, material estável 80-100%	**4**
	14	**Infra-escavações e deposição**	<5% do leito afectado por infra-escavação e deposição	**6**
	15	**Vegetação aquática**	Abundante, crescimento em tufos, vegetação de cor verde-escuro	**1**

Localização	Chave	Categoria	Bom	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 30-40%	**4**
	2	**Instabilidade do material**	Raro, recuperação da instabilidade. Risco de Futura instabilidade baixo	**6**
	3	**Quantidade de Destroços**	Presente, mas por pequenos ramos	**4**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	70-90% densidade, poucas espécies ou menos vigor sugere menos densidade de raízes	**6**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Adequado, transbordo para as margens são raros, relação W/D 8-15	**2**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	40-65% rochas pequenas 15-30 cm	**4**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Presença de algumas obstruções causando correntes erosivas	**4**
	8	**Desgaste do material**	Presente no extradorso das barras. Margem nua cerca de 12cm	**6**
	9	**Deposição**	Algum alargamento das barras devido á acumulação de gravilhas	**8**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Cantos redondos	**2**
	11	**Brilho**	Maioritariamente sem brilho, <35% superfície com brilho	**2**
	12	**Consolidação do material**	Moderadamente compactado	**4**
	13	**Distribuição do material**	Variação do material do fundo ligeira 50-80 % leito estável	**8**
	14	**Infra-escavações e deposição**	5-30% leito afectada por infra-escavação	**12**
	15	**Vegetação aquática**	Comum, formação de algas nos locais de menor velocidade	**2**

Localização	Chave	Categoria	Razoável	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo 40-60%	**6**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos	**9**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, geralmente de grandes dimensões	**6**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50-70% densidade de vegetação, poucas espécies e com pouco vigor evidenciando pouca densidade de raízes	**9**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Podem ocorrer extravasamentos para o caudal de pico, W/D 15-25	**3**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	20-40% seixos de diâmetro 7-15 cm	**6**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Moderado, móvel para caudais elevados	**6**
	8	**Desgaste do material**	Significante, margem nua 30-60 cm	**12**
	9	**Deposição**	Moderada, deposição recente e gravilha e areia na barras	**12**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Arestas e vértices bem arredondados	**3**
	11	**Brilho**	Mistura de brilhantes e baço, 35-65% mistura	**3**
	12	**Consolidação do material**	Maioritariamente solto	**6**
	13	**Distribuição do material**	Mudanças moderadas em tamanho. 20-50 % leito estável	**12**
	14	**Infra-escavações e deposição**	30-50% afectado por infra-escavação, sedimentação nos fundões	**18**
	15	**Vegetação aquática**	Localizada junto á foz, afectada pelas marés, algas sazonais	**3**

Localização	Chave	Categoria	Mau	
			Descrição	Classificação
Zona Superior da Margem	1	**Ângulo Margem**	Ângulo >60%	**8**
	2	**Instabilidade do material**	Frequente, causando influxos regulares de sedimentos ou perigo iminente do mesmo	**12**
	3	**Quantidade de Destroços**	Moderado a elevado, predominantemente por detritos de grande dimensão	**8**
	4	**Protecção da margem por vegetação**	<50% densidade de plantas, poucas espécies e vigor indiciando pouca densidade de raízes	**12**
Zona Inferior da Margem	5	**Capacidade do canal**	Inadequado, extravasamento das margens frequente	**4**
	6	**Quantidade de Rochas nas margens**	<20% gravilha e rocha 3-8 cm	**8**
	7	**Obstrução ao escoamento**	Obstruções frequente causando erosão durante o ano inteiro, ocorrência de migração do canal	**8**
	8	**Desgaste do material**	Contínuo, alguns com 60cm, deslizamentos frequentes.	**16**
	9	**Deposição**	Depósitos extensivos, partículas finas, formação de novas barras	**16**
Leito do canal	10	**Angularidade dos sedimentos**	Redondas em todas as dimensões superfície lisa	**4**
	11	**Brilho**	Predominantemente brilhantes >65 % expostas	**4**
	12	**Consolidação do material**	Sem consolidação evidente, facilmente removível	**8**
	13	**Distribuição do material**	Variação de material notável, materiais estáveis 0-20%. Deposição de areia	**16**
	14	**Infra-escavações e deposição**	>50 % do leito em movimento alterações durante o ano inteiro	**24**
	15	**Vegetação aquática**	Espaçadas ou ausentes, coloração verde-amarelado.	**4**
			Total	**72**

ANEXO J – TENSÕES DE ARRASTAMENTO

J.1. TRATAMENTO DOS DADOS DOS DIVERSOS TRECHOS PARA O CÁLCULO DAS TENSÕES DE ARRASTAMENTO

Tabela J.1 - Dados do trecho 1 rio Âncora.

Distância à Margem (m)	Profundidade total (m)	Área (m^2) (3)	Profundidade medição (m)	U (m/s)	$U_{média}$ (m/s) (6)	(3)x(6)
2	0,22	0,22	0,12	-0,076	N.a	N.a
2,5	0,54	0,36	0,1	0,425	0,322	0,116
			0,3	0,219		
3	0,78	0,39	0,1	0,521	0,365	0,142
			0,3	0,387		
			0,5	0,188		
3,5	0,98	0,49	0,1	0,51	0,330	0,162
			0,3	0,41		
			0,5	0,069		
4	1,1	0,55	0,2	0,449	0,331	0,182
			0,4	0,433		
			0,6	0,306		
			0,8	0,134		
	Área total	2,01		$U_{média}$	0,337	
				$U_{ponderada}$	0,299	

Tabela J.2 - Dados do trecho 2 rio Âncora.

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3)x(6)**
5	0,3	0,3	0,15	0,211	0,211	0,063
6	0,25	0,25	0,12	0,478	0,478	0,120
7	0,3	0,3	0,15	0,495	0,495	0,149
8	0,3	0,3	0,15	0,543	0,543	0,163
9	0,35	0,35	0,175	0,501	0,501	0,175
10	0,35	0,35	0,175	0,523	0,523	0,183
11	0,4	0,4	0,2	0,574	0,574	0,230
12	0,4	0,4	0,2	0,604	0,604	0,242
13	0,4	0,4	0,1	0,701	0,613	0,245
			0,2	0,525		
14	0,4	0,4	0,1	0,66	0,595	0,238
			0,2	0,53		
15	0,35	0,35	0,1	0,661	0,6475	0,227
			0,17	0,634		
16	0,35	0,35	0,17	0,614	0,614	0,215
17	0,25	0,25	0,12	0,583	0,583	0,146
18	0,15	0,15	0,07	0,499	0,499	0,075
19	0,2	0,2	0,1	0,462	0,462	0,092
20	0,2	0,2	0,1	0,385	0,385	0,077
21	0,25	0,25	0,12	0,367	0,367	0,092
22	0,2	0,2	0,1	0,343	0,343	0,069
23	0,2	0,2	0,1	0,441	0,441	0,088
24	0,25	0,25	0,12	0,317	0,317	0,079
25	0,2	0,2	0,1	0,325	0,325	0,065
26	0,2	0,2	0,1	0,426	0,426	0,085
28	0,25	0,5	0,12	0,3	0,3	0,150
29	0,18	0,18	0,1	0,358	0,358	0,064
30	0,2	0,2	0,1	0,219	0,219	0,044
31	0,18	0,18	0,1	0,315	0,315	0,057
32	0,15	0,15	0,07	0,274	0,274	0,041
33	0,1	0,1	0,05	0,319	0,319	0,032
34,5	0,1	0,15	0,05	0,244	0,244	0,037
	Área total	7,71		$U_{média}$	0,434	
				$U_{ponderada}$	0,459	

Tabela J.3 - Dados do trecho 3 rio Âncora.

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3)x(6)**
3	0,55	0,55	0,15	0,115	0,087	0,048
			0,25	0,095		
			0,35	0,052		
4	1	1	0,2	0,189	0,169	0,169
			0,4	0,157		
			0,6	0,161		
5	1,2	1,2	0,2	0,134	0,124	0,148
			0,4	0,14		
			0,6	0,143		
			0,9	0,077		
10,5	1,35	1,35	0,2	0,175	0,180	0,243
			0,5	0,177		
			0,8	0,188		
12,5	1,3	2,6	0,2	0,158	0,159	0,413
			0,5	0,163		
			0,7	0,156		
13,5	0,93	0,93	0,2	0,126	0,148	0,137
			0,5	0,162		
			0,7	0,155		
15,5	0,86	1,72	0,2	0,12	0,124	0,212
			0,4	0,127		
16,5	0,67	0,67	0,2	0,113	0,113	0,075
			0,4	0,112		
18,5	0,5	1	0,25	0,076	0,076	0,076
	Área total	11,02		$U_{média}$	0,131	
				$U_{ponderada}$	0,138	

Tabela J.4 - Dados do trecho 4 rio Âncora.

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3)x(6)**
3,5	0,4	0,4	0,2	0,162	0,162	0,065
5,5	0,65	0,65	0,2	0,192	0,177	0,115
			0,4	0,162		
6,5	0,77	0,77	0,2	0,216	0,215	0,166
			0,4	0,223		
			0,6	0,207		
7,5	0,88	0,88	0,2	0,227	0,234	0,206
			0,4	0,249		
			0,6	0,227		
8,5	1,01	1,01	0,2	0,245	0,234	0,236
			0,4	0,24		
			0,6	0,216		
9,5	1,2	1,2	0,2	0,265	0,262	0,314
			0,5	0,261		
			0,75	0,26		
10,5	1,35	1,35	0,2	0,263	0,263	0,355
			0,4	0,29		
			0,7	0,235		
	Área total	6,26		$U_{média}$	0,221	
				$U_{ponderada}$	0,233	

Tabela J.5 - Dados do trecho 5 rio Âncora.

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3)x(6)**
1	0,28	0,28	0,1	0,091	0,091	0,025
2	0,45	0,45	0,2	0,53	0,530	0,239
2,5	0,75	0,375	0,2	0,551	0,434	0,163
			0,4	0,578		
			0,6	0,173		
3,5	0,9	0,9	0,2	0,536	0,507	0,456
			0,35	0,529		
			0,55	0,52		
			0,75	0,441		
4,5	1	1	0,2	0,448	0,419	0,419
			0,4	0,505		
			0,6	0,304		
5,5	0,9	0,9	0,2	0,464	0,447	0,403
			0,4	0,458		
			0,6	0,42		
6,5	0,6	0,6	0,2	0,433	0,420	0,252
			0,4	0,407		
8,5	0,5	1	0,2	0,342	0,334	0,334
			0,3	0,325		
10,5	0,36	0,72	0,18	0,058	0,058	0,042
	Área total	6,225		$U_{média}$	0,360	
				$U_{ponderada}$	0,375	

Tabela J.6 - Dados do trecho 1 rio Neiva.

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3) x(6)**
1,5	0,45	0,225	0,2	0,103	0,065	0,015
			0,35	0,027		
2	0,7	0,35	0,2	0,179	0,152	0,053
			0,4	0,215		
			0,55	0,061		
2,5	0,65	0,325	0,2	0,318	0,307	0,100
			0,4	0,296		
3,5	0,6	0,3	0,2	0,352	0,328	0,098
			0,4	0,304		
4,5	0,55	0,275	0,2	0,313	0,301	0,083
			0,4	0,289		
5,5	0,5	0,25	0,2	0,313	0,301	0,075
			0,35	0,289		
6,5	0,45	0,225	0,15	0,288	0,262	0,059
			0,35	0,236		
8	0,35	0,175	0,18	0,21	0,210	0,037
9,5	0,3	0,15	0,15	0,203	0,203	0,030
11,5	0,25	0,125	0,13	0,139	0,139	0,017
13,5	0,25	0,125	0,13	0,134	0,134	0,017
15,5	0,22	0,11	0,11	0,106	0,106	0,012
17,5	0,3	0,15	0,3	0,119	0,119	0,018
19,5	0,35	0,175	0,18	0,119	0,119	0,021
21,5	0,4	0,2	0,2	0,175	0,175	0,035
23,5	0,45	0,225	0,22	0,186	0,186	0,042
25,5	0,45	0,225	0,22	0,201	0,201	0,045
27,5	0,55	0,275	0,15	0,247	0,225	0,062
			0,3	0,203		
29	0,55	0,275	0,2	0,289	0,249	0,068
			0,35	0,209		
31	0,65	0,325	0,2	0,29	0,238	0,077
			0,4	0,186		
32,5	0,6	0,3	0,2	0,358	0,324	0,097
			0,4	0,29		

Tabela J.6 - Dados do trecho 1 rio Neiva (continuação).

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3) x(6)**
34	0,5	0,25	0,15	0,331	0,299	0,075
			0,35	0,267		
35	0,5	0,25	0,15	0,262	0,248	0,062
			0,35	0,233		
36	0,5	0,25	0,2	0,226	0,244	0,061
			0,35	0,262		
37	0,45	0,225	0,15	0,23	0,214	0,048
			0,3	0,197		
	Área total	5,76		$U_{média}$	0,214	
				$U_{ponderada}$	0,227	

Tabela J.7 - Dados do trecho 2 rio Neiva.

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3) x(6)**
5	0,5	0,75	0,2	0,052	N.a	N.a
			0,35	-0,034		
6,5	0,55	0,825	0,2	0,188	0,163	0,134
			0,35	0,138		
7,5	0,55	0,55	0,2	0,197	0,169	0,093
			0,35	0,14		
8,5	0,5	0,5	0,2	0,208	0,187	0,093
			0,35	0,165		
10,5	0,5	1	0,2	0,273	0,213	0,213
			0,35	0,153		
12,5	0,6	1,2	0,2	0,276	0,239	0,286
		0	0,4	0,201		
14,5	0,6	1,2	0,2	0,36	0,338	0,406
		0	0,4	0,316		
16,5	0,6	1,2	0,2	0,436	0,372	0,446
		0	0,4	0,308		
18,5	0,55	1,1	0,2	0,43	0,397	0,437
		0	0,4	0,364		
20,5	0,5	1	0,2	0,401	0,380	0,380
		0	0,4	0,359		
22,5	0,45	0,9	0,15	0,361	0,328	0,295
			0,25	0,294		
24,5	0,4	0,8	0,2	0,27	0,270	0,216
26,5	0,4	10,6	0,2	0,147	0,147	1,558
28,5	0,3	1,2	0,15	0,077	0,077	0,092
	Área total	22,075		$U_{média}$	0,235	
				$U_{ponderada}$	0,211	

Tabela J.8 - Dados do trecho 3 rio Neiva.

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3) x(6)**
3,5	0,3	0,15	0,15	-0,037	N.a	N.a
4,5	0,45	0,45	0,2	-0,023	N.a	N.a
5,5	0,7	0,7	0,2	0,022	0,0130	0,0091
			0,4	0,014		
			0,55	0,003		
6,5	0,95	0,95	0,2	0,05	0,0493	0,0469
			0,4	0,038		
			0,6	0,06		
7,5	1	1	0,2	0,128	0,1298	0,1298
			0,4	0,129		
			0,6	0,142		
			0,8	0,12		
8,5	1	1	0,2	0,203	0,1570	0,1570
			0,4	0,18		
			0,6	0,113		
			0,8	0,132		
9,5	1	1	0,2	0,208	0,2083	0,2083
			0,4	0,229		
			0,6	0,189		
			0,8	0,207		
11	1	2	0,2	0,304	0,2870	0,5740
			0,4	0,305		
			0,7	0,252		
13	0,95	1,7	0,2	0,334	0,3280	0,5576
			0,4	0,339		
			0,6	0,311		
15	0,9	1,8	0,2	0,344	0,3057	0,5502
			0,4	0,32		
			0,6	0,253		
17	0,8	1,6	0,2	0,311	0,2893	0,4629
				0,291		
				0,266		
19	0,7	1,4	0,2	0,292	0,2895	0,4053
			0,4	0,287		
21	0,55	1,1	0,2	0,214	0,2020	0,2222
			0,35	0,19		

Tabela J.8 - Dados do trecho 3 rio Neiva (continuação).

Distância à Margem (m)	**Profundidade total (m)**	**Área (m^2) (3)**	**Profundidade medição (m)**	**U (m/s)**	**$U_{média}$ (m/s) (6)**	**(3) x(6)**
23	0,45	0,9	0,22	0,147	0,1470	0,1323
25	0,35	0,7	0,18	0,077	0,0770	0,0539
26,5	0,2	0,3	0,1	0,044	0,0440	0,0132
	Área total	16,75		$U_{média}$	0,1805	
				$U_{ponderada}$	0,210	

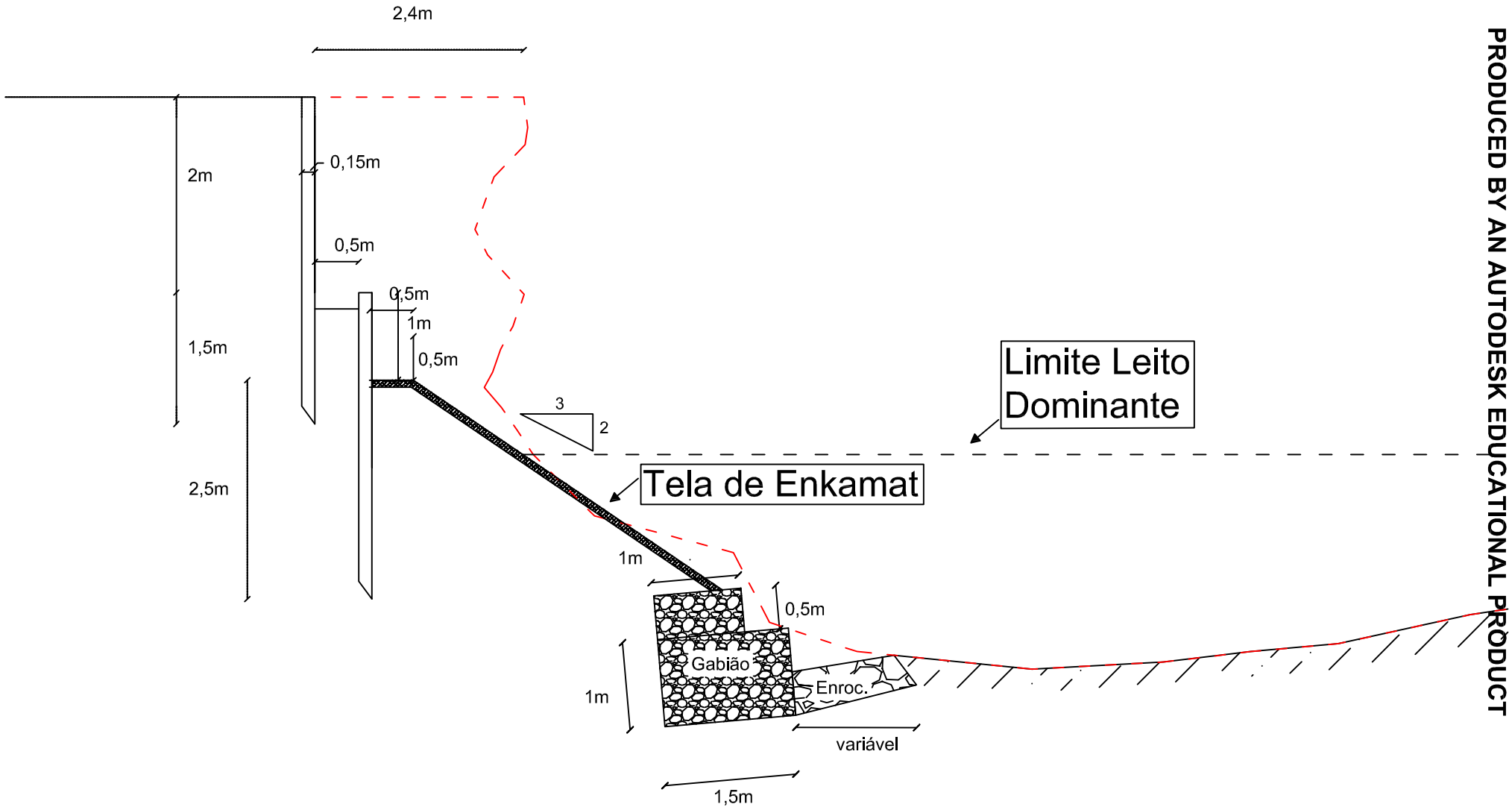
N.a - valor não admitido.

ANEXO L – SOLUÇÕES DE PROTECÇÃO DAS MARGENS

L.1. PROPOSTAS DE PROTECÇÃO PARA AS MARGENS DOS TRECHOS DO RIO ÂNCORA

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 1 (Proposta 1)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

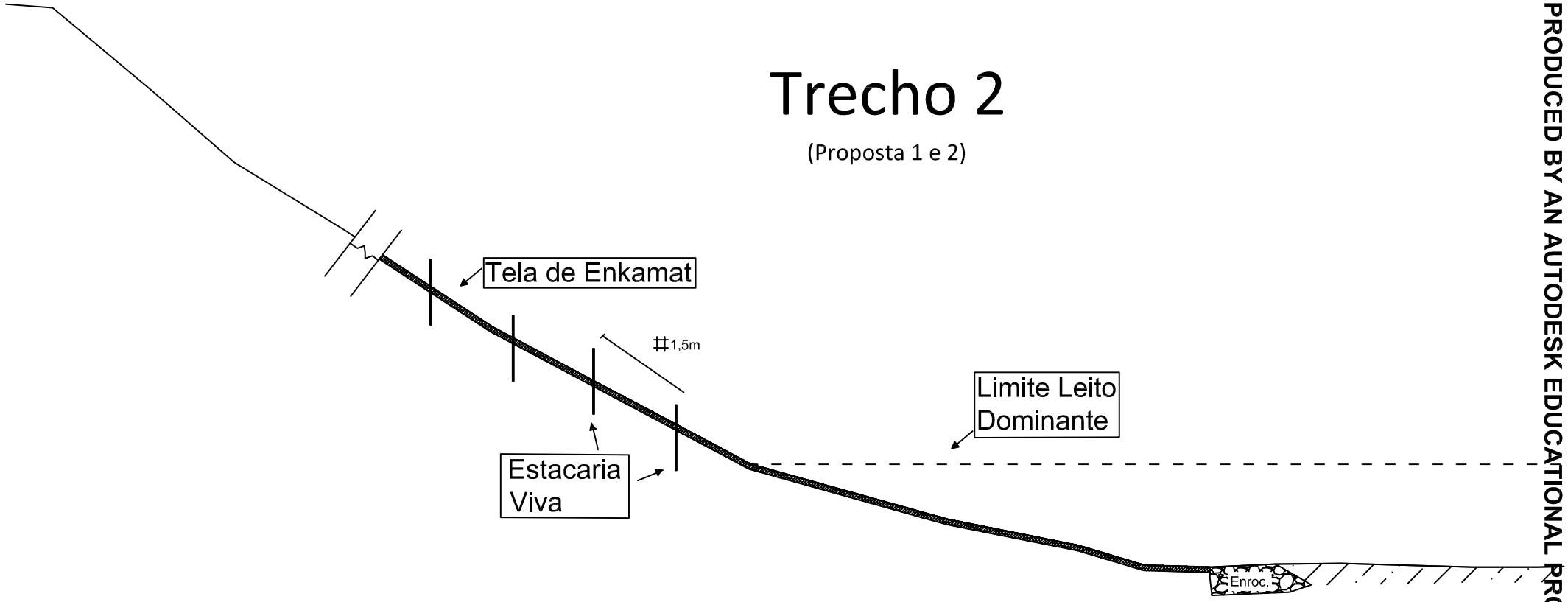
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 2

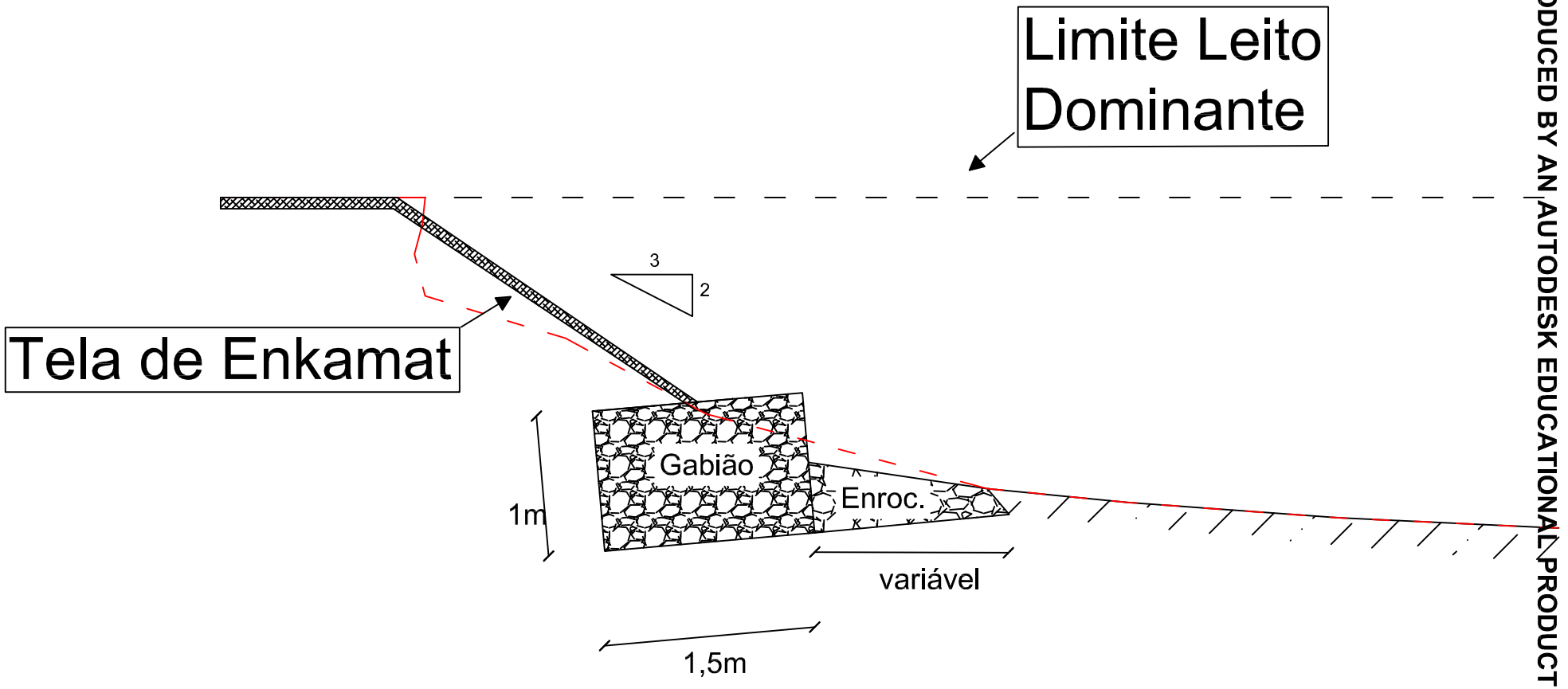
(Proposta 1 e 2)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

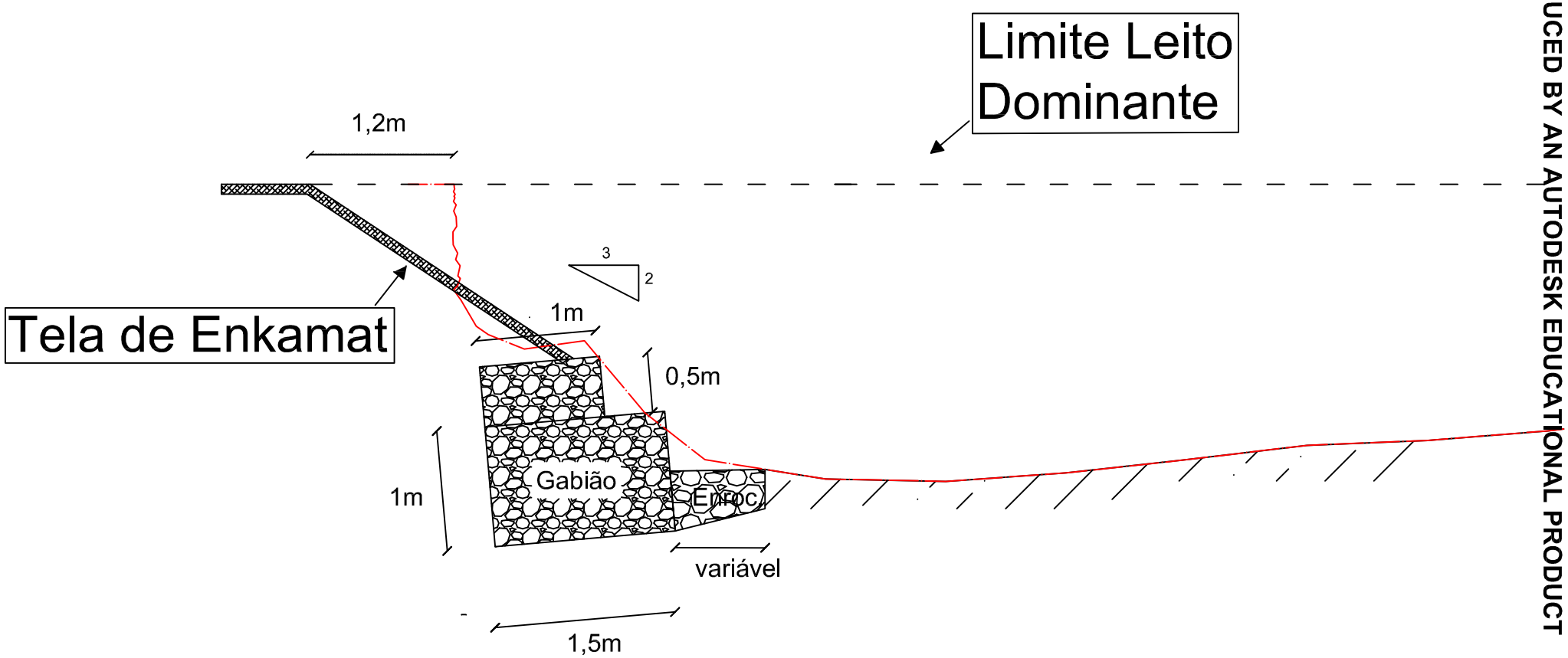
Trecho 3 (Proposta 1)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

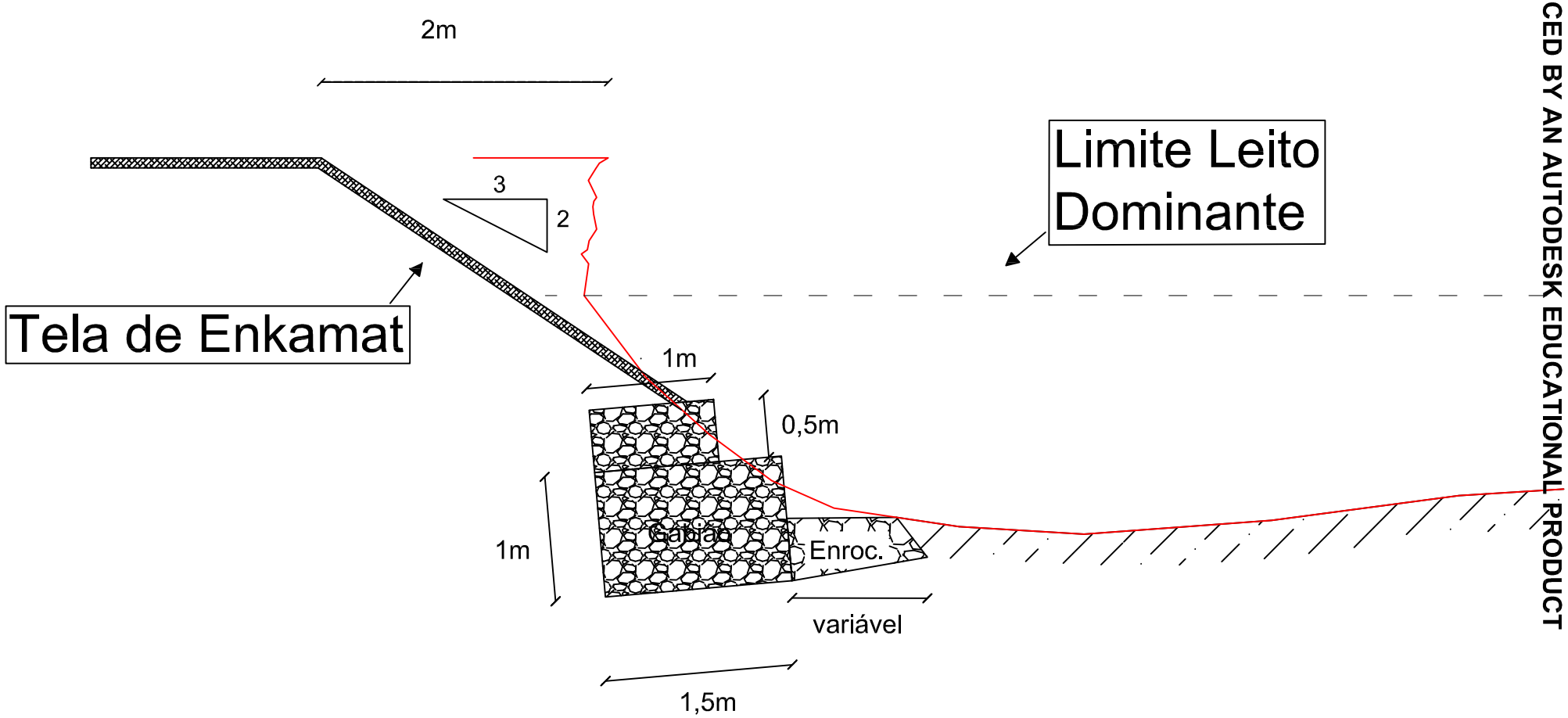
Trecho 4 (Proposta 1)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

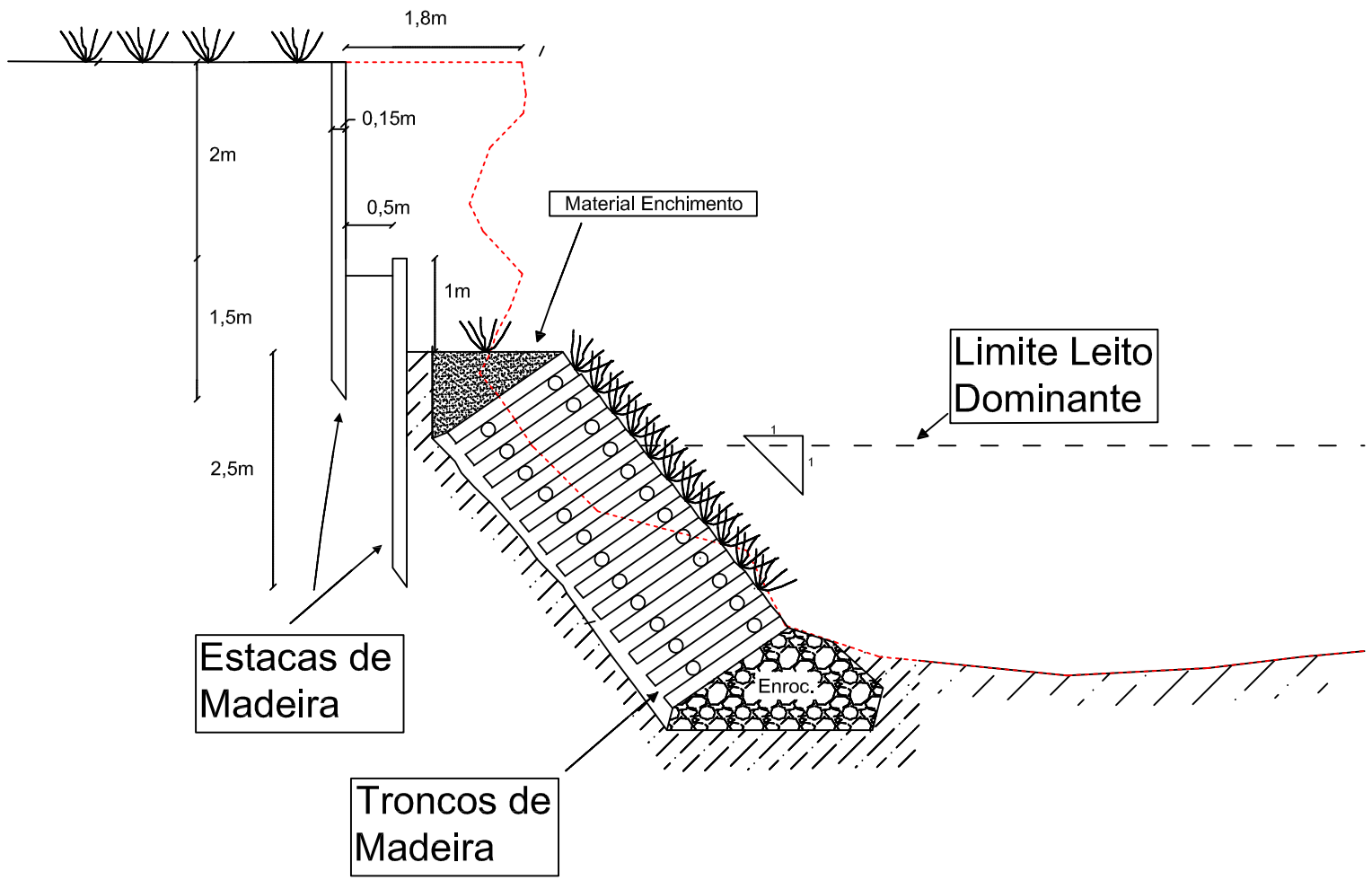
Trecho 5 (Proposta 1)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

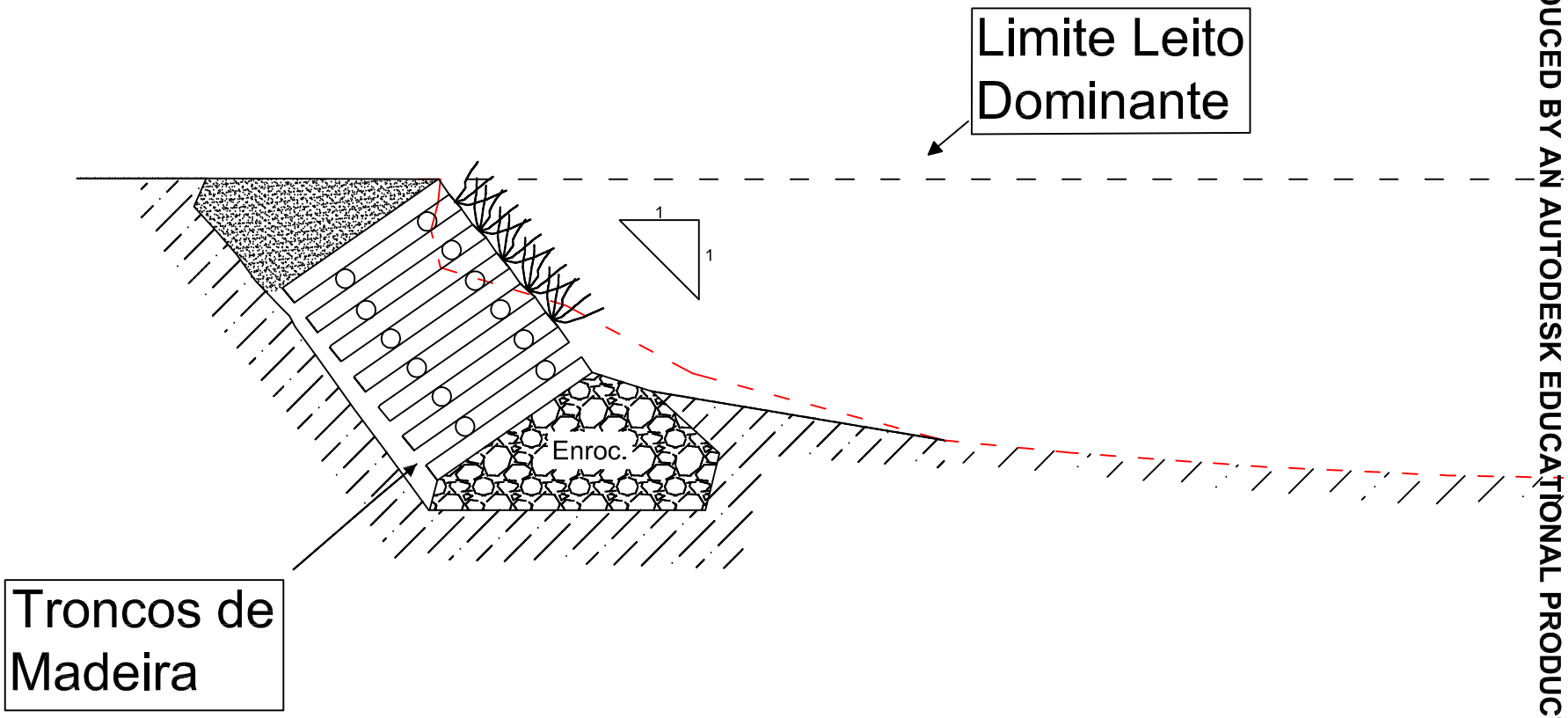
Trecho 1 (Proposta 2)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

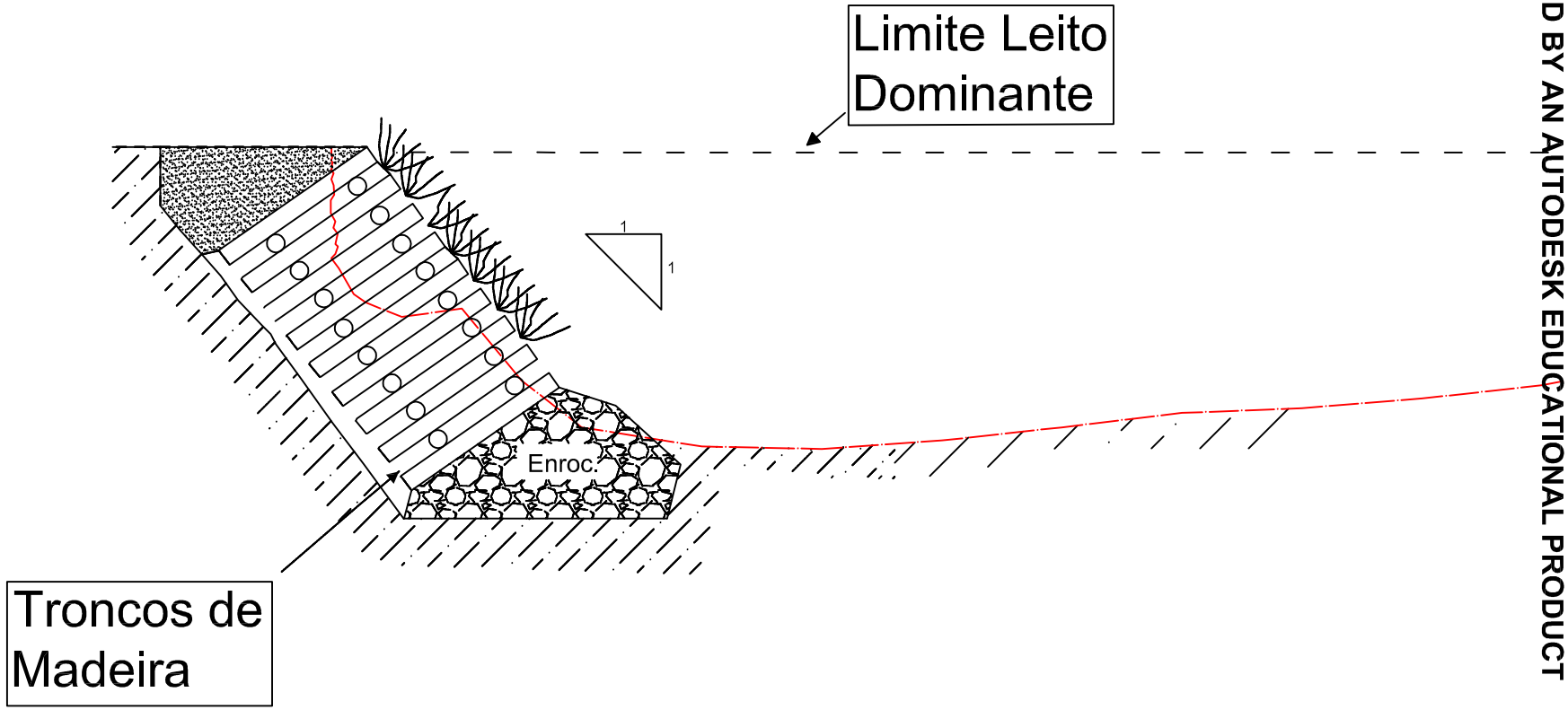
Trecho 3 (Proposta 2)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

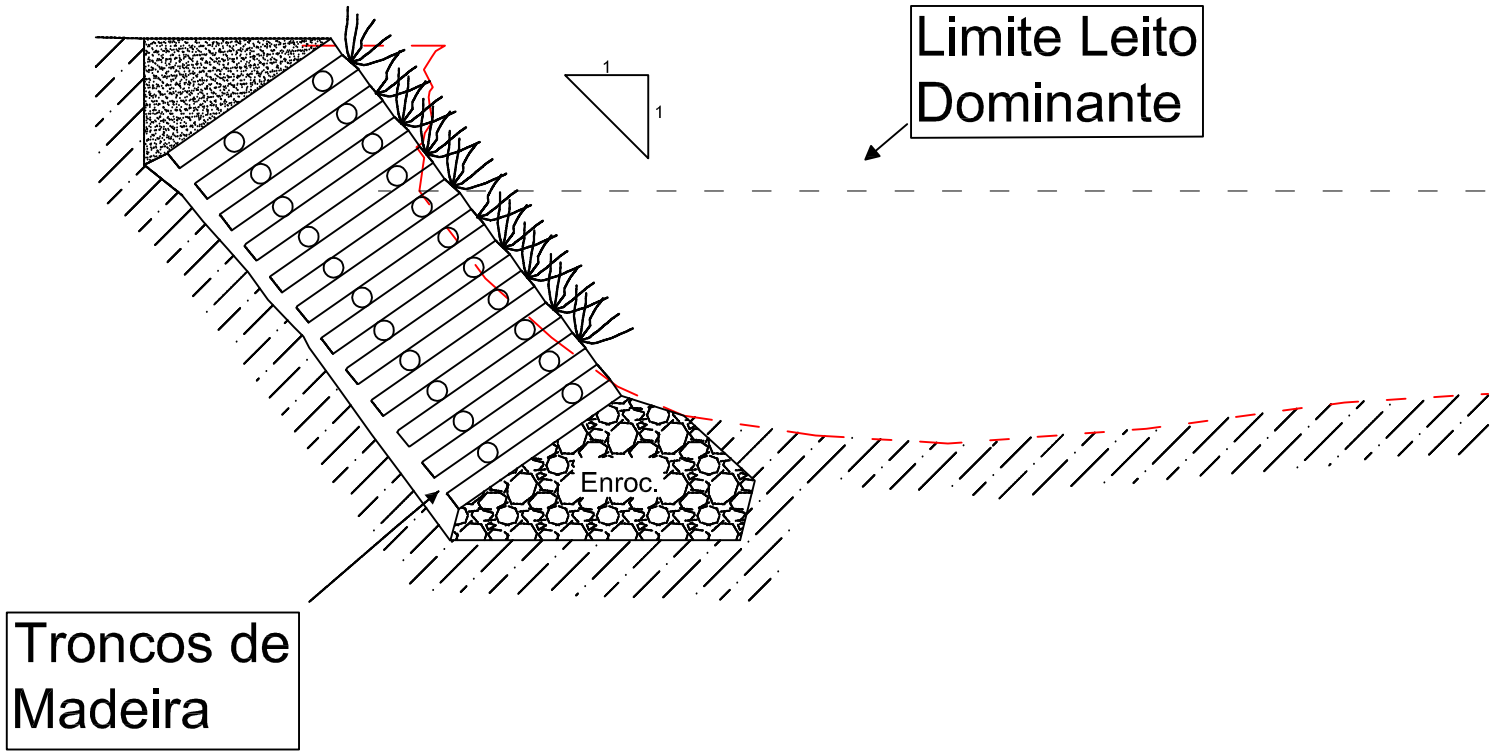
Trecho 4 (Proposta 2)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 5 (Proposta 2)

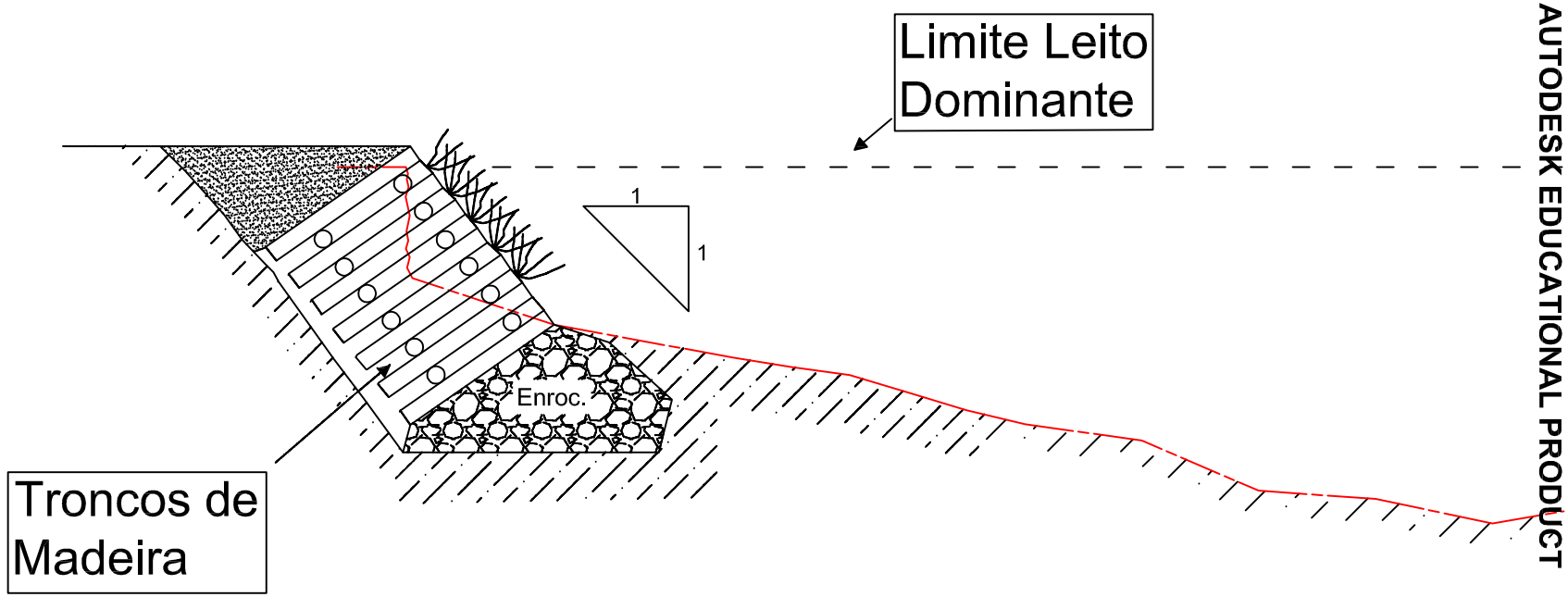


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

L.2. PROPOSTAS DE PROTECÇÃO PARA AS MARGENS DOS TRECHOS DO RIO NEIVA

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

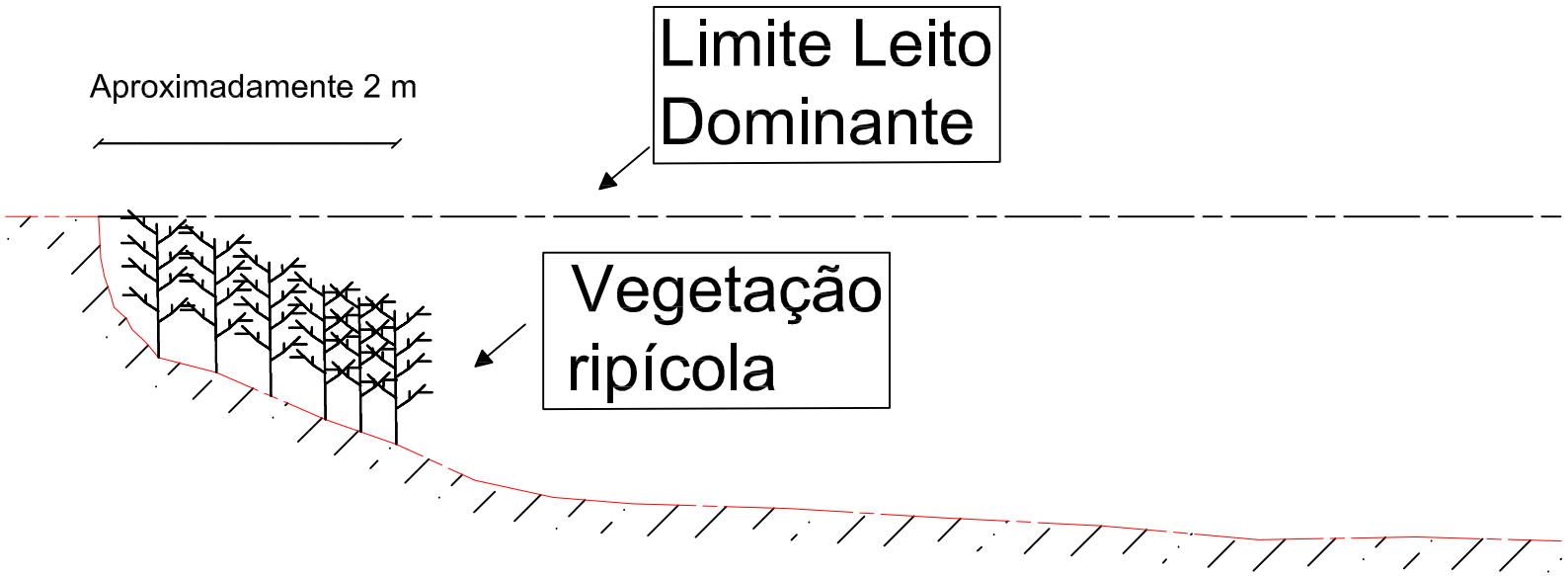
Trecho 1



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

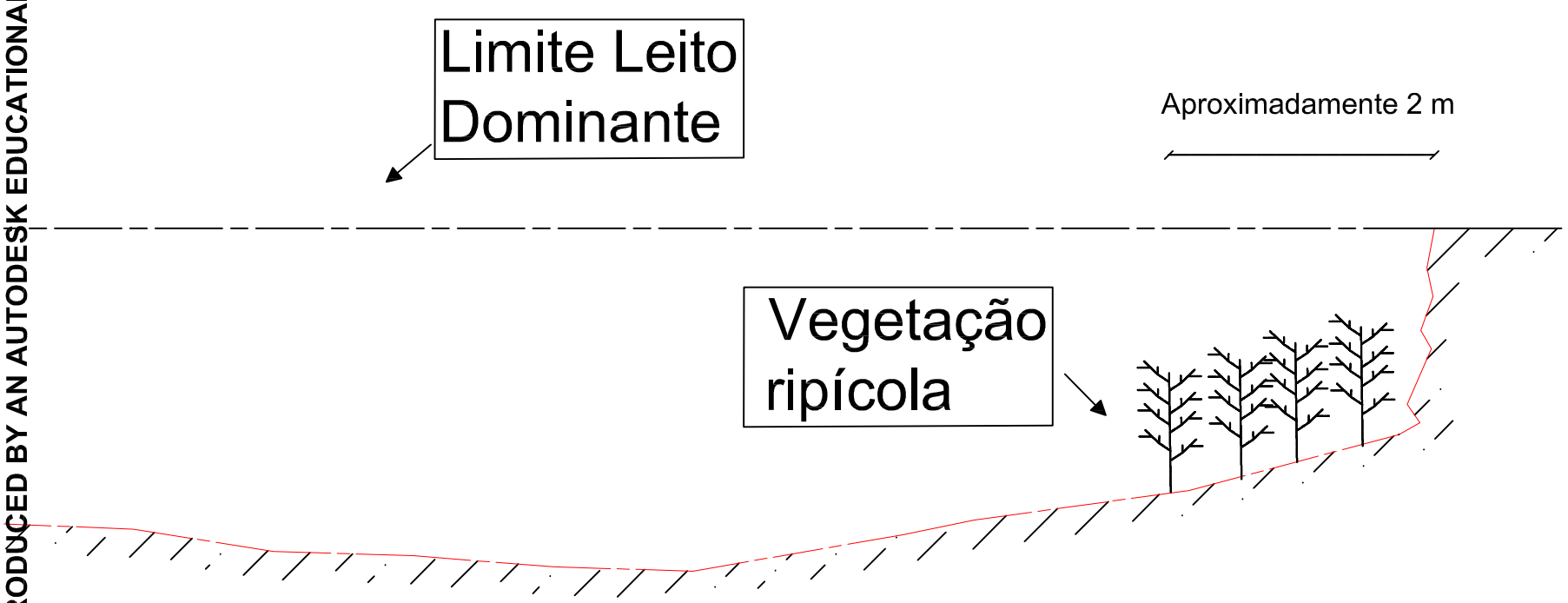
Trecho 2



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Trecho 3



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT