U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MODELAÇÃO DE ESCOAMENTOS NO ÂMBITO DA DETERMINAÇÃO DO RCE (REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS) APLICAÇÃO DO PROGRAMA RIVER 2D

JOANA FILIPA MADEIRA CORREIA FONSECA

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

Coorientador: Engenheiro João Miguel Oliveira (EDP)

JULHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

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 - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Mãe

Plan your work for today and every day, then work your plan

Margaret Thatcher

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Rodrigo Maia por ter possibilitado a realização deste trabalho e pelas linhas orientadoras com que a conduziu.

Ao Eng.º João Miguel Oliveira, pelo incondicional e incansável apoio e pela exigência que incutiu, permitindo que os objetivos fossem alcançados e elevados.

Ao Eng.º Dias da Silva, pela oportunidade única que me proporcionou e pela amabilidade com que me recebeu.

A todo o Departamento de Hidráulica, pela simpatia e disponibilidade com que me brindaram. Agradeço em particular, à Eng.ª Maria João Gavina por todo o conhecimento partilhado e pela sua participação ativa nas campanhas de medições de caudais, sem a qual não seria possível realizar este trabalho; à Eng.ª Ana Catarina Ferreira, acima de tudo, pelos conselhos, pela amizade e pelo companheirismo; ao Eng.º Pedro Pinto pela prontidão com que esclareceu as mais diversas questões e pelas sugestões apontadas; e ao Eng.º Manuel Oliveira pelos momentos diários de boa disposição.

Ao Eng.º Francisco Telles, pela contribuição e elementos disponibilizados; e ao Eng.º David Fernandes por toda a ajuda indispensável à realização deste trabalho.

À EDP Gestão da Produção de Energia S.A., agradeço a possibilidade de realizar a dissertação em ambiente empresarial, contribuindo para que desenvolvesse um conjunto alargado de competências técnicas e humanas.

RESUMO

Nas últimas décadas tem-se observado uma crescente preocupação ambiental associada à degradação dos ecossistemas, consequente das modificações verificadas a jusante de barragens, devendo-se, essencialmente, à ausência de um regime natural de caudais. Como resposta a esta problemática, surge o conceito de Regime de Caudais Ecológicos (RCE), integrando um plano de mitigação e requalificação associado à construção ou existência de uma barragem. No entanto, a determinação deste regime não é consensual, não existindo nenhum método globalmente aceite para este fim.

Neste contexto, o estudo apresentado inicia-se com uma extensa pesquisa relativa aos tipos de métodos existentes, abordando-se as principais vantagens e inconvenientes associadas a cada um. Destes métodos, para determinação do RCE, destacam-se os de simulação de habitat por atenderem às respostas bióticas das espécies ao habitat físico. Inserido nesta tipologia o método mais utilizado é o IFIM, este é explorado com detalhe, nomeadamente a nível dos princípios ecológicos em que se baseia, as fases inerentes e os programas necessários à sua implementação. Foi elaborada, por fim, uma síntese de todo o processo com objetivo de possibilitar a sua correta aplicação de acordo com a bibliografia.

A presente dissertação teve como objetivo definir uma metodologia que permitisse otimizar, com base no IFIM, a modelação hidrodinâmica bidimensional. A proposta final de metodologia reflete, não só os conhecimentos adquiridos no decorrer da profunda pesquisa bibliográfica, mas também o conhecimento empírico obtido com a sua aplicação a dois casos práticos – o Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo e o Aproveitamento Hidroelétrico de Ribeiradio e Ermida. Nesta aplicação prática, que permitiu o aperfeiçoamento contínuo da abordagem inicialmente proposta, recorreu-se a um processo sistematizado assente nas seguintes etapas: identificação do problema e dos objetivos da modelação; planeamento da abordagem e respetiva calendarização; realização das campanhas de recolha de dados, e posterior tratamento dos mesmos; modelação hidrodinâmica e simulação de habitat; e, por fim, interpretação de resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Caudais ecológicos, IFIM, River2D, modelação bidimensional, habitat

ABSTRACT

In the past decades, a new concern with environmental problems connected to degradation of ecosystems caused by modifications occurring of downstream dams due the absence of natural flow regime. As response to this problem, the concept of Environmental Flow Regime (EFR) appeared as part composing of a mitigation and requalification plan connected with new or already existing dams. However, the determination of this regime is not agreed, lacking a globally adopted method to achieve this goal.

In this context, this study begins with an extensive research related with existing types of methods, addressing the main advantages and disadvantages of each one. From the methods to determine the EFR, the habitat simulation stand out as they pay attention to the biotic answers of the species to the physical habitat. The most used of this methodologies is the IFIM. This method is analyzed with detail, namely the ecologic principles in which it is based on as well as the inherent phases and the software required to its implementation. Finally, a synthesis of the whole process is made with the purpose of make it possible of correctly using it according to the existing bibliography.

This dissertation's goal was to define a methodology that allows the optimization of the bidimensional hydrodynamic modelling, based on IFIM. The final proposed methodology reflects, not only the knowledge achieved due to the exhaustive bibliographic research developed, but also the empirical knowledge achieved with its practical application to two study cases – Touvedo Hydroelectric Power Plant and Ribeiradio-Ermida Hydroelectric Power Plant. In this practical application, that made possible the continuous improvement of the approach initially proposed, a systematized based on the following stages: problem identification and objectives; approach planning and respective scheduling; data collection campaigns and data analysis; hydrodynamic modelling and habitat simulation; and finally, results analysis.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS I
RESUMO III
ABSTRACT V
ÍNDICE VII
ÍNDICE DE FIGURAS XI
ÍNDICE DE TABELAS XIII

1 INTRODUÇÃO 1

1.1. ENQUADRAMENTO 1
1.2. OBJETIVOS 2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 2

2 CAUDAIS ECOLÓGICOS 5

2.1. ENQUADRAMENTO GLOBAL 5
2.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO 6
2.3. TIPOS DE METODOLOGIAS PARA DEFINIÇÃO DE RCES 7
2.3.1. Métodos hidrológicos 8
2.3.2. Métodos hidráulicos 9
2.3.3. Métodos de simulação de habitat 10
2.3.4. Métodos holísticos 11
2.3.5. Síntese das metodologias de determinação do RCEs 12

3 METODOLOGIA INCREMENTAL 13

3.1. ENQUADRAMENTO 13
3.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS 14
3.2.1. Unidades de habitat do IFIM 14
3.2.2. Etapas na aplicação do IFIM 15
3.3. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA 16
3.3.1. Caracterização ecológica dos troços 16
3.3.2. Limitações à eficácia do RCE 17
3.4. PLANEAMENTO DO ESTUDO 18
3.4.1. Espécies-alvo 19
3.4.2. Síntese do plano de estudo a elaborar 20
3.5. IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO 20
3.5.1. Critérios de aptidão de habitat 20
3.5.2. Modelos hidrodinâmicos e de habitat 21
3.6. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS 22
3.7. RESOLUÇÃO DO PROBLEMA 22
3.8. SÍNTESE DA METODOLOGIA 24

4 MODELAÇÃO BIDIMENSIONAL RIVER 2D 25

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS 25
4.2. PRINCÍPIOS DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS BIDIMENSIONAIS 25
4.2.1. Formulação Física 26
4.2.2. Modelação numérica 28
4.2.3. Dados exigidos 29
4.3. DESCRIÇÃO DO MODELO *RIVER2D* 30
4.4. FORMULAÇÃO DO RIVER2D 30
4.4.1. Modelo hidrodinâmico 30
4.4.2. Modelo de habitat piscícola 31
4.4.3. Ficheiros de entrada 31

5 METODOLOGIA 33

5.1. Considerações Gerais 33
5.2. Análise prévia 33
5.3. Planeamento 35
5.3.1. Visita de Reconhecimento 36
5.3.2. Equipamentos 37
5.4. Recolha de dados de campo 38
5.5. Modelação Hidrodinâmica 40
5.5.1. Leito do rio 40
5.5.2. Definição da Malha 41
5.5.3. Resultados 42
5.6. Simulação de Habitat 43

6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE TOUVEDO 45

6.1. Identificação do problema 45
6.2. Análise Prévia 45
6.2.1. Caracterização do aproveitamento hidroelétrico do Rio Lima 45
6.2.2. Caracterização Geral da bacia hidrográfica do rio Lima 47
6.2.3. Caracterização da comunidade ictiofaunística 47
6.3. Planeamento 48
6.3.1. Planificação temporal 48
6.3.2. Trecho a modelar 49
6.3.3. Espécies-Alvo 50
6.3.4. Gama de Caudais a Modelar 51
6.4. Recolha de dados 52
6.5. Modelação bidimensional utilizando o River2D 53
6.5.1. Leito do Rio 53
6.5.2. Definição da Malha 54
6.5.3. Condições fronteira 54
6.5.4. Calibração do Modelo 55
6.5.5. Modelação Hidrodinâmica 58
6.5.6. Simulação de Habitat 58
6.6. Conclusões 61

7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE RIBEIRADIO-ERMIDA 63

7.1. Identificação do Problema 63
7.2. Análise Prévia 63
7.2.1. Caracterização do aproveitamento hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida 63
7.2.2. Caracterização Geral da bacia hidrográfica do rio Vouga 64
7.2.3. Caracterização da comunidade ictiofaunística 66
7.3. Planeamento 69
7.3.1. Planificação Temporal 69
7.3.2. Trecho a Modelar 69
7.3.3. Visitas de Reconhecimento 70
7.3.4. Espécies-Alvo 72
7.3.5. Gama de Caudais a Modelar 74
7.4. Recolha de dados 75
7.4.1. Levantamento topográfico 75
7.4.2. Medição de caudais 76
7.5. Modelação bidimensional utilizando o River2D 77
7.5.1. Leito do Rio 77
7.5.2. Definição da Malha 78
7.5.3. Condições fronteira 78
7.5.4. Calibração do modelo 79
7.5.5. Modelação Hidrodinâmica 82

7.5.6. Simulação de habitat 83
7.6. CONCLUSÕES 86
8 CONCLUSÕES 89
BIBLIOGRAFIA 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1: Impactes nos rios associados à construção de barragens. Fonte: [5]. 5
Fig. 2.2: Tipos definidos para Portugal Continental. Fonte: [19]. 7
Fig. 2.3: Representação gráfica e exemplificativa do método do perímetro molhado [26]. 9
Fig. 3.1: Representação do habitat total na aplicação do IFIM [34, 40]. 14
Fig. 4.1: Esboço em planta da coluna imaginária para definição da equação da conservação da massa. Fonte: [57]. 26
Fig. 4.2: Esboço em planta da coluna imaginária para definição da quantidade de movimento. Fonte: [57]. 27
Fig. 4.3: Exemplo de malha triangular (River2D). 29
Fig. 5.1: Exemplo de ficheiro com critérios de preferência de uma espécie. 35
Fig. 5.2: Exemplo de funcionamento do Trimble R8. 37
Fig. 5.3: Pormenor da antena do Trimble R8. 37
Fig. 5.4: Teste de equipamento na visita de reconhecimento. 37
Fig. 5.5: Medição de caudais com o MF Pro no Rio Vouga 38
Fig. 5.6: Esquema de funcionamento do MF Pro. 38
Fig. 5.7: Preparação do equipamento no Rio Lima 38
Fig. 5.8: Medição de caudais no Rio Vouga 38
Fig. 5.9: Técnica de leitura utilizada pelo RiverRay 38
Fig. 5.10: Exemplo do ficheiro a criar para inserção no software 39
Fig. 5.11: Escala colocada no rio Vouga. 40
Fig. 5.12: Escala colocada no rio Vouga. 40
Fig. 5.13: Escala colocada no rio Lima. 40
Fig. 5.14: Definição da rugosidade no R2D_Bed. ..... **Error! Bookmark not defined.**
Fig. 5.15: Exemplo de ficheiro de índice de canal. 41
Fig. 5.16: Proposta de comandos e valores a utilizar na definição da malha. 42
Fig. 5.17: Pormenor do processo de definição da malha. 42
Fig. 5.18:Definição das condições fronteira. 43
Fig. 6.1: Vista de Jusante da Barragem de Touvedo. 46
Fig. 6.2: Imagem Satélite da zona a modelar imediatamente a jusante de Touvedo. Fonte: Google Maps. 49
Fig. 6.3: Trecho modelado no estudo de caso. 50
Fig. 6.4: Exemplar de Boga do norte capturado no rio Lima. 50
Fig. 6.5: Exemplar de escalo do norte capturado no rio Vade. 50
Fig. 6.6: Localização dos pontos levantados e das medições efetuadas no trabalho de campo. 52
Fig. 6.7: Fotografia do substrato do troço em estudo. 53
Fig. 6.8: Limites exteriores definidos para o estudo de caso de Touvedo. 53
Fig. 6.9: Malha final definida para o caso de estudo 54
Fig. 6.10: Curva de vazão na secção de jusante. 55
Fig. 6.11: Cota superfície livre para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 5,5 m^3/s. 56
Fig. 6.12: Velocidade para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 5,5 m^3/s. 56
Fig. 6.13: Cota superfície livre para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 1,5 m^3/s. 57
Fig. 6.14: Velocidade para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 1,5 m^3/s. 57
Fig. 6.15: Resultados da simulação de habitat para todas as espécies alvo. 59

Fig. 6.16: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Adulto. 59
Fig. 6.17: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Juvenil. 59
Fig. 6.18: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Adulto. 60
Fig. 6.19: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Juvenil. 60
Fig. 6.20: Gráfico "SPU versus Q" para a Panjorca. 60
Fig. 7.1: Enquadramento do empreendimento de Ribeiradio-Ermida [. 64
Fig. 7.2: Áreas classificadas com interesse conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga. 66
Fig. 7.3: Mapa dos locais a visitar. 70
Fig. 7.4: Local onde foi realizado o teste do levantamento topográfico (Local nº1). 71
Fig. 7.5: Teste do equipamento: Trimble R8 (Local nº1). 71
Fig. 7.6: Mapa para a segunda visita de campo. Localização do trecho no Caima a considerar. 72
Fig. 7.7:Exemplar de Escalo do Norte. Fonte: [65]. 73
Fig. 7.8:Exemplar de Truta de Rio. Fonte: [65]. 73
Fig. 7.9:Exemplar de Boga comum. Fonte: [65]. 73
Fig. 7.10: Características observadas no local. 75
Fig. 7.11: Medições efetuadas no troço em estudo 76
Fig. 7.12: Medição do 1ºPerfil de velocidades utilizando o MF Pro. 77
Fig. 7.13: Medição do 2º Perfil de velocidades recorrendo ao *River Ray*. 77
Fig. 7.14: Limites exteriores definidos no R2D_Bed. 77
Fig. 7.15: Malha final definida no R2D_Mesh. 78
Fig 7.16: Curva de vazão estimada para a secção de jusante. 79
Fig 7.17: Curva de vazão estimada para a secção de montante. 79
Fig. 7.18: Sensibilidade do modelo à variação da rugosidade para a cota da superfície livre 80
Fig. 7.19: Sensibilidade do modelo à variação da rugosidade para a velocidade 80
Fig. 7.20: Perfil topobatimétrico na secção de entrada resultante da calibração do modelo 81
Fig.7.21: Perfil de Velocidades na secção de entrada resultante da calibração do modelo 82
Fig. 7.22: Gráfico "Q *versus* SPU" para cada todas as espécies 83
Fig. 7.23: Gráfico "SPU versus Q" para a Truta Adulto 84
Fig. 7.24: Gráfico "SPU versus Q" para a Truta Juvenil 84
Fig. 7.25: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Adulto 84
Fig. 7.26: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Juvenil 84
Fig. 7.27: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Adulto 85
Fig. 7.28: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Juvenil 85
Fig. 7.29: Soma das Curvas SPU de todas as espécies 87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Regimes de caudais recomendados segundo o método de Tennnant ou Montana. Fonte: [22]. 8
Tabela 2.2: Síntese das principais vantagens/desvantagens associadas aos métodos de determinação do RCE. 12
Tabela 3.1: Variáveis importantes para a integridade biológica dos ecossistemas fluviais. Adaptado de [32-34]. 13
Tabela 3.2: Resultados obtidos com aplicação do método RHS [27, 44] 17
Tabela 3.3: Atividades humanas que afetam os ecossistemas fluviais. Adaptado de [45]. 18
Tabela 3.4: Fases e atividades inerentes à aplicação do IFIM. Adaptado de [34]. 24
Tabela 5.1: Caracterização da velocidade. 36
Tabela 5.2: Caracterização da profundidade. 36
Tabela 5.3: Análise prévia de determinação do tempo necessário para o levantamento topográfico 39
Tabela 5.4: Tipos de substrato do canal/margens segundo a classificação RHS 40
Tabela 5.5: Condições iniciais para a 1ª e 2ª iteração da modelação hidrodinâmica. 43
Tabela 6.1: Calendarização das tarefas para o caso de estudo de Touvedo. 48
Tabela 6.2: Critérios de preferência (entre 0 e 1) das espécies-alvo para o caso de estudo do Rio Lima. Baseado em [62]. 51
Tabela 6.3: Gama de caudais modelados no caso de estudo de Touvedo 52
Tabela 6.4: Cota média nas secções fronteira 55
Tabela 6.5: Valores considerados na definição das condições fronteira 55
Tabela 6.6: Resultados finais obtidos na modelação hidrodinâmica. 58
Tabela 7.1: Caracterização da Ictiofauna na bacia hidrográfica do Rio Vouga [65]. 68
Tabela 7.2: Calendarização das atividades para a implementação da metodologia. 69
Tabela 7.3: Exemplificação de escolha de espécies alvo. 73
Tabela 7.4:Critérios de preferência (entre 0 e 1) das espécies-alvo. 74
Tabela 7.5: Regime de Caudais Ecológicos propostos da DIA. 75
Tabela 7.6: Gama de caudais modelados no caso de estudo de Ribeiradio-Ermida 75
Tabela 7.7: Cota média nas secções fronteira 79
Tabela 7.8: Condições fronteira a inserir no River2D 79
Tabela 7.9: Resultados finais obtidos na modelação hidrodinâmica 82
Tabela 7.10: Regime de caudais afluentes à secção da barragem de Ribeiradio 87
Tabela 7.11: Estimativa de Regime de Caudais Ecológicos para o caso de estudo de Ribeiradio-Ermida 87

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

(4.1) 26
(4.2) 26
(4.3) 26
(4.4) 26
(4.5) 27
(4.6) 27
(4.7) 28
(4.8) 28
(4.9) 28

1 INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A crescente utilização e diversificação de usos associada aos recursos hídricos motivou a construção de um número significativo de barragens nas últimas décadas em Portugal, a maioria delas criando albufeiras de regularização. De entre os vários tipos de alterações ecológicas provocadas pelas albufeiras artificias, destaca-se a alteração profunda do regime de caudais a jusante, nomeadamente a redução em frequência e magnitude dos caudais de cheia, a manutenção de caudais estivais superiores aos naturais e, de uma forma geral, a desvirtuação do regime natural de caudais anteriormente existentes[1]. Estas alterações interferem com o equilíbrio do ecossistema, podendo levar à sua extinção. No sentido de minorar estes impactes, procura-se estabelecer a jusante das barragens um regime de caudais ecológicos, capaz de responder positivamente às necessidades das espécies e ecossistemas ribeirinhos.

A complexidade associada à determinação deste regime reside, principalmente, no número elevado de variáveis de decisão. Partindo do pressuposto de que o habitat aquático é a variável mais importante do ecossistema, torna-se imprescindível compreender a relação existente entre o habitat disponível e o caudal. A Metodologia Incremental (IFIM) é a abordagem mais amplamente utilizada para combinar dados de habitat com dados hidráulicos. A implementação desta metodologia passa pela utilização de um modelo que permita simular para diferentes caudais as alturas de escoamento e as velocidades associadas. Estes parâmetros hidráulicos são os que mais influenciam o habitat disponível para as espécies[2].

É neste contexto, e à luz da Diretiva Quadro da Água, que a EDP – Gestão da Produção de Energia, tem vindo a promover estudos com o objetivo de definir os regimes de caudais ecológicos a implementar nos seus aproveitamentos hidroelétricos, os quais incluíram, pela primeira vez, a utilização da metodologia do IFIM no ano de 2000, no rio Lima. Complementarmente, a empresa efetua a monitoração ecológica da eficácia destes regimes, tendo em vista a sua eventual redefinição. Deste modo, pretende contribuir para a preservação e mimetização dos ecossistemas naturais dos cursos de água de Portugal. A presente dissertação surge do interesse de aprofundar o conhecimento sobre ferramentas e métodos de determinação dos regimes de caudais ecológicos de referência, nomeadamente no que diz respeito à utilização de modelos bidimensionais como é o caso do *River2D*.

O trabalho apresentado foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, inserida no Mestrado Integrado em Engenharia Civil com especialização em Hidráulica, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Este estudo foi realizado em ambiente empresarial na empresa Energias de Portugal (EDP) – Gestão da Produção de Energia, S.A, mais concretamente na sua Direção de Engenharia de Barragens, departamento de Hidráulica.

1.2. OBJETIVOS

De acordo com o exposto anteriormente, definiram-se vários objetivos relativamente a esta dissertação.

O objetivo primordial passa por obter uma metodologia que vise todo o processo inerente à modelação hidrodinâmica bidimensional necessária à aplicação do método IFIM, desde a obtenção e tratamento de dados até à interpretação de resultados obtidos. Deste modo, pretende-se identificar as principais limitações e vantagens do programa *River2D*, software de referência utilizado na definição de regimes de caudais ecológicos Tendo em vista este objetivo, definiu-se, à partida, que a melhor forma de o atingir seria através da realização de estudos aplicados a situações concretas reais, que permitissem percorrer todos os passos habitualmente seguidos quando se recorre ao método do IFIM na definição de RCEs.

Assim, em primeiro lugar objetiva-se o aprofundamento dos conhecimentos relativos ao estudo do regime de escoamentos em troços de canais naturais a jusante de aproveitamentos hidroelétricos, nomeadamente a nível das alterações verificadas e consequentes implicações para o habitat piscícola. A tal acresce um enquadramento da temática dos caudais ecológicos detalhando os métodos existentes para a determinação destes.

Seguidamente estrutura-se uma metodologia de trabalho para a modelação de escoamentos no programa *River2D*, com vista a aplicação da Metodologia Incremental. Para tal efetua-se, previamente, uma extensa pesquisa bibliográfica de forma a compreender as vantagens e limitações da Metodologia Incremental, a qual é apresentada no decorrer da dissertação.

Após a construção do modelo de simulação hidrodinâmica bidimensional recorrendo ao *River2D*, este deverá ser validado e otimizado através da aplicação a casos concretos. Neste contexto, deverão realizar-se trabalhos de campo para obtenção dos dados necessários à modelação. Sendo fundamental a descrição de equipamentos e técnicas utilizadas e a sua influência nos resultados finais. Em especial para levantamentos topográficos de leitos de rio e medição de campos de velocidade.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Genericamente esta dissertação divide-se em três fases distintas: a primeira (Capítulos 2, 3 e 4) relativa ao estado da arte e à pesquisa bibliográfica necessária à elaboração deste estudo; a segunda fase (Capítulo 5) passa pela construção da metodologia a validar; e, por fim, uma última fase referente à validação da metodologia através de dois casos de estudo e à apresentação das conclusões daí retiradas (Capítulos 6, 7 e 8). A presente dissertação encontra-se, deste modo, estruturada em oito capítulos.

No Capítulo 2 – Caudais Ecológicos, é descrito o estado da arte para esta temática, referindo a sua origem e o seu enquadramento legal na legislação Portuguesa e Europeia. De seguida são explicitados sumariamente os diferentes grupos de metodologias para determinação do regime de caudais ecológicos, exemplificando para cada uma delas um método de destaque. Por fim, é elaborado um quadro-síntese, tendo por base a bibliografia consultada, com as principais vantagens e desvantagens inerentes à aplicação de cada grupo de metodologias.

O Capítulo 3 – Metodologia Incremental, refere as circunstâncias e os paradigmas que estiveram na base da criação desta metodologia, assim como as etapas e atividades inerentes à sua aplicação, desde a Identificação do Problema até à sua resolução. No final, apresenta-se um quadro que sintetiza o processo descrito.

A Modelação Bidimensional, com destaque para o programa *River2D*, é abordada no Capítulo 4. Numa fase inicial são explicados de forma genérica os princípios físicos e numéricos considerados na

elaboração de programas deste tipo. Estes princípios são relevantes na medida que permitem justificar os valores requeridos pelo modelo, assim como as limitações e confiança esperada nos resultados obtidos. Posteriormente é feita uma breve descrição do *software River2D* e respetivos editores gráficos (*R2D_Mesh* e *R2D_Bed*). Apresenta-se, ainda, a formulação do programa para o modelo hidrodinâmico e de habitat. No final, são mencionados os tipos de ficheiros que o programa requer para cada um destes modelos, e como poderão ser obtidos.

No Capítulo 5 – Metodologia, é proposto um método para a modelação de escoamentos utilizando o River2D. São apresentados os procedimentos a realizar, os comandos necessários e valores a inserir neste programa. Contem também uma descrição dos dados a recolher e o tipo de equipamentos a utilizar nesta tarefa. A proposta é realizada com base em exercícios disponibilizados em conjunto com o *software* e integrada numa perspetiva de aplicação da metodologia IFIM.

O Capítulo 6 – Aplicação da Metodologia ao Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo, consiste na aplicação da metodologia proposta, tendo por objetivo um exercício de determinação parcial da eficácia do regime de caudais atualmente em vigor, aplicado mais concretamente à avaliação da efetiva capacidade do regime em proporcionar um habitat favorável às espécies que utilizam o ascensor de peixes existente e à verificação da possibilidade da sua otimização.

O capítulo 7 diz respeito também a um outro caso de estudo, contudo este refere-se ao Aproveitamento Hidroelétrico de Ribeiradio e Ermida. Centra-se na exemplificação do uso da metodologia proposta para determinação de um Regime de Caudais Ecológicos num caso em que o aproveitamento ainda não se encontra concluído, e por isso o regime a jusante deste ainda não sofreu alterações.

Por fim, o Capítulo 8 engloba as conclusões retiradas deste estudo, identificando os aspetos críticos e apresentando sugestões que têm em vista uma aplicação eficaz e eficiente do método do IFIM associado ao software *River2D*, culminando na elaboração de um fluxograma da metodologia proposta. No final são também apresentadas propostas para trabalhos futuros.

2
CAUDAIS ECOLÓGICOS

2.1. ENQUADRAMENTO GLOBAL

A construção de um aproveitamento hidráulico provoca a modificação do regime hidrológico a jusante deste resultando na alteração da velocidade e da profundidade do escoamento, do regime de transporte sólido e, consequentemente, da morfologia do leito, da temperatura e da qualidade da água [3].

Tendo em conta as referidas alterações ecológicas, na sua maioria lesivas ao funcionamento dos ecossistemas e respetivas espécies, a gestão dos recursos hídricos, mais concretamente a imposição de caudais ecológicos nos cursos de água, tem vindo a ser reconhecida como uma necessidade [4].

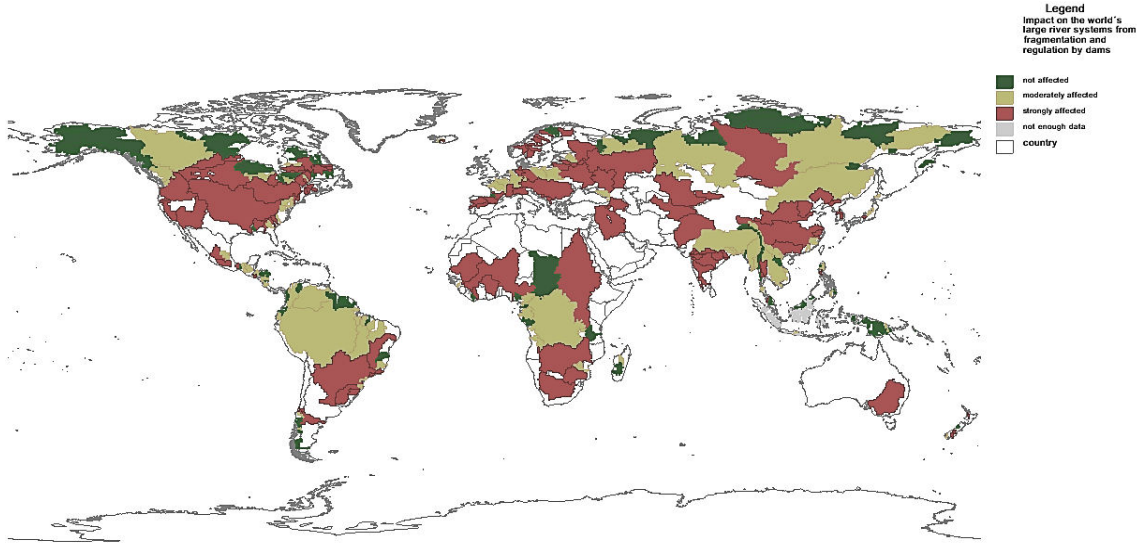


Fig. 2.1: Impactes nos rios associados à construção de barragens. Fonte: [5].

O conceito de gestão de recursos hídricos sofreu alterações ao longo do tempo. Inicialmente, definia-se pela satisfação de usos e necessidades ligados prioritariamente ao abastecimento público, à agricultura, à indústria, em conjunto com a prevenção de cheias e controlo da erosão. Atualmente o conceito evoluiu de acordo com as necessidades hídricas dos ecossistemas fluviais, criando maior dificuldades na compatibilização dos diferentes usos. Procura-se atingir uma gestão integrada de recursos hídricos, sustentável a nível ambiental e capaz de conciliar o aproveitamento dos recursos mencionados com os ecossistemas respetivos, mitigando os impactes negativos das obras fluviais [6]. O estabelecimento de um regime de caudais ecológicos enquadra-se neste propósito.

Entenda-se por caudal ecológico o caudal mínimo capaz de permitir a conservação e a manutenção dos ecossistemas, satisfazendo as necessidades dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, a estética da paisagem, assim como outros aspetos de cariz científico, recreativo e /ou natural [7, 8].

As exigências por parte das espécies que habitam o rio relativas ao habitat diferem ao longo do ano, devido à capacidade adaptativa destas às condições sazonais e consequente variação dos caudais afluentes [9]. Deste modo, qualquer medida inserida no contexto da gestão integrada de recursos hídricos, aplicada ao meio fluvial, não assentará na recomendação de um valor único de caudal, mas sim de uma série temporal de valores de caudal, geralmente mensais, que têm em conta as necessidades de cada espécie, ou grupos de espécies, ao longo dos seus ciclos de vida. Esta série é conhecida por Regime de Caudais Ecológicos (RCE) [10, 11]. Além da adaptação sazonal, procura-se a determinação de um regime que se adapte à classificação do ano hidrológico: seco, médio ou húmido; bem como à eventual ocorrência de condições de gelo [12].

Estima-se que existam mais de duzentos métodos para determinação do regime de caudais ecológicos. A escolha de uma metodologia deverá ser ponderada, tendo presente a unicidade e particularidade de cada caso, não existindo, portanto, uma metodologia que se adapte genericamente[13].

No intuito de contextualizar o método alvo de estudo, no âmbito desta dissertação, descrevem-se seguidamente de forma sumária as metodologias existentes agrupando-as de acordo com a bibliografia [13]:

- Métodos hidrológicos
- Métodos hidráulicos
- Métodos de simulação de habitat
- Métodos holísticos

A EDP – Energias de Portugal como concessionária de barragens de relevo a nível nacional desenvolveu, desde o início do aparecimento desta problemática, estudos que permitem a sua compreensão e respetiva implementação. Vários destes estudos foram realizados em colaboração com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, nomeadamente, no âmbito de dissertações realizadas em ambiente empresarial, as seguintes *Avaliação ambiental de metodologias para definição de caudais ecológicos em Portugal* [14], *Implementação da DQA em aproveitamentos hidroelétricos* [15] e *Análise hidráulica de potenciais soluções para a descarga controlada de caudais ecológicos em aproveitamentos hidroelétricos* [16].

2.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

A manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos encontra-se consignada no quadro legislativo português, no âmbito da administração pública dos recursos hídricos. Estruturalmente a atual legislação desenvolve-se a partir da Diretiva Quadro da Água da União Europeia (Diretiva 2000/06/CE, de 23 de Outubro) que foi transposta para o direito nacional através da Lei nº58/2005 de 29 de Dezembro, mais conhecida como Lei da Água, e do Decreto-Lei n.º77/2006 de 30 de Março [17].

A DQA é uma Diretiva Comunitária, implementada a nível europeu, que promove a gestão integrada de recursos hídricos e atividades adjacentes. Visa, desta forma, a proteção de todas as massas de água através de um conjunto de estratégias de mitigação, reabilitação, monotorização e controle da qualidade da água. Os Estados-Membros são assim convidados a alcançar, pelo menos, um bom estado das águas até 2015 através da formulação e aplicação de medidas que considerem adequadas. De forma a coordenar medidas aplicadas a águas que partilhem o mesmo sistema ecológico, hidrológico e

hidrogeológico a unidade principal de gestão e planeamento é a Região Hidrográfica, zona constituída por uma ou mais bacias hidrográficas e respetivos estuários e ribeiras adjacentes [18].

De forma a sistematizar o processo de implementação da DQA foram definidos critérios determinantes na classificação das massas de água, nos programas de monotorização em termos de amostragem e determinação laboratorial. A avaliação da qualidade ecológica enquadra-se então nesse processo, sendo que esta deve ser realizada para grupos de massas de água com características relativamente homogéneas, principalmente a nível hidrológico e geográfico. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) estabeleceu os tipos de massas de água existentes em Portugal continental, cuja classificação e distribuição é observável na figura seguinte.

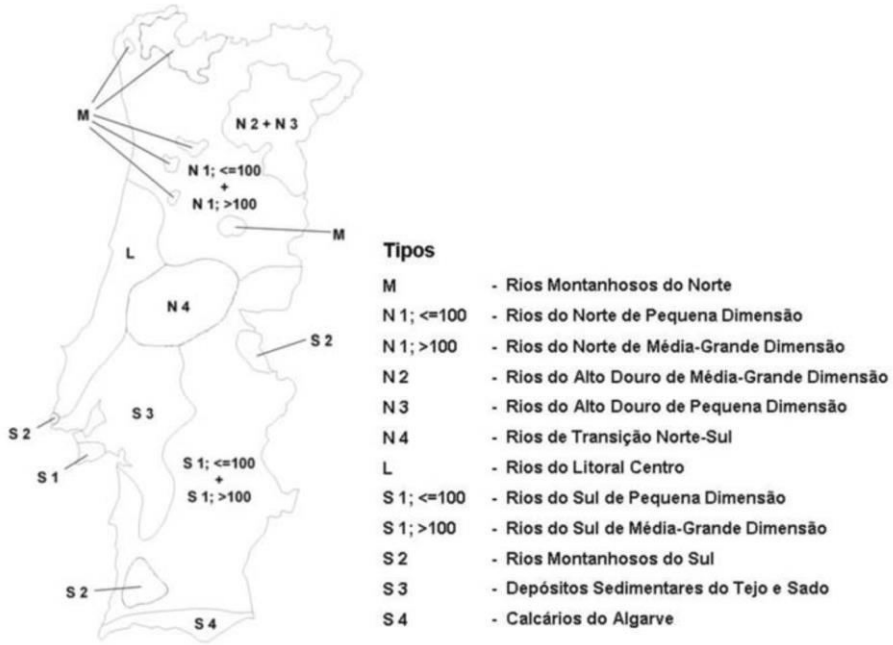


Fig. 2.2: Tipos definidos para Portugal Continental. Fonte: [19].

No seguimento da avaliação ecológica anteriormente mencionada é de destacar que os troços a jusante de aproveitamentos hidráulicos, que são alvo deste estudo, são usualmente classificados como *Massas de Água Fortemente Modificada.* Neste caso, a exigência a nível legislativo poderá ser inferior, procurando essencialmente atingir-se o Bom Potencial Ecológico. De referir que o Potencial Ecológico representa o desvio que um ecossistema demonstra relativamente ao máximo que poderia atingir em termos de qualidade da massa de água, designado por Potencial Ecológico Máximo. Uma das medidas referidas, no âmbito da legislação em vigor, para atingir o Bom Potencial Ecológico nas massas de água em questão é o estabelecimento de regime de caudais ecológicos [18].

Conclui-se portanto que a análise exaustiva de metodologias que permitam a fixação destes caudais, como é o caso da presente dissertação, é de significativa importância para a gestão integrada de recursos a nível Comunitário, contribuindo para a obtenção dos objetivos ambientais propostos pela DQA.

2.3. TIPOS DE METODOLOGIAS PARA DEFINIÇÃO DE RCES

2.3.1. MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Estes métodos baseiam-se nos registos históricos de caudais dos rios e destinam-se unicamente aos locais para os quais foram concebidos, pelo que a sua aplicação se restringe a locais obrigatoriamente idênticos do ponto de vista morfológico [20]. Apesar das limitações, constituem a maior proporção das metodologias aplicadas para determinação dos RCEs, cerca de 30%. Recomenda-se a sua aplicação, essencialmente, na gestão e planeamento de recursos ao nível da bacia hidrográfica, nomeadamente em situações de reconhecimento hidrológico e situações que não envolvam possíveis conflitos [13].

Tendo em conta que não requerem o conhecimento do ecossistema, do ponto de vista ecológico pode-se afirmar que são métodos simplistas, com baixo nível de precisão e, comparativamente, bastante limitados [21]. No entanto podem ser a única opção no caso da informação disponível se restringir a registos hidrológicos.

A título exemplificativo e de forma a compreender a aplicação destes métodos, destaca-se o método de Tennant ou Montana, desenvolvido na América do Norte o qual constitui a metodologia mais conhecida e usada nesta tipologia[13]. O RCE é obtido por meio de percentagens do caudal médio anual, fazendo corresponder diferentes percentagens para o semestre seco e para o semestre húmido, como é possível observar na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Regimes de caudais recomendados segundo o método de Tennnant ou Montana. Fonte: [22].

Caudal	**Regime de caudais recomendado** (% do caudal médio recomendado)	
	Semestre Húmido	Semestre Seco
De descarga ou máximo	200%	
Gama de variação ótima	60 -100%	
Excelente	40%	60%
Muito bom	30%	50%
Bom	20%	40%
Fraco ou degradante	10%	30%
Pobre ou mínimo	10%	
Degradação elevada	0-10%	

A maior desvantagem do método de Tennant é ser aplicável apenas a cursos de água largos, com diminutas variações de caudal ao longo do ano, ou seja, limita-se a cursos de água de morfologia idêntica aos cursos que tiveram por base o desenvolvimento do método. Por outro lado, não considera variações sazonais ou diárias do caudal [3]. Assim, considera-se que o método é de carácter simplista, por não considerar variáveis e elementos relevantes para a preservação do ecossistema, e pouco abrangente e flexível, por apenas permitir a sua aplicação nos cursos de água similares aos que tiveram por base o seu desenvolvimento.

A título de exemplo cita-se, também, o método do Caudal Básico, o método do Caudal Base e o método do INAG, sendo que este último foi desenvolvido no âmbito dos rios de Portugal Continental.

2.3.2. MÉTODOS HIDRÁULICOS

Globalmente representam cerca de 11% do total das metodologias aplicadas, foram desenvolvidos nos anos 60 do século XX, e têm caído em desuso com o aparecimento e avanço tecnológico dos métodos de simulação de habitat [13].

Segundo a bibliografia, estes métodos podem ser vistos como um desenvolvimento dos métodos hidrológicos, na medida que compreendem no seu cálculo, além dos fatores hidrológicos, um fator biológico. Contudo o enfoque principal deste método são as características hidráulicas do curso de água, negligenciando outras variáveis determinantes na avaliação das necessidades das espécies [23]. Revelam-se vantajosos no caso do resultado pretendido consistir numa avaliação rápida e coerente que considere a componente biológica. Também se adaptam a avaliações de caudais para manutenção de áreas de habitat da ictiofauna, sendo aplicáveis a várias espécies, macroinvertebrados e vários tipos de flora. Os resultados obtidos são extremamente influenciados pela escolha e localização da secção de amostragem e pela qualidade das relações entre parâmetros hidráulicos [24]. Adicionalmente, pode-se referir que estes métodos são, de uma forma geral, usados no âmbito de reconhecimento hidráulico e ecológico e podem ser aplicados a qualquer curso de água [24].

Inserido nesta tipologia, o método mais usado é o do Perímetro Molhado que associa, através de uma relação direta, o aumento do perímetro molhado, P, com os caudais respetivos, Q [25]. No sentido de obter esta relação gráfica, selecionam-se um conjunto de seções transversais nas quais são medidas variáveis representativas da velocidade e da profundidade de escoamento. Com estes dados é possível traçar a curva (P-Q), como o exemplificado na Fig. 2.1. É possível identificar um ponto de inflexão, o qual corresponde ao caudal mínimo recomendado para garantir manutenção ecológica da zona em estudo. [23]

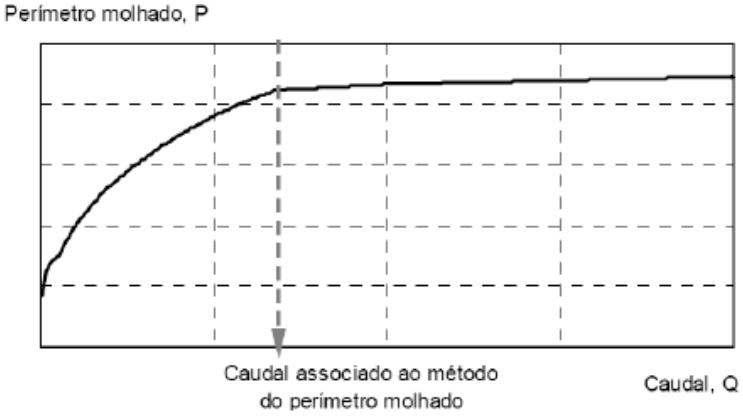


Fig. 2.3: Representação gráfica e exemplificativa do método do perímetro molhado [26].

Posteriormente foi desenvolvida uma metodologia adicional que consiste em fazer variar mensalmente o caudal obtido, de forma que se aproxime com a variação existente em regime natural [26, 27]. O caudal mensal é dado pela expressão 2.1.

$$Q_i = Q_{pm} \times \frac{Q_{mês\ i}}{Q_{mod}} \qquad 2.1$$

Sendo que:

Q_{pm} – Caudal ecológico resultante do método do perímetro molhado;

$Q_{mês\ i}$ – Caudal mensal médio no mês i;

Q_{mod} – Caudal médio diário anual ou módulo.

2.3.3. MÉTODOS DE SIMULAÇÃO DE HABITAT

Estes métodos permitem definir o caudal que otimiza as condições de habitat das espécies em estudo, tendo por base respostas bióticas. Considera-se que esta metodologia garante as condições de preferência de habitat, uma vez que são integrados, no processo de cálculo, critérios relacionados com a aptidão do habitat físico do rio para uma ou mais espécies, tendo em atenção o respetivo ciclo de vida ou uma atividade em particular. A componente biológica selecionada deve ser representativa dos mesohabitats e microhabitats da secção em estudo. Habitualmente a seleção de espécies alvo para desenvolver o estudo tem por base a respetiva relevância comercial ou ambiental [23, 28].

As consequências do incremento do caudal disponível para as espécies são avaliadas pela modelação de habitat, através de dados relativos a uma ou mais variáveis hidráulicas. Nomeadamente: profundidade, velocidade, composição do substrato e, recentemente, stress bentónico [23].

Estes métodos são entendidos como um progresso natural dos Métodos Hidráulicos, sendo que a recomendação dos RCEs assenta em condições hidráulicas, de acordo com exigências biológicas, em vez de parâmetros hidráulicos, possibilitando analisar com rigor a evolução da área de habitat utilizável em função do caudal. O caudal mínimo a adotar corresponde, geralmente, ao valor máximo de um conjunto de caudais mínimos calculados para as diferentes espécies, nos vários cenários considerados [22].

Como desvantagem menciona-se a dificuldade na escolha das espécies alvo, em detrimento de outras, assim como o facto de nenhum RCE permitir a otimização do habitat de uma comunidade completa, mas apenas de espécies ou grupos de espécies isoladas. Apesar de flexíveis na análise de espécies, os métodos não têm ainda em consideração alguns dos componentes dos ecossistemas ribeirinhos, tais como a vegetação marginal (apesar de estarem a ser desenvolvidos métodos específicos para analisar esta componente). Além disso não atendem às mutações geomorfológicas no leito dos rios que se verificam a longo prazo e a sua aplicação é considerada onerosa por alguns peritos [23].

No entanto, as metodologias de simulação de habitat são extremamente vantajosas na medida que têm em consideração aspetos biológicos, hidráulicos e hidrológicos, considerando-se amplas e flexíveis na análise exaustiva que permitem [23]. Estes métodos são apoiados em modelos hidrodinâmicos cuja evolução e constante melhoria muito têm contribuído para o desenvolvimento das metodologias.

A presente dissertação será desenvolvida aplicando a Metodologia Incremental (IFIM), o método mais utilizado e conhecido baseado na simulação de habitat, pelo que será convenientemente detalhada e aprofundada no seguimento do trabalho[23].

A título de exemplo indicam-se outros métodos inseridos nesta mesma tipologia, como é o caso do método de Washington, método da Califórnia e método de Oregon desenvolvidos nos Estados Unidos da América.

2.3.4. MÉTODOS HOLÍSTICOS

Embora representem apenas cerca de 7,7% das metodologias globalmente usadas, são entendidos como uma das maiores evoluções no âmbito da determinação dos RCEs [13].

Fundamentam-se em situações de clima e hidrologia variável, geomorfologia heterogénea e nas dependências entre a biota e os regimes de caudais [22]. Apresenta vantagens, comparativamente a outros métodos já referenciados, na medida que permitem, potencialmente, abranger todas as componentes incluídas num ecossistema ribeirinho, nomeadamente: geomorfologia, habitat hidráulico, qualidade da água, vegetação aquática e ripária, macroinvertebrados, espécies piscícolas e quaisquer outros vertebrados dependentes do regime de caudais do rio. Acrescenta-se que revelam grande ligação com o regime hidrológico natural, procurando manter as suas principais características, tais como a variação diária e sazonal, o que constitui também uma vantagem. Segundo a bibliografia podem ser caracterizados como robustos, flexíveis e transparentes. [27]

Refira-se, entretanto, que a exigência de peritos de diversas áreas revela-se desvantajosa na medida em que encarece o custo de aplicação do método e implica uma margem de subjetividade ligada às decisões tomadas [22].

Entre outros exemplos, cita-se o Método de Avaliação por Painel de Especialistas, *Expert Panel Assessment Method,* desenvolvido na Austrália, pelo *New South Wales Fisheries*. Aplica-se a cursos de água regularizados. Para definição de caudais ecológicos analisa-se a ictiofauna, vegetação ripária e geomorfologia fluvial de modo a garantir a funcionalidade dos ecossistemas [26]. Neste método, o estado do ecossistema é avaliado por especialistas que analisam especificamente o local em estudo. Procura-se abordar a saúde do ecossistema, tendo os peixes como indicadores, ao invés de avaliar múltiplas componentes do ecossistema. Depende estritamente da opinião pericial pelo que uma das limitações advém do conteúdo disciplinar que o painel consegue abranger. Esta metodologia não apresenta diretrizes específicas de aplicação, existindo, por isso, pouca congruência na opinião de diferentes membros do painel (p.e. relativamente à pontuação atribuída a cada componente no processo de decisão), requerendo ainda que seja efetuada uma validação adicional da solução final.

O Método de Avaliação por Painel de Especialistas conduziu ao desenvolvimento de métodos holísticos mais avançados, sem que estes deixassem de apresentar similaridade com o apresentado, como é o caso do *Snowy Inquiry Methodology* e outras aproximações ao painel de especialistas [29].

2.3.5. SÍNTESE DAS METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DO RCES

Tendo por base as características anteriormente apontadas, apresenta-se a tabela 2.2 com a síntese das principais vantagens e desvantagens associadas a cada grupo de métodos.

Tabela 2.2: Síntese das principais vantagens/desvantagens associadas aos métodos de determinação do RCE.

Métodos	**Vantagens**	**Desvantagens**
Hidrológicos	• Rapidez e facilidade de aplicação • Custos baixos • Apenas requerem dados hidrológicos	• Simplistas • Ecologicamente limitados • Pouca flexibilidade e abrangência
Hidráulicos	• Rapidez de aplicação • Coerência de resultados • Relativamente flexíveis em termos de fauna piscícola	• A seção de amostragem influencia bastante o resultado obtido • Não são aplicáveis a componentes exteriores ao canal
Simulação de Habitat	• Asseguram a preferência de habitat • Fiáveis e coerentes • Permitem gerir múltiplos interesses • Flexíveis em termos de fauna piscícola • Objetivos ecológicos são garantidos	• O RCE é otimizado para uma espécie e não para uma comunidade de várias espécies • Não consideram todas as componentes inerentes ao ecossistema • Aplicação onerosa
Holísticos	• Robustos e flexíveis • Potencialmente consideram todas as componentes inerentes ao ecossistema	• Dispendiosos • Alguma subjetividade associada ao procedimento • Requerem bastantes peritos • Dificuldade em obter uma solução consensual

3
METODOLOGIA INCREMENTAL

3.1. ENQUADRAMENTO

O *Instream Flow Incremental Methodology* – IFIM – é uma técnica da autoria do *Cooperative Instream Flow Service Group* do *United States Fish and Wildlife* (USFWS) desenvolvida no final dos anos 70 do século XX. O aparecimento desta metodologia surge da necessidade do governo Norte-americano em avaliar os impactes de pequenas centrais hidroelétricas na manutenção das atividades piscatórias, numa altura em que centenas de projetos requeriam a renovação das suas licenças.

Os impactes induzidos pela ação humana nos sistemas fluviais podem ser agrupados em cinco categorias: regime de caudais; estrutura do habitat; qualidade da água; fonte de alimento e interações bióticas [30, 31]. A tabela 3.1 retrata estas categorias indicando os fatores considerados na identificação de potenciais impactes ambientais. Foi neste contexto que a metodologia incremental se baseou, tendo sido desenvolvida de forma a seguir este paradigma [32].

Tabela 3.1: Variáveis importantes para a integridade biológica dos ecossistemas fluviais. Adaptado de [32-34]

Regime de caudais	Estrutura do habitat	Qualidade da água	Fonte de alimento	Interações bióticas
Caudal descarregado	Geometria do canal	Nutrientes	Produção de algas	Espécies exóticas
Altura do escoamento	Material do Substrato	Temperatura	Partículas de matéria orgânica	Espécies endémicas
Velocidade do escoamento	Diversidade do mesohabitat (*pools*, *runs*, *chutes*, *backwaters*, *riffles*, *Woody materials*)	Turvação	Insetos terrestres	Candidato para espécies ameaçadas e em vias de extinção
Magnitude e frequência de cheias	Assoreamento	Salinidade	Invertebrados aquáticos	Hibridização
Magnitude e frequência de secas	Estabilidade das margens	pH	Entrada de energia	Estrutura da população
Variação do caudal	Vegetação ripária	Toxinas		Competição
Transporte de sedimentos		Oxigénio dissolvido		Riqueza de espécies
				Estrutura trófica

O IFIM procurava integrar na sua origem os conceitos de planeamento de abastecimento de água, os modelos analíticos de engenharia hidráulica e de qualidade da água e, empiricamente, originou funções que traduzem a relação existente entre o habitat e a vazão [34]

Tendo em conta os princípios ecológicos nos quais se baseou, tem sido considerada, por especialistas ambientais, a metodologia mais científica e fundamentada para definição de caudais ecológicos[13, 35, 36].

A aplicação do método é usualmente direcionada para as necessidades de caudal ecológico (*Ecological Flow Requirements* – EFR), espécies-alvo piscícolas e, numa escala menor, espécies invertebradas [34, 36, 37]. No entanto, o IFIM tem sido adaptado para uma variedade de outras componentes do sistemas e situações associadas, como é o caso da determinação dos caudais que permitam a manutenção do ecossistema ao nível do substrato, ou seja, do transporte de sedimentos [38].

3.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Remetendo à relação intrínseca entre as características hidráulicas, estruturais e morfológicas do curso de água e a respetiva distribuição dos elementos biológicos, esta metodologia assume que as variáveis descritas constituem elementos influenciadores e condicionadores da distribuição mencionada [27, 39]. De facto, cada organismo apresenta tendência a selecionar, num curso de água, o local que se mostre mais adequado à sua sobrevivência. Consequentemente, é possível caracterizar um habitat de acordo com critérios de preferência de cada espécie, fazendo corresponder a cada variável ambiental um grau de preferência [36].

A variável de decisão obtida através da metodologia IFIM é a área de habitat disponível ponderada para as espécies (ou para uma espécie isolada) [22]. Para tal recorre-se, atualmente, à simulação computacional a partir da qual é possível modelar os caudais, de forma a antever as alterações consequentes da variabilidade destes no curso de água.

3.2.1. UNIDADES DE HABITAT DO IFIM

Os dados preferenciais na aplicação da metodologia surgem sobre a forma de duas unidades: microhabitat e macrohabitat. O primeiro é classificado através das variáveis que diferem localmente como a velocidade, profundidade, substrato e cobertura. Por outro lado o macrohabitat diz respeito às variáveis que se modificam ao longo do rio, longitudinalmente, como a qualidade da água, morfologia do canal, caudal e temperatura. A combinação destes elementos resulta no habitat total [34].

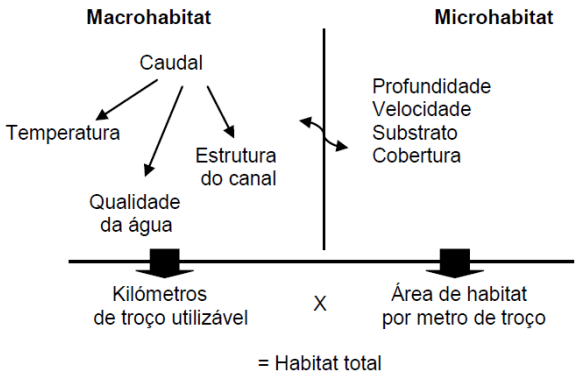


Fig. 3.1: Representação do habitat total na aplicação do IFIM [34, 40].

O macrohabitat corresponde à área de estudo na metodologia IFIM e divide-se em 3 níveis: bacia hidrográfica, sub-bacia e segmento do curso de água. A avaliação ao nível do macrohabitat ocorre quando se pretende analisar a qualidade da água ou manter a morfologia existente [32].

O segmento corresponde a uma porção de rio caracterizada por um regime de caudais homogéneos, cujo valor de entrada é aproximadamente igual ao de saída, não apresentando linhas de água afluentes significativas e uma geomorfologia, geralmente, consistente dentro dos limites do segmento [32].

Os troços representativos do macrohabitat, preferencialmente, deverão incluir a totalidade de mesohabitats contidos no segmento [41]. Segundo a bibliografia é possível classificar os mesohabitats existentes nas seguintes categorias [42].

- *Riffle* – zonas cuja profundidade é baixa e a velocidade moderada. Apresentam alguma turbulência à superfície e um gradiente elevado, sendo a forma do leito apresenta-se convexa;
- Rápido – o gradiente e a velocidade de corrente são mais elevados. O substrato é grosseiro e a turbulência à superfície elevada. A forma do leito é convexa;
- Cascata – corresponde a rápidos muito inclinados com pequenas piscinas, atrás de blocos de pedra e pequenas quedas de água;
- Pool – zonas de água profunda represadas por um bloqueamento do canal ou por uma parcial obstrução ao canal. Baixa velocidade de escoamento. A forma do leito é côncava;
- *Run* – cursos de água monótonos com talvegue bem definido. Longitudinalmente o leito é plano e lateralmente côncavo;
- Água parada – corresponde a poças de água situadas ao longo das margens do canal, causadas por remoinhos atrás de obstruções;
- Braço lateral – canais à volta de ilhas, mais pequenos que metade da largura do canal, frequentemente apresentam uma elevação diferente da existente no canal principal.

Por fim, é de mencionar que a variação do caudal pode causar alteração do tipo de mesohabitat. Por exemplo o aumento de caudal pode provocar a passagem de *riffle* a *pool*.

O microhabitat tem uma dimensão menor que largura total do canal e representa uma área homogénea em relação à profundidade, velocidade, substrato e cobertura. É ocupado por uma espécie-alvo, ou conjunto, durante um estágio de vida particular em determinada fase do seu ciclo de vida. A análise à escala do microhabitat é efetuada para avaliar as alterações na disponibilidade de habitat [32].

3.2.2. ETAPAS NA APLICAÇÃO DO IFIM

Sintetizando, a determinação do caudal ecológico pelo IFIM envolve, geralmente, as seguintes etapas [34]:

1. Identificação do problema
   1.1. Análise Institucional
   1.2. Análise Física
2. Planeamento do estudo
   2.1. Definição de uma estratégia
   2.2. Pesquisa técnica

3. Implementação do estudo
    3.1. Recolha de dados
    3.2. Calibração do modelo
    3.3. Simulação
    3.4. Modelos de habitat
    3.5. Interpretação
4. Análise de alternativas
5. Resolução do problema
6. Verificação e validação

As etapas e tarefas mais relevantes para a aplicação da metodologia serão descritas nos capítulos que se seguem.

3.3. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Esta etapa engloba duas componentes. Na análise institucional, procura-se identificar todas as partes interessadas ou afetadas no projeto, as suas preocupações, a informação que é necessária recolher e como será tomada a decisão final (p.e. se será uma decisão de uma entidade individual ou de um conjunto de entidades). Pretende-se atingir um entendimento geral do propósito do projeto, os impactes previstos e os objetivos de cada interveniente [34].

Na análise física, procura-se determinar a localização e a extensão geográfica das mudanças físicas e químicas do sistema, o respetivo grau de alteração, assim como a identificação dos recursos aquáticos de maior preocupação, sendo efetuada uma caracterização ambiental preliminar [34].

3.3.1. CARACTERIZAÇÃO ECOLÓGICA DOS TROÇOS

Segundo a DQA, o processo de identificação e designação de massas de água fortemente modificadas deve seguir um conjunto de etapas previamente definido. Este processo poderá ser retomado em cada ciclo de 6 anos, conforme previsto na diretiva. Assim sendo a designação poderá ser alterada e as correspondentes ações de mitigação revistas.

Nas regiões hidrográficas de Portugal Continental, para identificação de uma massa de água fortemente modificada consideram-se 3 aspetos: a existência de alterações morfológicas significativas derivadas de alterações físicas; a avaliação se as alterações hidromorfológica constituem uma limitação na meta do bom potencial ecológico; e, ainda, a existência de alteração substancial do carácter da massa de água, devido a alterações físicas derivadas da atividade humana.

Entende-se por trecho fortemente modificado aquele que, em resultado de alterações físicas derivadas da atividade humana, adquire um caráter substancialmente diferente [18]. A identificação destes troços, assim como o conhecimento das suas características naturais, são fundamentais para aplicação de metodologias que envolvam a sua recuperação e reabilitação.

Como já foi mencionado, no capítulo anterior, a avaliação do estado ecológico é contemplada na Diretiva-Quadro da Água – DQA, e deve ser efetuada de acordo com o tipo de massa de água [18].

A identificação e caracterização ecológica dos troços correspondem a uma etapa inicial. Na avaliação do estado ecológico de um sistema fluvial, a componente com mais relevância é a hidromorfológica, por ser crucial para as comunidades biológicas. A sua análise engloba o canal, as margens do corredor fluvial e o leito de cheia, abrangendo todas as componentes longitudinais e transversais do curso de água [43].

Cita-se a título de exemplo, o *River Habitat Survey* (RHS), o método mais aplicado a nível europeu. O RHS é um método expedito que permite a avaliação da qualidade hidromorfológica do habitat fluvial, sendo que este se encontra de acordo com os princípios preconizados na DQA [27]

Em termos sintéticos pretende-se referir que o RHS engloba quatro componentes fulcrais: uma metodologia standardizada para amostragem em campo; uma base de dados e *software* para processamento de dados obtidos; um conjunto de metodologias para avaliar a qualidade de habitat, e uma metodologia para descrever a extensão das modificações antrópicas do canal [44].

Após a introdução da informação na base de dados, gera-se um conjunto de *outputs* que caracterizam a qualidade hidromorfológica: o *Habitat Quality Asssessment* (HQA) e o *Habitat Modification Score* (HMS). O valor do HQA, índice de avaliação da qualidade do habitat fluvial, que abrange componentes como o substrato, o tipo de corrente, a vegetação, entre outros, apenas deverá ser comparado em troços que se encontrem inseridos na mesma tipologia, de acordo com a definição efetuada pelo ex-INAG (Fig. 2.2). Por outro lado, o HMS avalia o grau de artificialização da estrutura física, estimando e quantificando o impacte de estruturas e outras intervenções nos habitats fluviais, dentro do troço de amostragem. As pontuações obtidas correspondem a cinco classes de degradação (*Habitat Modification Index, HMI*) [27].

Tabela 3.2: Resultados obtidos com aplicação do método RHS [27, 44]

Classes HMI	Intervalos HMS	Categoria descritiva do troço
Classe 1	0	Sem alteração
	0 – 2	Seminatural
Classe 2	3 – 8	Predominantemente não modificado
Classe 3	9 – 20	Obviamente modificado
Classe 4	21 – 44	Significativamente modificado
Classe 5	≥ 45	Severamente/Fortemente modificado

A definição da estratégia para aplicação do IFIM requer conhecimento da tipologia e consequente caracterização em vigor na zona em estudo, permitindo aos intervenientes uma perceção quantitativa dos troços mais afetados e o nível de modificação [26].

3.3.2. LIMITAÇÕES À EFICÁCIA DO RCE

A implementação de um regime de caudais ecológicos tem como objetivo primordial a conservação e manutenção do ecossistema fluvial em que se insere. No entanto, outros fatores poderão condicionar este objetivo.

O ecossistema fluvial pode ser afetado por um leque de atividades que comprometem a seu equilíbrio. A título de exemplo, citam-se as atividades na zona ripícola e na planície de inundação: a extração de areias para alimentação artificial de praias, as atividades que implicam uma alteração do uso do solo, ou

ainda atividades de cariz industrial que resultem na descarga de tóxicos para o rio ou para a atmosfera. [45]

Na tabela 3.3. sintetizam-se as potenciais causas que estarão na base da alteração do ecossistema, apesar da implementação de um regime de caudais ecológicos adequado.

Tabela 3.3: Atividades humanas que afetam os ecossistemas fluviais. Adaptado de [45].

	Causas	**Potenciais Efeitos**
Alteração do habitat	Dragagens e canalização do escoamento	Diminuição da complexidade do habitat e substrato
	Alteração do uso do solo: • Desflorestação e reflorestação • Agricultura • Urbanização • Construção de estradas	Alteração da entrada de energia; alteração do transporte sólido (devido ao aumento ou diminuição da erosão); possíveis contaminações.
Espécies Invasoras	Aquacultura; Pesca desportiva e comercial; Plantas ornamentais.	Modificação do habitat por espécies invasoras; diminuição da população natural do ecossistema; homogeneização biótica.
Contaminantes	Adubos resultantes da agricultura; Resíduos urbanos; Contaminação atmosférica e precipitação ácida; Exploração mineira; Gases industriais; Toxinas orgânicas.	Alteração da cadeia alimentar; alteração da composição do habitat; efeitos fisiológicos e tóxicos para as espécies
Alterações climáticas	Alteração da temperatura Alteração da precipitação	Efeitos dependem da tolerância fisiológica das espécies.

Note-se que a identificação de fontes de poluição e do uso de solo é, também, significativa para a determinação do potencial ecológico, pelo que deverão ser avaliadas, numa fase inicial de identificação do problema, quaisquer causas que comprometam o ecossistema, permitindo aos intervenientes prever a potencial eficácia derivada da implementação do RCE.

3.4. PLANEAMENTO DO ESTUDO

Na segunda fase do IFIM, o foco principal é a identificação das informações necessárias que permitam atender as preocupações dos intervenientes, sendo efetuado um levantamento das informações existentes e do que será necessário obter. Esta fase resulta na elaboração de um documento que define como será implementado o estudo, ou seja, quem fará o quê, quando, onde, como e com que custo.

O plano deverá ser exequível, tendo em conta o prazo, os recursos humanos e financeiros disponíveis. A equipa de planeamento deverá focar-se na recolha de dados e nas metodologias a ser aplicadas. A recolha poderá incluir temperatura, pH, oxigénio dissolvido, parâmetros biológicos e medidas hidrológicas e hidráulicas, tais como vazão, altura de escoamento, velocidade, substrato e cobertura. Estas variáveis procuram descrever a relação existente entre o caudal e a quantidade e qualidade de

habitat disponível. A coleta de dados relativos às medidas hidráulicas deverá ser efetuada em pontos representativos, previamente escolhidos e definidos nesta fase de trabalhos [34].

A informação hidrológica relativa aos caudais afluentes em condições naturais, usualmente escolhida como referência ou condição base e obtida na fase de identificação do problema, deverá ser detalhadamente analisada nesta fase do projeto. Esta informação poderá também englobar atuais usos da água e procedimentos operacionais. Poderão, ainda, ser incluídos usos relativos a procedimentos operacionais futuros que ainda não estejam em funcionamento, mas tenham sido formalmente aprovados. A condição base aqui mencionada adquire especial importância nas fases finais de análise e discussão de alternativas, devendo sempre ser entendida como uma referência para o RCE a implementar [34].

Relativamente à recolha de parâmetros biológicos, a entidade responsável pelas espécies piscícolas deverá fornecer informações relativas às condições de referência das espécies, identificando a distribuição temporal e geográfica das atividades comuns nas espécies piscícolas, assim como as alturas críticas do ano relativas à avaliação das diferentes fases de vida das populações [34].

No caso de já se terem efetuado anteriormente estudos referentes à ictiofauna do local, estes deverão ser analisados de modo a verificar-se a usabilidade e transferibilidade destes. Caso a zona ainda não tenha sido alvo de qualquer estudo do fórum biológico, deverá procurar-se a obtenção de informações relevantes para a identificação de zonas e alturas do ano em que é mais apropriado proceder à recolha de dados. A escolha de pontos representativos deverá ter em conta uma variedade de meso e microhabitats, assim como a acessibilidade e exequibilidade das tarefas de amostragem. É também nesta fase que se determinam quais as espécies-alvo do estudo [34].

3.4.1. ESPÉCIES-ALVO

A seleção de uma ou mais espécies-alvo é uma fase obrigatória na aplicação do IFIM, extremamente condicionante nos resultados obtidos [32].

A solução mais indicada passa pela escolha de um conjunto de espécies representativas de um leque de mesohabitat e microhabitats. No entanto esta solução não é consensual nem perfeita, residindo o maior problema na oposição de preferências. Favorecer as condições para uma espécie pode se refletir prejudicialmente noutra espécie [32].

Na tentativa de resolução deste dilema, alguns investigadores recomendam que se agrupem as espécies de acordo com o uso de habitat similar – guildas. É importante ter em vista que qualquer escolha de espécies alvo terá implicações no microhabitat a estudar. O aumento do número de espécies alvo ou guildas a considerar implica um acréscimo no tempo definido para o estudo e no nível de dificuldade de seleção do RCE, uma vez que as alternativas serão em maior número e mais díspares [32].

A seleção de troços para amostragem, no caso de ser necessária, deve seguir um protocolo que visa a preferência por locais pouco perturbados ou minimamente perturbados, de forma a refletir o habitat ótimo para as espécies, e que apresentem boa acessibilidade ao troço e facilidade de progressão dentro do mesmo, facilitando os processos de amostragem [32].

3.4.2. SÍNTESE DO PLANO DE ESTUDO A ELABORAR

Em suma, o plano de estudo deverá conter obrigatoriamente os seguintes componentes[32].

a) Uma descrição clara da proposta de ação e caracterização das partes interessadas e respetivas preocupações;

b) Identificação das espécies-alvo e/ou recursos naturais valiosos;

c) Seleção e racionalização de uma metodologia que atenda às preocupações e problemas das partes interessadas;

d) Os objetivos do estudo descritos sucintamente;

e) A área do estudo e respetivas delimitações;

f) Detalhes relativos à cobertura geográfica, coleta de dados, calibração e controlo de qualidade dos modelos a utilizar;

g) Atribuição de responsabilidades e autoridades;

h) Calendarização de atividades, marcos e prazos;

i) Conciliação das necessidades de recursos com a disponibilidade destes.

3.5. IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO

A fase de implementação é considerada a mais interessante e cientificamente desafiadora [32]. Consiste em atividades sequencialmente executadas, de acordo com o plano elaborado na fase anterior. Inclui a recolha de dados, tratamento de dados, simulação e análise de resultados.

3.5.1. CRITÉRIOS DE APTIDÃO DE HABITAT

Face à importância da comunidade piscícola, na aplicação da Metodologia IFIM torna-se imperativo caracterizar a ictiofauna da bacia hidrográfica em estudo, mais concretamente definir as relações de adequabilidade de habitat. Tendo em conta este objetivo, é relevante a obtenção de informações relativas às espécies existentes, o respetivo ciclo de vida e distribuição geográfica, classificando-as em grupos ecológicos. Para as espécies nativas deverá ser referido também o seu grau de conservação [27, 46]. Em algumas situações é usual extrapolar a informação de uma bacia vizinha. Estas informações permitirão não só caracterizar a ictiofauna potencial mas também os fatores que estruturam as comunidades [27].

Os critérios de aptidão de habitat – *Habitat suitability criteria* (HSC) – são usados na metodologia incremental, permitindo transformar as características estruturais e hidráulicas em índices de qualidade de habitat que depois são usados como componentes biológicos em modelos de simulação.

O uso e preferência de habitat pode ser afetado, em primeiro plano, pela sua disponibilidade e seguidamente por outros fatores como a competição entre espécies, a predação, a temperatura da água, hora do dia, entre outros. Apesar de alguns autores advertirem contra a generalização dos critérios de habitat e a sua transferibilidade, nem sempre é viável, logística e economicamente, desenvolver estudos específicos para a preferência de cada espécie [47]. Por conseguinte, é uma prática comum aplicar critérios de aptidão de habitat para troços diferentes daqueles para quais foram desenvolvidos [48]. Com este fim, foram desenvolvidos testes que verificam a transferibilidade de habitat [49-51].

As curvas de aptidão de habitat dependem da informação obtida, da forma como é utilizada e de como são tratados os dados. Existem três tipos de curvas de aptidão: as curvas desenvolvidas com base em conhecimento empírico; as funções de uso e as funções de preferência [32].

As primeiras curvas foram desenvolvidas segundo um método mais simplista, com base na literatura, opinião de especialistas ou através de negociação [32]. Neste tipo de curvas o rigor científico pode ficar aquém do desejado.

As funções de uso de habitat consideram-se, comparativamente com as anteriores, como curvas desenvolvidas de forma mais complexa. Baseiam-se na análise da frequência de utilização do microhabitat ocupado pelas espécies e respetivas características. Têm como desvantagem a não descrição rigorosa das preferências, uma vez que o habitat ótimo pode nem sempre estar disponível ou ter uma representação diminuída[32].

Por fim, as funções de preferência de habitat foram desenvolvidas tendo por base o pressuposto de que, se um organismo se encontra numa elevada proporção, num dado microhabitat, é porque selecionou ativamente este local, demonstrando a sua preferência. Consideram-se vantajosas na complexidade e rigor de soluções. A maior desvantagem reside na necessidade de requererem significativamente mais informação de campo. Estas funções permitem a aplicação a cursos de água diferentes por demonstrarem mais independência do meio que as funções de uso[52].

Após a identificação das espécies-alvo apropriadas e, consequentemente, dos microhabitats associados que revelem maior importância biológica, é necessário definir quais os constituintes do habitat que são preferenciais para as espécies. Muitos dos organismos ribeirinhos, especialmente os peixes, escolhem diferentes microhabitats, consoante a fase de desenvolvimento em que se encontram. As mudanças ocorrem especialmente em função da idade (alevim, juvenil ou adulto), atividade (alimentação, repouso ou desova), estação do ano (verão ou inverno) e luz disponível (dia ou noite), entre outros aspetos. Assim, torna-se necessário representar a preferência tendo em conta a espécie e os parâmetros supracitados[32, 53].

As variáveis de microhabitat, que permitem a elaboração das curvas, são obtidas em cada ponto de avistamento de um exemplar/cardume, medindo-se a velocidade, profundidade e substrato no local de captura, sendo estas as variáveis mais condicionantes [27, 54]. Em casos mais específicos também se inclui a medição da temperatura, pH, oxigénio dissolvido e outros parâmetros que se considerem relevantes para uma caracterização mais completa do meio preferencial das espécies [32].

A preferência, estratificada de acordo com as classes mencionadas em relação ao habitat, é definida pela seguinte fórmula: $(uso\ proporcial)/(disponibilidade\ proporcional)$. Os valores de preferência são depois divididos pelo valor de maior preferência, de modo que o índice final de preferência varie entre 0 (habitat não adaptado) e 1 (habitat ótimo) [55].

3.5.2. MODELOS HIDRODINÂMICOS E DE HABITAT

Após a recolha de dados exigidos pelo modelo, procede-se à modelação computacional do microhabitat. O objetivo passa por desenvolver relações funcionais entre diferentes caudais e microhabitats para vários recursos aquáticos [41]. Os modelos permitem, por isso, avaliar a adequação do habitat com base em variáveis físicas quantificáveis, tais como a profundidade, a velocidade e o substrato.

Os modelos dividem-se entre unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D). Apesar de ambos permitirem o cálculo do habitat disponível em função do caudal, os modelos 2D apresentam um maior rigor e capacidade de simulação [56].

Originalmente, aquando do estabelecimento da metodologia incremental, desenvolveu-se um modelo específico capaz de calcular a quantidade de microhabitat disponível para diferentes fases da vida, de cada espécie, tendo em conta o nível de escoamento. Este modelo é conhecido por PHABSIM – Physical Habitat Simulation [34].

O PHABSIM foca-se na representação unidimensional do canal, no qual a velocidade e profundidade média são obtidas em função do caudal. É acoplado de um modelo de adequação de habitat. Este modelo tem como pressuposto o argumento de que, se um habitat físico constitui um fator limitante, então a qualidade e quantidade de habitat disponível (traduzido no valor de SPU – Superfície Ponderada Útil), está diretamente relacionada com os níveis de população existente [34].

Posteriormente, surgiram abordagens bidimensionais (2D), que são amplamente recomendadas, devido ao avanço científico que permitem na modelação de escoamentos. Estes modelos são capazes de quantificar de forma rigorosa as variações espaciais e as combinações de regimes de caudais.

Atualmente conhece-se um conjunto alargado de *softwares* desenvolvidos no âmbito da modelação hidrodinâmica e de habitat, nomeadamente, Riverine Habitat Simulation – RHABSIM (EUA); Rhyahabsim (Nova Zelândia); Evaluation de l'habitat physique des poisons en riviére – EVHA (França), River System Simulator – RSS (Noruega); Computer Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements – Casimir (Alemanha); e, por fim, River2D (Canadá) que será a ferramenta utilizada para modelação de escoamento na presente dissertação. [9, 40]

3.6. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS

Esta fase procurar estabelecer uma comparação das alternativas de RCEs propostas pelas partes interessadas com a condição de referência. O propósito é avaliar os impactos inerentes às alternativas obtidas, iniciar um processo de negociação e criar, se necessário, novas alternativas mais compatíveis com os múltiplos interesses dos intervenientes [32].

A análise de alternativas deve abranger a efetividade, a viabilidade física, os custos e riscos associados. A efetividade remete para a sustentabilidade das alternativas e para a relação custo/benefício em termos de manutenção e conservação do ecossistema; a viabilidade física avalia a disponibilidade de água capaz de satisfazer todos os usos, a médio/longo prazo; os riscos compreendem a possibilidade dos sistemas biológicos entrarem em colapso, a frequência com que tal possa ocorrer e a possível reversibilidade dos efeitos; por fim, o aspeto económico avalia os custos e benefícios inerentes a cada alternativa [34].

3.7. RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Na última fase da metodologia IFIM, os participantes devem integrar os conhecimentos relativos aos recursos biológicos e necessidades sociais, de forma a chegarem a uma solução consensual relativamente ao regime de caudais ecológicos a adotar [34].

Segundo a bibliografia, uma solução ótima não pode ser identificada com precisão cientifica uma vez que [34]:

a) Os valores biológicos e económicos não são inteiramente mensuráveis;

b) As informações coletadas e modelos de simulação contêm uma margem de erro;

c) As conclusões são subjetivas, dependendo da interpretação dos intervenientes;

d) Existe sempre um grau de incerteza, associado ao futuro.

O diálogo e compromisso estabelecidos nesta ultima fase correspondem à peça base da metodologia incremental, o que a distingue mais efetivamente dos modelos hidrológicos e hidráulicos.

3.8. SÍNTESE DA METODOLOGIA

Na tabela seguinte sintetizam-se as principais atividades a concretizar tendo em vista a aplicação do IFIM.

Tabela 3.4: Fases e atividades inerentes à aplicação do IFIM. Adaptado de [34].

1.	Identificação do problema	Análise Institucional	Identificar as entidades envolvidas, respetivas preocupações e necessidades de informação. Definir como se desenvolverá o processo de decisão.
		Análise Física	Determinar: • Extensão e localização geográfica dos troços modificados • Recursos aquáticos de maior preocupação
2.	Planeamento do estudo	Estratégia	Definir: • Escala temporal e espacial das avaliações • Variáveis importantes para as informações desejadas (p.e. velocidade) Planear a recolha de dados e respetiva análise
		Âmbito técnico	Descrever: • Séries hidrológicas ao longo do tempo e registos de condições biológicas • Eventos extremos críticos (p.e. secas) Identificar: • Pontos críticos (p.e. impedimentos à migração) • Traçado fluvial (p.e. meandrizado) • Pontos representativos Selecionar: • Espécies alvo • Critérios de uso de habitat
3.	Implementação do estudo	Recolha de dados	• Velocidade, profundidade, substrato, entre outros • Temperatura, pH, oxigénio dissolvido, parâmetros biológicos, entre outros
		Calibração do Modelo	• Verificar pressupostos e calibrar o modelo
		Simulação	• Descrever relação entre a vazão do rio e uso de habitat • Obter uma série temporal de referência • Determinar a quantidade total de habitat de acordo com a espécie e o estágio de vida • Avaliar qualidade da água e efeitos da temperatura
		Interpretação e Síntese de Resultados	
4.	Análise de alternativas		• Avaliar os impactos das alternativas • Iniciar processo de negociação • Criar novas alternativas mais compatíveis com múltiplos interesses
5.	Resolução do problema		Negociar uso múltiplo da água: • Análises custo/beneficio; • Se houver acordo → Implementar RCE • Caso não haja acordo → RECOMEÇAR
6.	Verificação e validação		• Monotorização após implementação • Reavaliação de objetivos pretendidos

4
MODELAÇÃO BIDIMENSIONAL RIVER 2D

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os avanços tecnológicos, relativos à capacidade de processamento dos computadores pessoais, permitiram que as análises detalhadas no campo da engenharia fossem efetuadas com alguma rotina. Na engenharia fluvial, a utilização de modelos bidimensionais como ferramenta de análise tornou-se comum, sendo estes modelos particularmente úteis e eficazes em estudos cujos detalhes relativos à velocidade e profundidade desempenhem um papel importante [57].

Atualmente existe um número considerável de modelos bidimensionais disponíveis tanto de domínio público como comercial, que se baseiam numa variedade de esquemas numéricos, e oferecem, entre outros aspetos, a capacidade de visualização gráfica antes e depois do processamento [57].

Os fundamentos físicos são relativamente similares entre os programas. Todos os modelos 2D resolvem a equação da conservação da massa e duas componentes da quantidade do movimento. Daqui resulta que se obtêm duas componentes da velocidade e a profundidade em cada ponto ou nó da malha gerada de cada modelo bidimensional [57].

Em primeiro lugar, aprofundam-se os conhecimentos relativos aos princípios inerentes aos modelos bidimensionais, cuja compreensão permite não só saber quais os dados exigidos com a interpretação dos resultados obtidos. Seguidamente é analisado o modelo River2D, particularmente, a nível da sua formulação e funcionamento, de acordo com o seu manual de utilizador [57].

4.2. PRINCÍPIOS DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS BIDIMENSIONAIS

Os procedimentos físicos e numéricos adjacentes à modelação bidimensional permitem explicar os valores requeridos pelos modelos, assim como as limitações e confiança esperada nos resultados obtidos.

Existem dois níveis de aproximação inerentes a praticamente todos os modelos computacionais. O primeiro nível ocorre na abstração da realidade física para a formulação matemática. Na realidade física deixam-se de fora alguns componentes de modo a que se sejam focados aqueles considerados mais importantes, desde que os fenómenos físicos associados sejam desprezáveis. O segundo nível de aproximação é a transformação das equações matemáticas para a aritmética computacional, uma vez que a matemática é sofisticada a ponto de reconhecer que o espaço real é composto por um número infinito de pontos, enquanto o modelo numérico trabalha com um número finito de elementos. Este erro diminui à medida que se aumenta o número de pontos, contudo neste caso está-se forçosamente limitado pela capacidade de processamento do computador [57].

4.2.1. FORMULAÇÃO FÍSICA

Como mencionado anteriormente, a modelação hidrodinâmica assenta nos princípios da conservação de massa e da quantidade de movimento e num conjunto de leis que exprimem as propriedades e movimentos dos fluidos.

Para a formulação física, considera-se uma coluna imaginária de líquido escoado, retangular, com as dimensões indicadas na Fig. 4.1 e uma profundidade igual à altura de água, H.

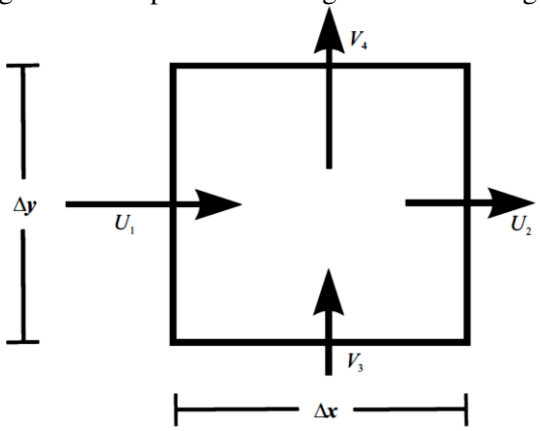


Fig. 4.1: Esboço em planta da coluna imaginária para definição da equação da conservação da massa. Fonte: [57].

Considere-se que a variação do volume é dada pela expressão (4.1),

$$\Delta V = \frac{\Delta H \times A}{\Delta t} \tag{4.1}$$

Em que a área, é definida por:

$$A = \Delta x \times \Delta y \tag{4.2}$$

Temos, então, que a conservação da massa pode ser expressa, quantitativamente, pela expressão (4.3.)

$$\frac{\Delta x \Delta y \Delta H}{\Delta t} = H_1 U_1 \Delta y - H_2 U_2 \Delta y + H_3 V_3 \Delta x - H_4 V_4 \Delta x \tag{4.3}$$

O que através de simplificações matemáticas, resulta na expressão,

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial HU}{\partial x} + \frac{\partial HV}{\partial y} = 0 \tag{4.4}$$

Definindo,

$$q_x = HU$$
$$q_y = HV \tag{4.5}$$

Obtém-se a equação (4.6) que exprime a conservação da massa para os modelos hidrodinâmicos bidimensionais.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \tag{4.6}$$

A equação obtida, de acordo com este princípio, relaciona a profundidade e duas componentes da velocidade (U e V) para cada ponto do escoamento. Na generalidade, são necessárias mais duas relações para cada ponto, de modo a ter o mesmo número de incógnitas e de equações. As relações em falta são obtidas por meio da equação da quantidade do movimento para a direcção x e para a direcção y. Apresentam-se de seguida as equações da quantidade de movimento para a direção x, sendo que o procedimento será o mesmo para a direção y. Como ponto de partida apresenta-se o esboço em planta, da coluna imaginaria de liquido escoado, na figura 4.2.

Na qual,

- P_1 *e* P_2 correspondem à pressão aplicada nas laterais da coluna;
- P_b corresponde à pressão devido à inclinação do leito;
- F_b é força de atrito longitudinal entre a coluna de água e o leito do rio;
- F_1 *e* F_2 correspondem às forças normais devido à turbulência;
- F_3 *e* F_4 correspondem a forças de corte transversais devido à turbulência;
- M_1 *e* M_2 são os momentos na direção do escoamento;
- M_3 *e* M_4 são os momentos devido à componente transversal da velocidade.

Note-se que a força de atrito, devido à ação do vento, e a força de *Corilis,* devido à rotação da Terra, são desprezadas nesta formulação.

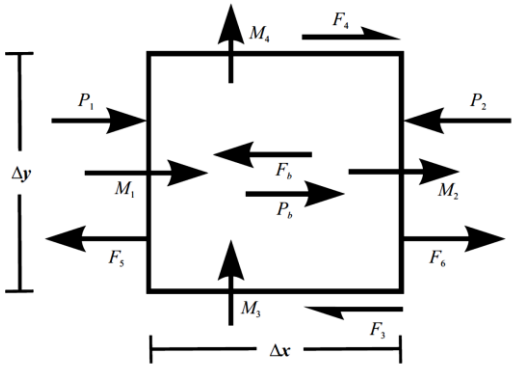


Fig. 4.2: Esboço em planta da coluna imaginária para definição da quantidade de movimento. Fonte: [57].

A quantidade de movimento na direção x, é traduz-se pela equação (4.7)

$$\frac{\Delta M_x}{\Delta t} = (M_1 - M_2) + (M_3 - M_4) + (P_1 - P_2) + P_b - F_b + F_4 - F_3 + F_6 - F_5 \quad (4.7)$$

Todos estes termos são avaliados e quantificados ao nível de velocidade e profundidade de maneira a chegar-se a uma solução. A equação (4.8) representa então a quantidade de movimento para a direcção x, na qual, ρ representa a densidade do liquido escoado; S_{0x} a inclinação do leito do rio na direção x; g a aceleração devido à acção da gravidade; e S_{fx} o ângulo de atrito na direcção x. O processo de obtenção desta equação partindo da equação (4.7) encontra-se detalho no Anexo 4.1.

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_x) + \frac{g}{2}\frac{\partial}{\partial x}H^2 = gH(S_{0x} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xx})\right) + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy})\right) \quad (4.8)$$

A equação (4.9) define a quantidade de movimento para a direção y, sendo obtida pelo mesmo processo que a equação (4.8).

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_x) + \frac{g}{2}\frac{\partial}{\partial y}H^2 = gH(S_{0y} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{yx})\right) + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{yy})\right) \quad (4.9)$$

Obtêm-se então duas equações, uma para cada direção, que em conjunto com a equação da conservação da massa (4.6), definem o sistema de equações que está na base da formulação física dos modelos hidrodinâmicos bidimensionais.

4.2.2. MODELAÇÃO NUMÉRICA

Após obtenção das equações que definem o problema, o passo seguinte é desenvolver o modelo numérico. Em primeiro lugar, procede-se à discretização, isto é, o número infinito de equações para um número infinito de incógnitas, no espaço e tempo, é reduzido a um número finito de equações que correspondem ao número de pontos definidos por uma grelha ou malha[57].

Numa segunda fase, é desenvolvido um processo ou esquema onde as equações algébricas anteriores conseguem ser resolvidas por valores nodais desconhecidos. As operações algébricas são reduzidas para aritméticas que podem ser traduzidas para linguagem computacional [57].

Em cada uma das fases existem inúmeras alternativas. No caso da discretização podem ser utilizados métodos distintos, tais como o método das diferenças finitas, o dos volumes finitos ou o método dos elementos finitos (MEF). O MEF é uma técnica de resolução numérica de equações diferenciais parciais, a qual foi usada na formulação do *River2D*. Inicialmente, o domínio é dividido através de conexões

entre pontos nodais em áreas distintas, chamadas elementos finitos. Na Fig. 4.3 apresenta-se uma malha triangular como exemplo, sendo que neste caso os nós são os vértices dos triângulos [57].

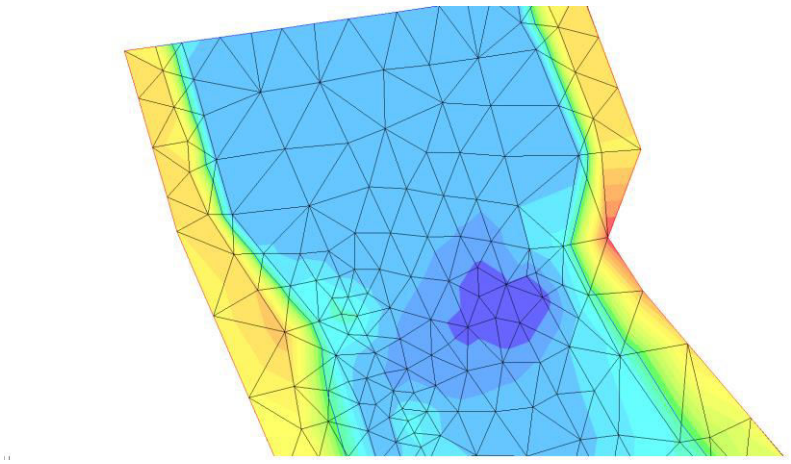


Fig. 4.3: Exemplo de malha triangular (River2D).

Os elementos podem mudar de tamanho e forma, permitindo um refinamento da malha. Para tal basta acrescentar pontos nodais que irão formar novas conexões dividindo a área em triângulos de menor dimensão. Contudo, há que ter atenção o facto de quantos mais pontos nodais existirem, maior terá de ser forçosamente a capacidade do computador, pelo que é normal que o processo de resolução se torne mais lento. O desafio consiste assim em distribuir os nós da malha de maneira a obter uma solução eficiente [57].

Note-se que devido ao facto do desenho da malha influenciar a solução final, é aconselhável comparar soluções obtidas com malhas diferentes [57].

4.2.3. DADOS EXIGIDOS

Segundo a bibliografia, é possível resumir quais os dados necessários para o funcionamento dos modelos bidimensionais, tendo em conta os princípios inerentes a estes. Estes requerem a topografia do leito do rio, um coeficiente representativo da sua rugosidade, informação sobre as condições fronteira e dados sobre as condições de escoamento inicial. A qualidade dos dados revela-se determinante para a fiabilidade e qualidade da solução obtida [57].

A obtenção da topografia do leito do rio é considerada a tarefa mais importante, difícil e morosa na modelação bidimensional. A combinação de um sistema GPS com medição de profundidade, por via sonora, para rios de grande dimensão, e estações totais, para rios de menor dimensão, mostraram-se soluções eficazes e adequadas. A informação obtida deve ser processada e verificada através de um programa digital do terreno antes de esta ser utilizada como *input* [57].

A rugosidade do leito, expressa pelo coeficiente de Manning ou pela rugosidade absoluta, constitui um parâmetro menos relevante no caso particular destes modelos. Usualmente observações do material e forma do leito são suficientes para estimar a rugosidade inicial, sendo através da calibração do modelo que se obtém o valor final. De facto, caso se obtenham valores irrealistas da rugosidade, geralmente tal significa que existem problemas com representação da topografia do terreno [57].

As condições fronteira a determinar para o funcionamento destes modelos apresentam-se sob a forma do valor do caudal total na secção de entrada (montante) e da altura de água correspondente, na secção de saída (jusante). As condições iniciais são parâmetros importantes desde que usadas como estimativa inicial no processo iterativo, sob a forma de altura de água na secção de entrada. A correta estimativa deste valor conduz a uma redução do tempo total de execução, ou seja a solução converge mais rapidamente [57].

4.3. DESCRIÇÃO DO MODELO *RIVER2D*

O *River2D* é um programa de modelação bidimensional de escoamentos, *freeware* e *opensource* desenvolvido na Universidade de Alberta, Canadá. O seu código foi escrito por F. Hicks, A. Ghanem, J. Sandelin, P. Steffler, e J. Blackburn. De referir também que a aplicação do modelo ao mundo real contou com a orientação e *feedback* de T. Waddle, e que C. Katopodis facilitou e apoiou o desenvolvimento contínuo do modelo. Os direitos de autor pertencem aos autores referidos e à Universidade de Alberta.

A fiabilidade do River2D foi comprovada através de comparações com resultados teóricos, experiementais e de campo [57, 58]. Este modelo permite a simulação de condições a partir de dados topográficos e utiliza curvas de preferência de habitat para estimar o potencial do habitat para os diferentes estágios de vida das espécies [57].

A título exemplificativo referem-se algumas das características específicas do River 2D. A utilização do MEF confere flexibilidade na forma e exigências de criação da malha, permitindo uma simulação mais detalhada do escoamento em zonas topograficamente complexas. Por outro lado, este modelo apresenta a possibilidade de incorporar a temperatura, substrato e cobertura através da utilização do parâmetro índice de canal. Adicionalmente permite visualizar, durante a simulação, a evolução do nível da água e a sua influência sobre a profundidade e velocidade do escoamento em cada um dos elementos estabelecidos pelo modelo [9].

O River2D é, na verdade, um conjunto de programas, que compreende o R2D_Bed, o R2D_Mesh, o R2D_Ice e o River2D, sendo que os primeiros três são editores de ficheiros gráficos. O primeiro editor, R2D_Bed, foi concebido para edição da topografia do leito, o R2D_Mesh é utilizado para criação de malhas computacionais e funciona como *input* no River2D. O R2D_Ice tem como finalidade a edição de topografias em zonas de gelo; naturalmente que no âmbito da presente dissertação este editor não foi utilizado.

4.4. FORMULAÇÃO DO RIVER2D

4.4.1. MODELO HIDRODINÂMICO

A componente hidrodinâmica do River2D resolve as equações de *Saint-Venant* expressas na forma conservativa. Estas três equações expressam a conservação da massa da água e a quantidade de movimento vectorial, tendo sido anteriormente definidas no ponto 4.2.1, pelo que correspondem às equações (4.6), (4.8) e (4.9).

Resolvendo o sistema de equações obtém-se, para um ponto específico, os valores aproximados da profundidade, H, e a velocidade, U e V, nas direções consideradas x e y respetivamente [57].

Na formulação hidrodinâmica do *River2D*, assume-se que[57]:

- A distribuição de pressão na vertical é hidrostática. Geralmente, tal limita a eficácia em trechos de inclinação longitudinal muito elevada e de mudanças repentinas de inclinação.
- As distribuições das velocidades horizontais são aproximadamente constantes ao longo da profundidade. Apesar de uma distribuição de velocidades poder ser usada na interpretação do resultado obtido, para efeitos de cálculo interno do programa, as distribuições são consideradas constantes, pelo que informação específica relativa à distribuição real das velocidades não está disponível.
- O efeito do vento e de *Coriolis* são desprezados. No entanto é de mencionar que para grandes massas de água, particularmente para lagos e estuários de grande dimensão, estas ações são usualmente consideradas.

Na formulação do programa o parâmetro de resistência ao escoamento considerado é a rugosidade absoluta, que pode ser estimada através de observações do material do leito, nomeadamente forma e tamanho, e que posteriormente é especificada para cada nó da malha nos ficheiros de entrada (*input files*). Os valores finais para este parâmetro deverão ser obtidos através da calibração dos resultados do modelo para as alturas de água medidas e velocidades. Da mesma forma o coeficiente de viscosidade turbulenta, v_t, também pode ser sucessivamente afinado através da calibração do modelo [57].

4.4.2. MODELO DE HABITAT PISCÍCOLA

A componente de modelação de habitat do *River2D* baseia-se no conceito de superfície ponderada útil (SPU), conhecido na terminação anglo-saxónica como *Weight Usable Area* (WUA) utilizado no *PHABSIM*. O SPU é obtido através de um índice de adequação, que varia entre 0 e 1, avaliado para cada ponto do domínio e da área associada a esse ponto. No caso do River2D, os pontos correspondem aos nós computacionais da malha de elementos finitos e a área associada corresponde aos polígonos de Thiessen [57].

O índice de adequação para cada parâmetro é avaliado através de uma interpolação linear da curva de preferência específica para cada espécie.

4.4.3. FICHEIROS DE ENTRADA

A aplicação *R2D_Mesh* é utilizada para gerar malhas para o modelo *River2D*. O funcionamento deste programa passa por ler um ficheiro relativo à topografia do terreno que contem a posição, elevação e rugosidade para diversos pontos, o qual pode ser obtido recorrendo ao *software R2D_Bed*. A malha de elementos finitos é então desenhada graficamente pelo utilizador, estando disponíveis diversas ferramentas que permitem um refinamento da mesma assegurando a sua fiabilidade. No final deste processo é gerado um ficheiro com a terminação **.cgd*, requerida pelo programa bidimensional para a modelação hidrodinâmica [57].

No que respeita ao modelo de habitat, este requer dois tipos de ficheiros. O primeiro é relativo aos índices de adequação do canal (*Channel Index)* e permite avaliar a adequação para cada nó da malha. Este ficheiro é obtido recorrendo ao R2D_Bed e a extensão do ficheiro gerado é do tipo **.chi*. Relativamente ao segundo ficheiro mencionado, este expressa a preferência das espécies através de um conjunto de tabelas representativas da velocidade e profundidade para cada estágio de vida e espécie e apresenta a extensão **.prf* [57].

5 METODOLOGIA

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo pretende-se propor uma metodologia para a modelação de escoamentos aplicando o River2D. A proposta contém os procedimentos a realizar, assim como os dados a recolher e o tipo de equipamentos a utilizar. Procurou-se integrar a metodologia no contexto de aplicação da IFIM, pelo que este contem fases que não estão diretamente relacionadas com a modelação de escoamentos, mas que se enquadram na perspetiva da determinação do regime de caudais ecológicos. São exemplo destas fases a análise prévia, identificação do problema e planeamento.

Esta proposta preliminar foi realizada tendo por base a realização de um conjunto de exercícios disponibilizados pela Universidade de Alberta para teste do programa. Estes permitiram desenvolver sensibilidade ao modelo e ao tipo de dados necessários. O conhecimento adquirido nesta experiencia, em conjunto com a pesquisa bibliográfica anteriormente descrita, esteve na base da elaboração da metodologia seguidamente proposta. Posteriormente esta será aplicada a dois casos de estudo, de forma a validá-la e otimizá-la.

5.2. ANÁLISE PRÉVIA

Nesta fase deve procura-se recolher toda a informação disponível sobre a zona em estudo, de forma a facilitar o processo de planeamento e da implementação da metodologia.

Num primeiro plano deve-se enquadrar a temática e a zona. Relativamente à problemática dos caudais ecológicos é imperativo recolher informação que a contextualize no panorama legislativo, principalmente no âmbito da DQA.

A compreensão da Metodologia Incremental através de uma revisão bibliográfica é fundamental, assim como a pesquisa de relatórios relativos à aplicação do método, em particular, sobre a modelação bidimensional e dados necessários a esta. A leitura do manual de utilizador do *River2D* proporciona uma boa introdução à modelação bidimensional e aos dados requeridos pelo modelo.

Por fim, é necessário caracterizar o local em estudo a diversos níveis. Aspetos a ter em conta são os usos e ocupação do solo, as atividades piscatórias, a tipologia DQA e a identificação de áreas protegidas. Caso existam estudos ambientais da zona, deverão ser recolhidos e analisados de modo a verificar-se a sua usabilidade.

A metodologia aqui descrita não engloba a recolha de parâmetros bióticos e respetiva elaboração de curvas de preferência. Esses dados deverão ser fornecidos pela autoridade competente ou ser originários de estudos ambientais devidamente fundamentados.

Em suma, nesta fase é imprescindível atingir os objetivos seguidamente enumerados:

- Caracterização da bacia hidrográfica
- Caracterização da componente ictiofaunística
- Identificação de potenciais limitações à eficácia do RCE

A caracterização da bacia hidrográfica deve englobar a identificação da tipologia DQA, os usos do solo, a delimitação do trecho fortemente modificado e quaisquer outras informações que se considerem relevantes para o estudo.

Relativamente à componente ictiofaunística, esta deve ser caracterizada no âmbito do estado de conservação, valor comercial, obstáculos à migração e, se possível, em termos de preferência de habitat. Dependendo dos objetivos do estudo em questão, a escolha de espécies alvo remete a esta fase. Nesse caso, propõe-se o seguinte procedimento:

1º Elaboração de um quadro que inclua as seguintes informações:
   - *Taxa*;
   - Nome Vulgar;
   - Categoria (de acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal);
   - Tipo de Ocorrência (de acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal);
   - Valor Comercial;
   - Abundância no trecho em estudo;

2º Eliminação dos *taxa* sem informações relativas à abundância, categoria ou tipo de ocorrência;

3º Preferência pelos *taxa* de valor comercial elevado;

4º Preferência pelos *taxa* pertencentes a uma categoria de risco mais acentuado.

Desta forma é possível obter uma lista ordenada das espécies-alvo a considerar por ordem de preferência. É de mencionar que os critérios aplicados e a respetiva ordem foram da consideração do autor, com o intuito de exemplificar o procedimento escolha de espécies-alvo, pelo que num caso real poderão ser aplicados outros critérios de acordo com o fim pretendido. Por exemplo, se o intuito for preservar espécies em risco em vez de incentivar atividades piscatórias, seria lógico aplicar primeiramente um critério que prioriza os *taxa* pertencentes a uma categoria de risco acentuado.

Uma vez definidas as espécies alvo, é necessário obter as curvas de preferência e formatá-las de forma a que estas constituam um *input* para o *software*. Com esta finalidade recorre-se a um editor de cálculo no qual se inserem os coeficientes de preferência que variam entre 0 e 1, exportando-se seguidamente os valores para um ficheiro de terminação **.txt* como é o caso do *Notepad*. O ficheiro final deverá apresentar a configuração exemplificada na figura 5.1

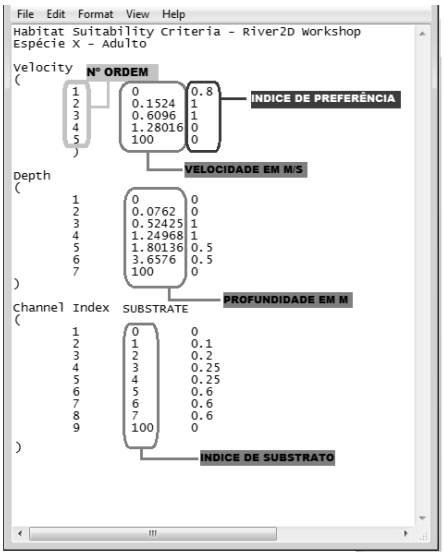


Fig. 5.1: Exemplo de ficheiro com critérios de preferência de uma espécie.

Finalmente, na identificação de potenciais limitações à eficácia do RCE, é necessário fazer um levantamento de situações que ameacem a conservação e manutenção do ecossistema, tais como a existência de fontes poluidoras e obstáculos.

5.3. PLANEAMENTO

Nesta fase deve planear-se todo o trabalho de campo, a duração da implementação do estudo, os métodos a usar e os equipamentos mais apropriados.

Sintetizando, o processo de planeamento deverá apresentar as seguintes etapas:

1º Pesquisa bibliográfica tendo em vista a recolha de informações ambientais;

2º Delimitação e/ou identificação da massa fortemente modificada;

3º Delimitação de extensão para visita de reconhecimento. Critérios utilizados:

- Existência de obstáculos intransponíveis às espécies migradoras;

4º Escolha de troços para a visita de reconhecimento. Critérios utilizados:

- Particularidades morfológicas;
- Particularidades naturais;
- Avistamento de espécies;

5º Visita de reconhecimento;

6º Planeamento das ações de levantamento topográfico e medição de caudais no troço selecionado;

7º Trabalho de campo;

8º Tratamento de dados;

9º Modelação de escoamento;

10º Análise de resultados.

A elaboração de um calendário de atividades, especificando a duração de cada tarefa permite que o tempo disponível para o estudo seja rentabilizado e organizado.

5.3.1. VISITA DE RECONHECIMENTO

Após delimitação da massa de água fortemente modificada, é importante selecionar trechos potencialmente interessantes no âmbito da modelação de escoamentos, para tal recorre-se a fotografias de satélite e informações de relatórios ambientais.

A duração da visita de reconhecimento depende da extensão do troço e dos acessos existentes, pelo que a avaliação prévia dos locais a visitar deverá também determinar a qualidade de acessos e o meio de locomoção mais apropriado. Esta tarefa tem como finalidade a identificação do local mais apropriado à modelação de escoamento. Deste modo alguns fatores devem ser tidos em especial atenção. De modo a sintetizar o processo, elaborou-se uma ficha para preenchimento em cada local. Propõe-se que os mesohabitats sejam indicados de acordo com a experiência dos intervenientes na observação do local e que a velocidade e profundidade de escoamento sejam classificadas segundo a escala definida nas tabelas 5.2 e 5.3, de acordo com a capacidade dos operadores dos equipamentos de atravessar o canal em estudo. A ficha modelo referida encontra-se no anexo A.2

Tabela 5.1: Caracterização da velocidade.

Velocidade	
Baixa	Não condiciona a passagem
Moderada	Dificulta pouco a passagem
Elevada	Dificulta muito a passagem
Muito Elevada	Impossibilita a passagem

Tabela 5.2: Caracterização da profundidade.

Profundidade	
Baixa	Não condiciona a passagem
Moderada	Passagem provável no verão
Elevada	Passagem improvável no verão
Muito Elevada	Impossibilita a passagem

A visita de reconhecimento pode também ser entendida como uma via para teste dos equipamentos apropriados ao trabalho de campo. O uso de equipamentos de localização, nomeadamente do sistema GPS, permite situar com rigor os locais visitados, facilitando o regresso ao local exato de observação e servindo de fonte de dados para análises em escritório.

Em suma os objetivos da visita de reconhecimento são:

- Identificação de troços passíveis de serem modelados.
- Delimitação topográfica preliminar dos troços escolhidos (avaliar extensão e localização)
- Medição de caudais nos troços que se considere pertinente.

5.3.2. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos a utilizar na recolha de dados são definidos na fase de planeamento. No caso do presente estudo revela-se necessário a utilização de um sistema GPS com medição de profundidade e um medidor de caudais.

O *Trimble R8 GPS system* revela-se um sistema eficaz e eficiente. É um recetor projetado para aplicações relacionadas com levantamentos topográficos por GPS. Este incorpora uma antena GPS, um recetor de rádio interno e baterias, sendo que a tecnologia *bluethooth* permite comunicações sem cabos entre o recetor e o controlador. O *Trimble R8* está disponível como sonda autónoma, estação base ou como parte da estação total GPS, oferecendo por isso o máximo de versatilidade.



Fig. 5.2: Exemplo de funcionamento do Trimble R8.



Fig. 5.3: Pormenor da antena do Trimble R8.

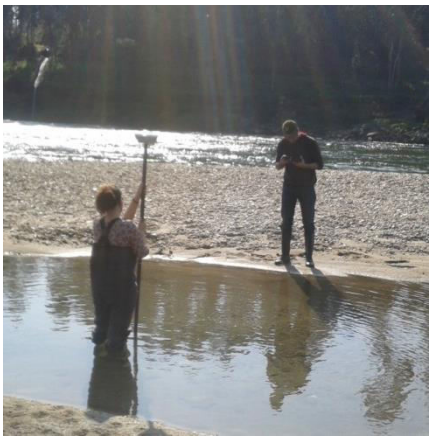


Fig. 5.4: Teste de equipamento na visita de reconhecimento.

A medição de caudal de um curso de água pode ser efetuada pela integração das velocidades numa seção normal ao escoamento. Para este efeito, foram utilizados dois equipamentos: o *OTT MF pro* e o RiverRay.

O *MF Pro* é constituído por um sensor eletromagnético de pequenas dimensões colocado numa haste e um aparelho de mão robusto. Este equipamento é adequado para medições em águas rasas uma vez que o operador terá de ser capaz de transportar e operar o equipamento. Não sendo por isso indicado para velocidades elevadas e/ou profundidades elevadas. A secção para medição deverá ser escolhida de modo a apresentar o menor número possível de obstáculos e irregularidades que induzam variações na velocidade do escoamento. Após a definição do número de verticais a adotar, são registados, de forma automática, os valores da velocidade (v_i) e respetivas profundidades (h_i), à medida que o operador avança na secção, conforme exemplificado na Fig. 5.6.



Fig. 5.5: Medição de caudais com o MF Pro no Rio Vouga

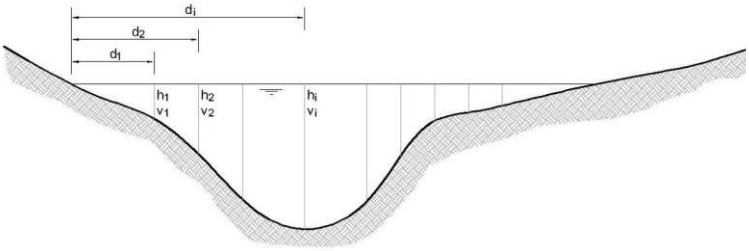


Fig. 5.6: Esquema de funcionamento do MF Pro.

Nos casos de maiores profundidades (superiores a 40 cms), utilizou-se o RiverRay que opera autonomamente, sendo necessário um operador em cada uma das margens. Este equipamento é capaz de medir velocidades, batimetria de canais e ainda caudais através do efeito doppler, de acordo com o método secção-velocidade.



Fig. 5.7: Preparação do equipamento no Rio Lima



Fig. 5.8: Medição de caudais no Rio Vouga

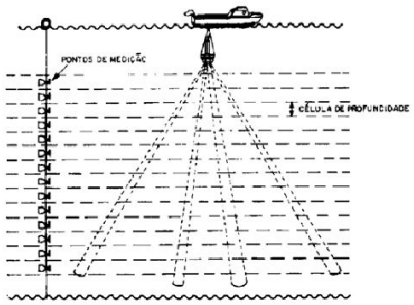


Fig. 5.9: Técnica de leitura utilizada pelo RiverRay

5.4. RECOLHA DE DADOS DE CAMPO

A modelação de escoamentos através do River2D desenvolve-se partindo da topografia do troço em estudo, das curvas de preferência de habitat, da recolha de dados hidráulicos, da determinação ou estimação da rugosidade absoluta (n) e da caracterização do substrato (índice de canal).

A exatidão e resolução espacial dos dados topográficos constituem fatores influenciadores da qualidade do modelo, sendo por isso fulcral georreferenciar todas as características físicas do leito, nomeadamente elevações, blocos e obstruções., uma vez que é nestas zonas que o padrão de escoamento é mais complexo, podendo influenciar o habitat piscícola.

Relativamente ao intervalo de tempo para a caracterização topobatimétrica, considera-se necessário cerca de uma semana para obter uma boa amostra da morfologia do leito do rio na zona em estudo, considerando-se uma extensão de aproximadamente 300 m.

A título de exemplo apresenta-se a tabela 5.3. com a análise prévia de determinação do tempo necessário para o levantamento topográfico de um trecho com uma extensão de 300 m e uma largura de 20 m.

Tabela 5.3: Análise prévia de determinação do tempo necessário para o levantamento topográfico

Extensão (m)	Largura (m)	Malha (m^2)	Nº Pontos a levantar	Tempo/ponto (segundos)	Tempo Total (horas)
300	20	1×1	6000	30	60,00
		1,5×1,5	2667		22,22
		2×2	1500		12,50

O tempo necessário para levantar cada ponto é cerca de 30 segundos, considerando que o equipamento usado requer que se posicione no local durante 15 segundos e o restante tempo é para locomoção entre pontos. Relativamente à malha, ou seja a distância entre pontos levantados, depende da morfologia do leito. Se este for relativamente regular o espaçamento entre pontos poderá ser maior, pelo contrário se for muito irregular (por exemplo, um número elevado pedras de diferentes dimensões) o espaçamento terá de ser menor para conseguir caracterizar com exatidão a topografia do leito. Refere-se que um espaçamento, entre pontos levantados, de 1 a 2 m deverá corresponder a um cenário de suficiente detalhado.

Após o levantamento dos dados topográficos, estes deverão ser processados e seguidamente transformados num ficheiro **.txt* que dará entrada no River2D.

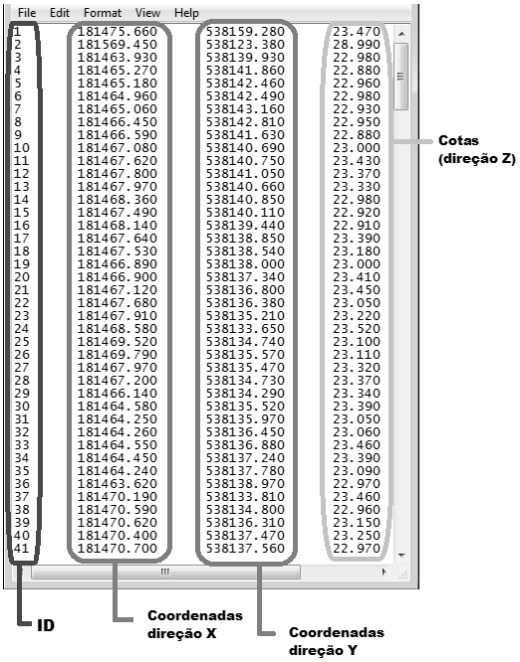


Fig. 5.10: Exemplo do ficheiro a criar para inserção no software.

A recolha de dados hidráulicos tem por fim a calibração do modelo. As secções nas quais os dados são recolhidos devem ser representativas dos mesohabitats. O número de secções dependerá da extensão do troço a modelar, assim como da quantidade de mesohabitats presentes.

Considera-se pertinente o levantamento do perfil de velocidades na secção de montante e de jusante do trecho a modelar. A utilização do RiverRay nestas secções é extremamente vantajosa por fornecer informações detalhadas da batimetria dos rios.

Além dos perfis de velocidades, é necessário recolher dados relativos às alturas de água associadas a cada caudal na secção de montante e de jusante para estimar a rugosidade. Para esse fim recorre-se à colocação de escalas em locais estratégicos e anota-se a variação ao longo do dia.



Fig. 5.11: Escala colocada no rio Vouga.

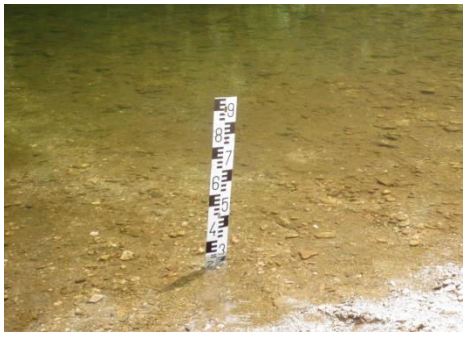


Fig. 5.12: Escala colocada no rio Vouga.



Fig. 5.13: Escala colocada no rio Lima.

Por fim, a classificação do substrato poderá ser realizada com base na observação no local, fazendo medições ou tirando anotações relativas ao substrato de maneira que se enquadre nas classes descritas na tabela 5.5. de acordo com o *River Habitat Survey* mencionado no ponto 3.3.1.

Tabela 5.4: Tipos de substrato do canal/margens segundo a classificação RHS

Substrato	Classe	Dimensões
Finos	1	$< 0{,}02\ cm$
Areia	2	$0{,}02 - 0{,}2\ cm$
Gravilha	3	$0{,}2 - 1{,}6\ cm$
Cascalho	4	$1{,}6 - 6{,}4\ cm$
Pedras	5	$6{,}4 - 26\ cm$
Blocos	6	$> 26\ cm$
Rocha	7	$Contínuo$

5.5. MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA

5.5.1. LEITO DO RIO

Após a criação e inserção do ficheiro **.txt* relativo à topografia da zona em estudo (Fig. 5.10) no R2D_Bed, o leito deve ser editado de modo a cumprir os seguintes procedimentos: definição dos limites exteriores da modelação no trecho levantado (e limites interiores caso existam ilhas, por exemplo), especificação da rugosidade absoluta, e, caso seja necessário, adicionação de pontos e de linhas de quebra.

A rugosidade, n, a definir nesta fase pode ser estimada empiricamente, com base na experiência e observação visual, ou através da fórmula de *Manning-Strickler* a partir dos dados recolhidos no trabalho de campo. Neste segundo caso, será necessário, no mínimo, conhecer uma altura de água (h) e o caudal associado a essa mesma altura (Q). O procedimento a seguir poderá ser o seguinte:

1º Definir a geometria do canal na secção de jusante do troço de jusante, considerando simplificações (p.e. secção retangular);

2º Definir valor para inclinação do troço;

3º Aplicar a fórmula de *Manning-Strickler*: $Q = k_S \times S \times {R_h}^{2/3} \times i^{1/2}$, em que a incógnita é o coeficiente de rugosidade, k_S;

4º Determinar o valor de n, parâmetro da rugosidade a introduzir no editor gráfico, com base na expressão: $k_S = 1/n$.

O índice de canal é definido com recurso ao editor gráfico do leito, *R2D_Bed*, para mais tarde este ser usado na simulação de habitat. Após a recolha de informações relativas ao substrato e a sua classificação segundo a tabela 5.4., recorre-se à ferramenta que permite definir a rugosidade por polígonos ("*Set Roughness by region*"). Neste caso em vez de serem inseridos valores de rugosidade para cada polígono coloca-se a classe de substrato. Após a gravação do ficheiro a extensão deste deve ser alterada de **.bed* para **.chi.txt* de modo a posteriormente ser usado no *River2D* como índice de canal.



1	181475.660000	538159.280000	23.470000	5.000000
2	181463.930000	538139.930000	22.980000	5.000000
3	181465.270000	538141.860000	22.880000	5.000000
4	181465.180000	538142.460000	22.960000	5.000000
5	181464.960000	538142.490000	22.980000	5.000000
6	181465.060000	538143.160000	22.930000	5.000000
7	181466.450000	538142.810000	22.950000	5.000000
8	181466.590000	538141.630000	22.880000	5.000000
9	181467.080000	538140.690000	23.000000	5.000000
10	181467.620000	538140.750000	23.430000	5.000000
11	181467.800000	538141.050000	23.370000	5.000000
12	181467.970000	538140.660000	23.330000	5.000000
13	181468.360000	538140.850000	22.980000	5.000000
14	181467.490000	538140.110000	22.920000	5.000000
15	181468.140000	538139.440000	22.910000	5.000000
16	181467.640000	538138.850000	23.390000	5.000000
17	181467.530000	538138.540000	23.180000	5.000000
18	181466.890000	538138.000000	23.000000	5.000000
19	181466.900000	538137.340000	23.410000	5.000000
20	181467.120000	538136.800000	23.450000	5.000000
21	181467.680000	538136.380000	23.050000	5.000000
22	181467.910000	538135.210000	23.220000	5.000000
23	181468.580000	538133.650000	23.520000	5.000000
24	181469.520000	538134.740000	23.100000	5.000000
25	181469.790000	538135.570000	23.110000	5.000000
26	181467.970000	538135.470000	23.320000	5.000000
27	181467.200000	538134.730000	23.370000	5.000000
28	181466.140000	538134.290000	23.340000	5.000000
29	181464.580000	538135.520000	23.390000	5.000000
30	181464.250000	538135.970000	23.050000	5.000000
31	181464.260000	538136.450000	23.060000	5.000000
32	181464.550000	538136.880000	23.460000	5.000000
33	181464.450000	538137.240000	23.390000	5.000000
34	181464.240000	538137.780000	23.090000	5.000000
35	181463.620000	538138.970000	22.970000	5.000000
36	181470.190000	538133.810000	23.460000	5.000000
37	181470.590000	538134.800000	22.960000	5.000000
38	181470.620000	538136.310000	23.150000	5.000000
39	181470.400000	538137.470000	23.250000	5.000000
40	181470.700000	538137.560000	22.970000	5.000000
41	181470.520000	538138.520000	22.920000	5.000000

Fig. 5.14: Exemplo de ficheiro de índice de canal.

5.5.2. DEFINIÇÃO DA MALHA

A definição da malha deve ser realizada recorrendo ao editor gráfico R2D_Mesh. Em primeiro lugar definem-se os nós nos limites exteriores anteriormente estabelecidos, seguidamente gera-se um preenchimento uniforme de nós e um preenchimento específico em zonas de topografia mais complexa (Fig. 5.16). Por fim define-se a secção de entrada e saída de escoamento no trecho a modelar e grava-se o ficheiro em formato **.cgd*.

De uma forma geral, os comandos e valores a utilizar são os seguintes:

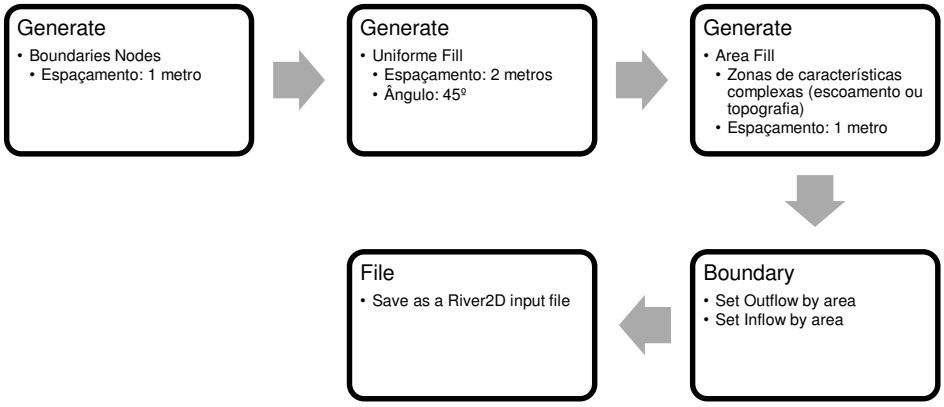


Fig. 5.15: Proposta de comandos e valores a utilizar na definição da malha.

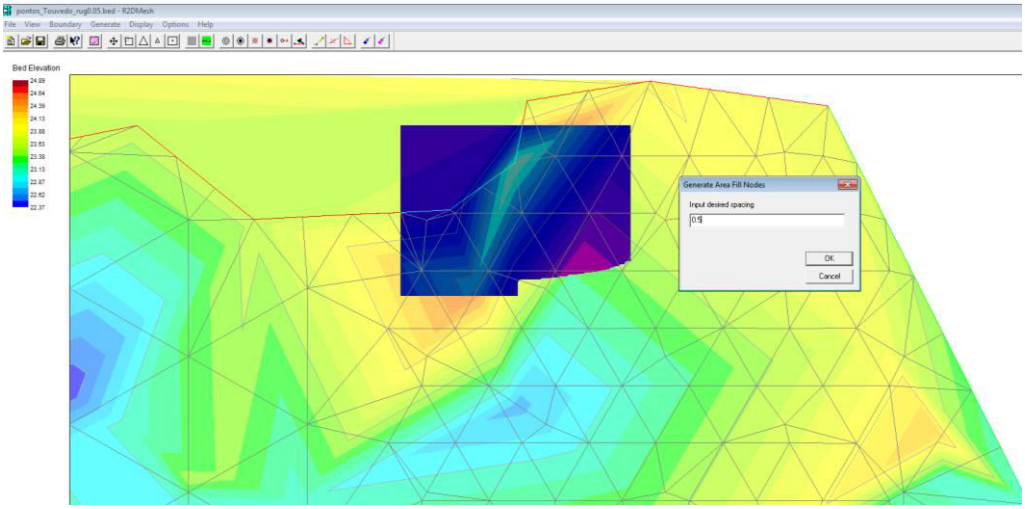


Fig. 5.16: Pormenor do processo de definição da malha.

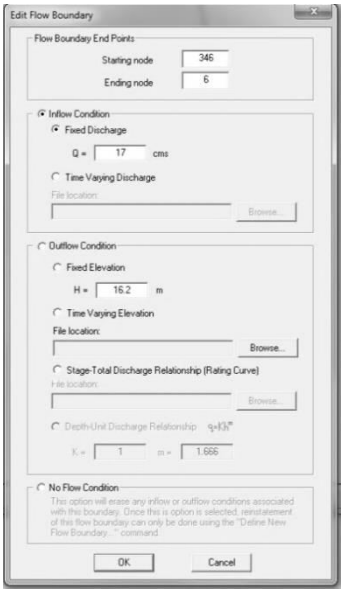
A qualidade da malha pode ser verificada no River2D recorrendo ao comando "Mesh Information" que fornece informações relativas ao número de nós, número de elementos e ao índice de qualidade (Quality Index – QI). Uma malha ideal, constituída apenas por triângulos equiláteros, teria um índice igual a um. No entanto malhas reais apresentam valores inferiores à unidade, idealmente entre 0,15 e 0,50.

5.5.3. RESULTADOS

Uma vez concluídos os passos anteriormente descritos procede-se à simulação hidrodinâmica propriamente dita. O processo inicia-se abrindo o ficheiro obtido através do R2D_Mesh, seguidamente é necessário definir as condições fronteiras. Ou seja, a gama de caudais a analisar e as alturas de água associadas. Para cada caudal que se procure analisar é necessário fornecer a cota da superfície livre a jusante e uma estimativa da cota de superfície livre a montante. Voltando aos cálculos efetuados para estimar a rugosidade em 5.1.1., têm-se agora todos os dados para traçar uma estimativa da curva de

vazão na secção de jusante, capaz de fornecer a profundidade de escoamento associada a cada caudal. Relativamente à estimativa para a secção de montante, é possível traçar-se uma curva de vazão aproximada para esta secção considerando-se o mesmo coeficiente de rugosidade para ambas as secções. Conforme referido, as alturas de água assim obtidas apenas servem como primeira estimativa, necessária para iniciar a simulação hidrodinâmica e assegurar uma rápida convergência.

Fig. 5.17:Definição das condições fronteira.



Após inserção das condições fronteiras procede-se à simulação, os valores a utilizar na simulação foram os mesmos que o manual de utilizador do *River2D* aconselha para a 1ª e 2ª iteração. E são apresentadas nas tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5: Condições iniciais para a 1ª e 2ª iteração da modelação hidrodinâmica.

	1ª Iteração	**2º Iteração**
Tempo presente (segundos)	0	-
Tempo final (segundos)	1000	25000
Incremento de tempo (segundos)	10	100
Máximo incremento de tempo (segundos)	100	500
Objetivo de mudança da solução	0,05	0,05
Atualizar visualização a cada “ _ ” passo(s)	1	10

É de mencionar que antes de se proceder à simulação do caso de estudo, se realizou um exercício disponibilizado pelos criadores do programa. Este foi extremamente útil na medida que permitiu uma maior sensibilidade ao funcionamento do programa que apenas pode ser adquirida através da experiência.

5.6. SIMULAÇÃO DE HABITAT

Por fim, a simulação de habitat é realizada com três elementos: o ficheiro *.cgd referente ao caudal a simular previamente convergido; o ficheiro *.txt de preferência de habitat, descrito no subcapítulo 5.2 e exemplificado na figura 5.3.; e o ficheiro *.txt referente ao índice de canal, descrito no subcapítulo 5.4. e exemplificado na figura 5.10. Após inserção dos elementos mencionados, o programa calcula a superfície ponderada útil, de seguida é possível obter os mapas da adequação do troço relativamente à velocidade e profundidade de escoamento, ao substrato e a um coeficiente que combina os três parâmetros anteriores.

6
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE TOUVEDO

6.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo encontra-se localizado no rio Lima, distrito de Viana do Castelo. Destina-se essencialmente a regularizar os elevados caudais turbinados pela central do Alto Lindoso, armazenando-os temporariamente e restituindo-os ao rio imediatamente a jusante da barragem de Touvedo. Esta está equipada com um dispositivo de passagem para peixes do tipo ascensor vertical, cujo objetivo passa por mitigar o efeito de interrupção fluvial e possibilitar o acesso aos afluentes localizados a montante, como é o caso dos rios Froufe e Tamente.

No âmbito das Políticas de Sustentabilidade do Grupo EDP, em particular as de Ambiente e Biodiversidade, e do Plano de Gestão Enguia, elaborado de acordo com o disposto no Regulamento nº (CE) 1100/2007, torna-se pertinente a realização de estudos que permitam avaliar a eficácia das passagens existentes. Complementarmente, quando possível, poderão ser implementadas medidas que otimizem a sua utilização. É com este enquadramento que surge o presente caso de estudo, com o objetivo de contribuir para analisar se a gama de caudais ecológicos em vigor é capaz de originar boas condições de acesso das espécies ao dispositivo de passagem para peixes, quer pela criação de um habitat favorável nesta zona imediatamente a jusante da barragem, quer pelo estabelecimento de caminhos preferenciais contínuos, ao longo dos quais sejam mantidas condições que permitam a progressão dos peixes até ao ascensor.

6.2. ANÁLISE PRÉVIA

6.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO RIO LIMA

A construção de barragens no rio Lima remete ao aumento de consumos de eletricidade associado ao crescimento económico do pós-Guerra 1939/1945. O subaproveitamento das potencialidades hidroelétricas deste rio conduz a que em 1960 seja solicitada licença para realização de estudos relativos ao escalão do Alto Lindoso[59].

O escalão de montante, Alto Lindoso, é constituído por uma barragem de betão, do tipo abóbada de dupla curvatura, com uma altura de 110 metros, coroamento à cota $(339{,}0)$ e um desenvolvimento de 297 metros. A albufeira criada pela barragem recebe as afluências de $1525\ km^2$ em parte regularizadas pelos aproveitamentos espanhóis de Las Conchas e Salas. Encontra-se equipada com dois

descarregadores de cheias implantados na marem direita e duas descargas de fundo. Estas apresentam um sistema destinado à garantia do caudal ecológico no troço do rio Lima entre a barragem e a albufeira de Touvedo. O circuito hidráulico de Alto Lindoso é constituído por: duas galerias e poços de alta pressão (um para cada grupo), uma chaminé de equilíbrio e uma galeria de restituição de baixa pressão. A central, subterrânea, é equipada com dois grupos turbina Francis/alternador de eixo vertical que fornecem à rede a potência máxima de 660 MW, turbinando um caudal de 250 m^3/s à queda bruta de 280 m [59].

Se ao aproveitamento de Alto Lindoso se incumbe uma relevante missão a nível nacional, o aproveitamento de Touvedo é o complemento indispensável. Constitui uma obra de dimensões mais modestas e cabe-lhe a importante tarefa de regularizar os elevados caudais turbinados no Alto Lindoso, armazenando-os temporariamente e restituindo-os ao rio com valores não superiores a 100 m^3/s Desta forma evitam-se variações bruscas e de grande amplitude no regime do rio a jusante [59].

O escalão de Touvedo é constituído por uma barragem, um circuito hidráulico, uma central e um dispositivo de transposição de peixes. A barragem é de betão, do tipo gravidade, e apresenta uma soleira descarregadora de cheias, dividida em 3 vão providos de comportas segmento. O circuito hidráulico tem um comprimento reduzido, de cerca de 24 m. A central é contígua à zona da barragem-descarregador, encaixada parcialmente na encosta da margem esquerda do rio. É delimitada a montante pelos blocos da barragem, sendo a separação feita por um muro onde se encontra instalado um dispositivo de transposição para peixes, do tipo ascensor. Este dispositivo é constituído por uma cuba que transporta os peixes desde a zona da restituição até à extremidade de um canal superior que se desenvolve ao longo do referido muro e estabelece a comunicação com a albufeira. Tem por objetivo mitigar o efeito de interrupção da conectividade fluvial e possibilitar o acesso aos afluentes localizados a montante [59].



Fig. 6.1: Vista de Jusante da Barragem de Touvedo.

6.2.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LIMA

A bacia hidrográfica do rio Lima cobre uma área de 2470 km^2, dos quais cerca de 49% em território português. A parte portuguesa é limitada a norte pelas sub-bacias do rio Minho, a leste pela região hidrográfica do Douro e a sul pelas sub-bacias dos rios Cávado e Neiva [60].

O rio Lima nasce na serra de S.Mamede, em Espanha, e desenvolve.se ao longo de 108 km de extensão, dos quais 67 km localizam-se em território nacional. Os principais afluentes do rio Lima, em Portugal, são os rios Estorãos, Trovela, Vez, Vade e Castro Laboreiro[60].

Relativamente à inclinação do leito, o rio apresenta valores bastante diferentes. Começa por um percurso inicial bastante inclinado na sua cabeceira, dando lugar ao atravessamento de um peniplanalto, situado em território espanhol, ao longo de uma extensão de 48 km. Em seguida, a inclinação aumenta bruscamente para 10,6%, numa extensão de 1,5 km, trecho onde se situa o aproveitamento espanhol de Las Conchas, a que se segue, até à barragem do Alto Lindoso, um troço com inclinação média inferior a 1%. A jusante desta barragem o rio Lima desce cerca de 180m numa extensão da ordem de 6km (3%) até à zona da restituição do circuito hidráulico do Alto Lindoso, cerca de 0,8km a montante da central do Lindoso, na cauda da albufeira de Touvedo. No interior da albufeira de Touvedo a inclinação média do rio é de cerca de 0,3%. A jusante deste aproveitamento apresenta uma inclinação que ronda o 1% nos 20 km seguintes [59].

A bacia hidrográfica do rio Lima desenvolve-se numa zona de elevada precipitação com valor anual médio de cerca de 1950 mm na bacia hidrográfica total e de cerca de 1800mm na bacia hidrográfica entre Lindoso e Touvedo. A temperatura média anual na bacia do Lima é 13,9º. A distribuição de escoamento geralmente apresenta as mesmas características de ano para ano. Um semestre húmido de Outubro a Março e um semestre seco de Abril a Setembro. O mês com maior escoamento situa-se entre Dezembro e Março, em média. Por outro lado, o mês com menor escoamento fica compreendido, em média, entre Junho e Setembro [60].

Em termos de ocupação do solo, a bacia do Lima é constituída essencialmente por florestas e meios seminaturais (cerca de 66%) e por zonas agrícolas (cerca de 31%). A restante área da bacia é ocupada por zonas artificiais, e por zonas húmidas e superfícies aquáticas. Segundo o Plano de Bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica 1, no que respeita à proteção de recursos e à conservação da natureza, são identificadas várias zonas protegidas e áreas classificadas, incluindo 7 zonas piscícolas, 15 zonas balneares, 2 Zonas de proteção Especial (ZPE), 6 Sítios de Importância Comunitária (SIC) e 4 áreas protegidas. Encontram-se ainda identificadas 15 captações de águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano e 199 captações de águas subterrâneas com o mesmo fim, não existindo, até ao momento, perímetros de proteção aprovados pelo Governo Português[60]..

Na bacia do Lima, especificamente, existem cinco locais considerados pelo Instituto da Conservação da Natureza como Sítios de Interesse para a conservação da Avifauna: Rio Laboreiro / Sra. da Peneda, nos concelhos de Arcos de Valdevez e Melgaço; matas do rio Laboreiro e zonas altas da Serra da Peneda, no concelho de Arcos de Valdevez; Serra Amarela e Mata de Albergaria, nos concelhos de Terras de Bouro e Ponte da Barca; Lagoa de Bertiandos, no concelho de Ponte de Lima; S. Simão / Mós, no concelho de Viana do Castelo [60].

6.2.3. CARACTERIZAÇÃO DA COMUNIDADE ICTIOFAUNÍSTICA

A região possui uma grande riqueza faunística e florística, quer pela notável diversidade de espécies existentes e número de endemismos, quer ainda pela raridade de algumas espécies presentes. Com efeito,

esta área abrange reservas inigualáveis de importantes comunidades, como sejam o Parque Nacional da Peneda-Gerês (que se prolonga para Espanha, onde constitui o "Parque Natural de la Xerra do Xurés - Baixa Limia") e o Parque Regional de Santa Luzia[60].

A caracterização da comunidade piscícola foi realizada tendo por base o Plano de Acção para a otimização do ascensor de peixes do Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo, projeto que a EDP está a desenvolver. Uma vez que o presente estudo é direcionado para a eficácia do ascensor, torna-se importante caracterizar a comunidade ictiofaunística de acordo com a utilização do mesmo. Assim no período de monotorização de Agosto de 2011 – Agosto de 2012, o ascensor foi utilizado por 3443 indivíduos, sendo o período de utilização mais frequente o correspondente aos meses de verão e início de outono. As espécies que mais se destacaram foram a boga do Norte (55%) e a enguia-europeia (35%), o barbo-comum e a truta-de-rio [61].

6.3. PLANEAMENTO

6.3.1. PLANIFICAÇÃO TEMPORAL

Como mencionado na definição da metodologia no Capítulo 5, a planificação temporal concretizada através da elaboração de um calendário de atividades, permite que o tempo disponível para o estudo seja rentabilizado e organizado. O presente caso de estudo, tendo em conta as suas especificidades e objetivos, apresentou a calendarização detalhada na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Calendarização das tarefas para o caso de estudo de Touvedo.

Tarefas	Tempo necessário	Calendarização
Análise Prévia e Planeamento	3 a 4 semanas	7 Abril a 2 Maio
Recolha de Dados	1 dia	13 de Maio
Tratamento de dados	2 a 3 dias	14-16 de Maio
Edição do Leito do Rio e criação da Malha	1 dia	19 de Maio
Estabelecimento das condições fronteiras	1 dia	20 Maio
Simulação Hidrodinâmica	1 semana	21 – 27 Maio
Simulação de Habitat	3 dias	28 – 30 Maio

É de mencionar, que neste caso de estudo não se verificou a necessidade de efetuar uma visita de reconhecimento para escolha do local a modelar. Considerando-se a finalidade de avaliar a eficácia do dispositivo, o local mais adequado a modelar é imediatamente a jusante do aproveitamento.

A escolha do dia apropriado à recolha de dados encontrou-se dependente da disponibilidade do aproveitamento hidroelétrico para não turbinar durante algumas horas, deste modo procedeu-se à análise dos registos de funcionamento, com vista a estimar o dia que causasse o menor distúrbio possível no funcionamento normal do aproveitamento. Considerou-se o mês de Abril como sendo um bom indicativo do expectável, tendo em vista a proximidade temporal da data prevista para a campanha de

recolha de dados. Após uma análise ponderada dos dados relativos ao mês de Abril (anexo B.1.), considerou-se que o início da semana era mais propício à realização do trabalho, mais concretamente numa terça-feira. Previamente à campanha, realizou-se ainda um planeamento horário do dia destinado à recolha de dados, de maneira a fazer o melhor uso possível do tempo disponível para este efeito, tal planeamento pode ser consultado no anexo B.2. Por razões operacionais e de segurança, a extensão do trecho a levantar topograficamente encontrava-se dependente do tempo em que o aproveitamento não estivesse em funcionamento desse modo realizou-se um exercício de simulação de maneira a ter conhecimento da extensão que seria possível levantar (anexo B.3).

Na figura 6.2. apresenta-se uma imagem de satélite da zona a modelar imediatamente a jusante da barragem de Touvedo.

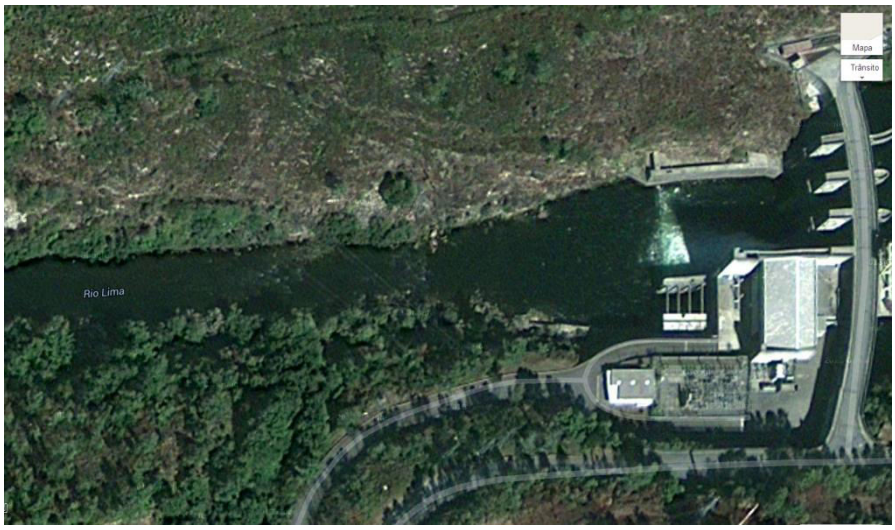


Fig. 6.2: Imagem Satélite da zona a modelar imediatamente a jusante de Touvedo. Fonte: Google Maps.

6.3.2. TRECHO A MODELAR

Como foi já referido, numa situação ideal deveria ser efetuado um levantamento topobatimétrico de uma extensão de 200 a 300 m, o que geralmente requer um intervalo de tempo de uma semana para recolha de dados [57]. No entanto, devido essencialmente a limitações temporais, o trabalho de campo teve que ser realizado numa tarde, pelo que se optou por levantar um trecho de menor extensão.

O detalhe e rigor do levantamento depende logicamente do número de pontos levantados; assim e de maneira a otimizar o tempo e recursos disponíveis, realizou-se nesta fase preliminar uma análise do distanciamento que se poderia utilizar entre pontos, de maneira a ter um mínimo de pontos aceitável para caracterizar a zona a modelar. Na mencionada análise foram analisadas diversas combinações de extensões e larguras do trecho a modelar. A solução final adotada tinha em consideração a limitação temporal para recolha de pontos, cerca de 3 horas e 30 minutos, e consistia em modelar uma extensão de 80 m e uma largura de 20 m, estimando-se que seria possível levantar um total de cerca de 400 pontos desde que a distância média entre eles fosse 2 m. A análise detalhada da extensão a levantar e do tempo necessário encontra-se no anexo B.2.

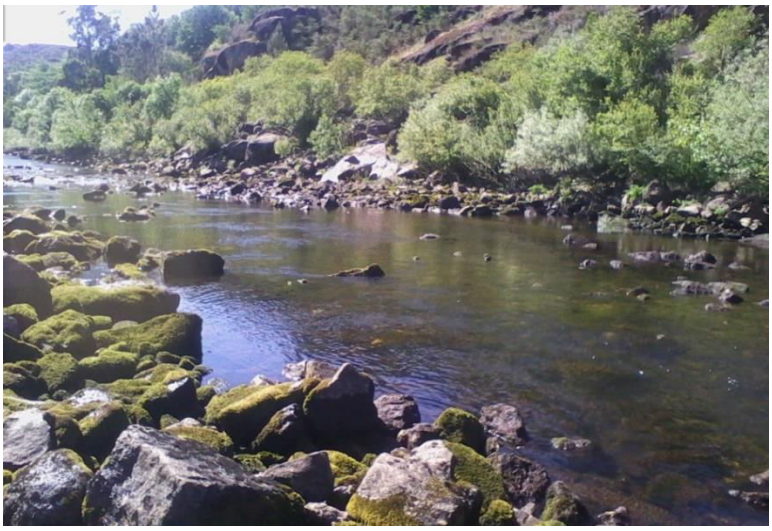


Fig. 6.3: Trecho modelado no estudo de caso.

6.3.3. ESPÉCIES-ALVO

Neste caso não se considera pertinente a exemplificação do processo de escolha das espécies alvo para o estudo, uma vez que o seu objetivo passa pela verificação e otimização da eficácia da passagem para peixes. Assim sendo utilizaram-se as espécies alvo definidas no Plano de Ação para a otimização do ascensor de peixes do Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo, sendo elas: a Boga comum, o Escalo do Norte e a Panjorca. As curvas de preferência apresentadas neste caso de estudo foram elaboradas por especialistas e podem ser consultadas no *Estudo Experimental para a determinação do Caudal Ecológico do Rio Lima* [62]. O estudo em apresenta as curvas de preferência para as três espécies-alvo referidas. No caso da Boga e do Escalo é distinguida a preferência para o estado juvenil e adulto, e no caso da Panjorca apenas para um estado. Apresenta ainda a distinção entre a preferência das espécies no Inverno-Primavera e no Verão-Outono. Considerou-se pertinente usar as curvas referentes ao Verão-Outono devido a corresponder à altura em que o dispositivo foi mais utilizado.



Fig. 6.4: Exemplar de Boga do norte capturado no rio Lima.



Fig. 6.5: Exemplar de escalo do norte capturado no rio Vade.

Na tabela seguinte são apresentados os valores de preferência das espécies de acordo com a bibliografia.

Tabela 6.2: Critérios de preferência (entre 0 e 1) das espécies-alvo para o caso de estudo do Rio Lima. Baseado em [62].

		Escalo Juvenil $< 90\ mm$	Escalo Adulto $> 90\ mm$	Boga Juvenil $< 120\ mm$	Boga Adulto $> 120\ mm$	Panjorca -
Velocidade (m/s)	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,1	1,000	1,000	0,700	0,850	1,000
	0,3	0,150	0,850	1,000	1,000	0,000
	0,5	0,100	0,000	0,200	0,300	0,000
	0,7	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000
	0,9	0,000	0,000	0,000	0,850	0,000
	1,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Profundidade (m)	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,1	0,300	0,750	0,020	0,000	0,050
	0,3	0,300	0,400	0,030	0,090	0,000
	0,6	1,000	0,600	0,165	0,740	0,300
	0,9	0,800	0,700	1,000	0,320	0,100
	1,1	0,700	1,000	0,850	0,320	1,000
Substrato (-)	Finos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Areia	0,200	0,000	0,750	0,000	0,000
	Gravilha	1,000	0,050	0,150	0,400	1,000
	Cascalho	0,400	0,275	0,000	0,175	0,800
	Pedras	0,400	0,250	0,300	0,350	0,800
	Blocos	0,200	1,000	0,700	0,950	0,600
	Rocha	0,100	0,750	1,000	1,000	0,000

Considerando os valores acima tabelados elaboraram-se as curvas de preferência presentes nos anexos (B.4) e que permitem comparar a diferença de preferência entre a mesma espécie no estado juvenil *versus* adulto, à exceção da Panjorca, para a qual a preferência apenas é apresentada para um estágio de vida.

6.3.4. GAMA DE CAUDAIS A MODELAR

De acordo com a identificação do problema e os objetivos do estudo acima descrito, considera-se pertinente a análise de uma gama de caudais compreendida entre 1,5 m^3/s e 5,5 m^3/s. Na realidade, o valor mínimo corresponde ao caudal de atração do sensor de peixes e está implementado em permanência, por outro lado o caudal ecológico definido para este aproveitamento é 4 m^3/s, estando implementado aquando do não funcionamento dos grupos. Estes dois valores de caudais combinados perfazem um total máximo de 5,5 m^3/s, a ser restituído a jusante da barragem.

De forma a caracterizar mais detalhadamente a evolução da adequação do troço às espécies, considerou-se o seguinte intervalo de caudais:

Tabela 6.3: Gama de caudais modelados no caso de estudo de Touvedo

Caudais modelados	1,5 m^3/s	2 m^3/s	3 m^3/s	4 m^3/s	5,5 m^3/s

6.4. RECOLHA DE DADOS

A recolha de dados engloba duas fases distintas, o levantamento topográfico dos pontos e a medição de caudais e níveis de água, para calibração do modelo.



Fig. 6.6: Localização dos pontos levantados e das medições efetuadas no trabalho de campo.

Ao chegar ao local, verificou-se que o aproveitamento não se encontrava a turbinar da parte da manhã, pelo que foi possível realizar medições de caudal nesse horário (1ª medição). Da parte da tarde também quando o caudal era da ordem dos 1,5 m^3/s fez-se uma 2ª medição. Em ambas as medições recorreu-se ao equipamento RiverRay, por se verificarem condições que justificavam a sua utilização e por no local escolhido a profundidade elevada não permitir a utilização do equipamento MF Pro. Ambas as medições efetuadas permitiram a obtenção de valores de caudais que se encontravam de acordo o expectável. No entanto, devido a condições operacionais, o nível de precisão dos perfis de velocidades não permitiam a calibração do modelo.

Relativamente ao levantamento topográfico, foi possível levantar cerca de 300 pontos caracterizando uma área de aproximadamente 60 metros. O local apresentava uma topografia bastante inconstante, com pedras de elevadas dimensões.

Durante o trabalho de campo realizaram-se observações de substrato de modo a classifica-lo de acordo com a tabela presente no capítulo 5 (Tabela 5.1.). Conclui-se que o substrato era relativamente constante

não apresentando variações consideráveis das margens para o interior do leito, sendo por isso classificado na sua totalidade como pedra.



Fig. 6.7: Fotografia do substrato do troço em estudo.

6.5. MODELAÇÃO BIDIMENSIONAL UTILIZANDO O RIVER2D

6.5.1. LEITO DO RIO

No caso de Touvedo, o procedimento relativo à edição do leito do rio foi o seguinte:

1. Definição do limite exterior (Fig.6.6)
2. Definição de uma rugosidade uniforme aplicada à totalidade da zona a modelar.
3. Criação de um ficheiro de terminação **.bed.*

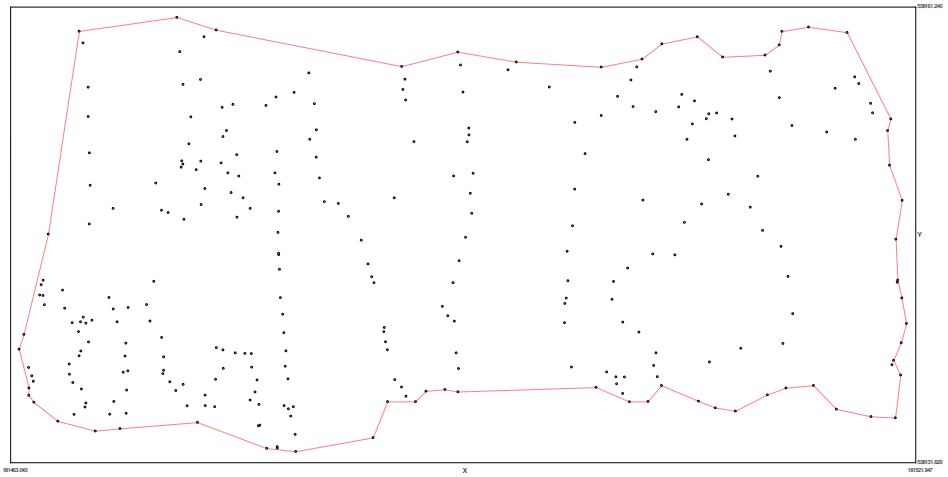


Fig. 6.8: Limites exteriores definidos para o estudo de caso de Touvedo.

A rugosidade foi definida como sendo constante em toda a área modelada e apresentando um valor de $n = 0{,}1$ s/m$^{1/3}$. A estimativa deste valor teve por base os parâmetros hidráulicos medidos no local e encontra-se explicitada no anexo B.4.

Mais adiante é realizada uma análise da sensibilidade do modelo à rugosidade de modo a calibrar o mesmo.

6.5.2. Definição da Malha

A definição da malha foi realizada recorrendo ao editor gráfico R2D_Mesh. Em primeiro lugar, definiram-se os nós nos limites exteriores anteriormente definidos; seguidamente, gerou-se um preenchimento uniforme de nós e um preenchimento específico em zonas de topografia mais complexa. Por fim definiu-se a secção de entrada e saída e gravou-se o ficheiro em formato **.cgd*.

O procedimento seguido para definição da malha encontra-se esquematizado na Fig. 5.16., sendo precedente à obtenção da malha apresentada na Fig. 6.9.

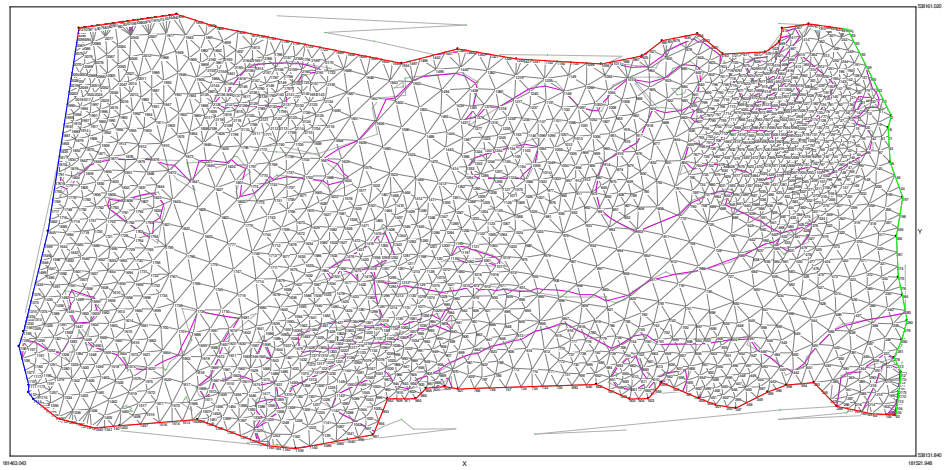


Fig. 6.9: Malha final definida para o caso de estudo

O ficheiro final possui 1353 nós, 2447 elementos e um *Quality Index* (QI) de 0,16, encontrando-se dentro dos valores aceitáveis tendo em conta o manual de utilizador do software [57].

6.5.3. Condições Fronteira

Para efetuar a modelação de escoamento o *software* requer a definição prévia das condições fronteira. Como referido anteriormente, a montante deve-se indicar o caudal e a jusante a cota da superfície livre correspondente ao caudal indicado. Deve ainda ser fornecido ao programa uma estimativa da cota da superfície livre a montante. Com este fim, recorreu-se à fórmula de *Manning-Strickler* e a parâmetros medidos no local, caudais e alturas de água correspondentes, para estimar a curva de vazão da secção de jusante, apresentada na Fig.6.10. Para tal, considerou-se uma largura média do trecho de 20 m e uma inclinação longitudinal de 1%. O processo de cálculo encontra-se explicitado no anexo B.4.

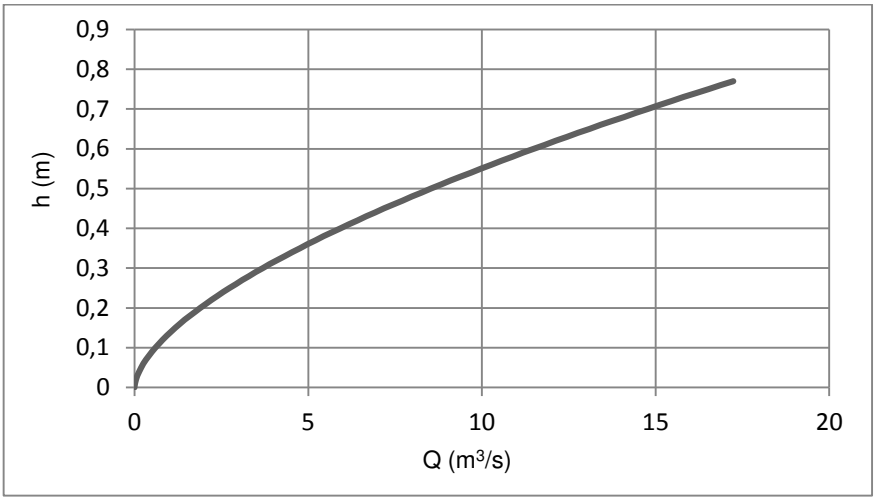


Fig. 6.10: Curva de vazão na secção de jusante.

As condições fronteira obtiveram-se tendo por base as alturas de escoamento estimadas (h) de acordo com a curva de vazão na secção de jusante. A estas alturas somam-se as cotas médias do fundo do leito na secção de montante e jusante (secções fronteira) explicitadas na Tabela 6.4, pelo que se obtem as condições presentes na Tabela 6.5.

Tabela 6.4: Cota média nas secções fronteira

Cota média (m)	
Secção Montante	23,312
Secção Jusante	22,946

Tabela 6.5: Valores considerados na definição das condições fronteira

Q (m^3/s)	**h (m)**	**Cota da Superfície Livre**	
		Cond. Jusante (m)	Est. Montante (m)
5,5	0,38	23,33	23,69
5,0	0,37	23,31	23,67
4,0	0,36	23,26	23,63
3,0	0,32	23,21	23,58
2,0	0,26	23,15	23,52
1,5	0,21	23,12	23,49

6.5.4. CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo foi realizada através de uma análise de sensibilidade do modelo à rugosidade. Esta análise foi efetuada para os caudais cujos parâmetros hidráulicos foram medidos no local, ou seja, 5,5 m^3/s e 1,5 m^3/s. Foram testados três valores de rugosidade: 0,05 $s/m^{1/3}$, 0,1 $s/m^{1/3}$ (valor de cálculo) e 0,2 $s/m^{1/3}$.

Os pontos exportados do modelo, de forma a obter os perfis de velocidade longitudinal e a cota da superfície livre, correspondem a uma secção localizada a meio do trecho, longitudinal ao escoamento e que se prolonga da secção de montante (entrada) à secção de jusante (saída).

Os resultados obtidos para o caudal de 5,5 m^3/s estão apresentados nas Fig.6.11 e 6.12 e para o caudal de 1,5 m^3/s nas Fig.6.13 e 6.14. ,

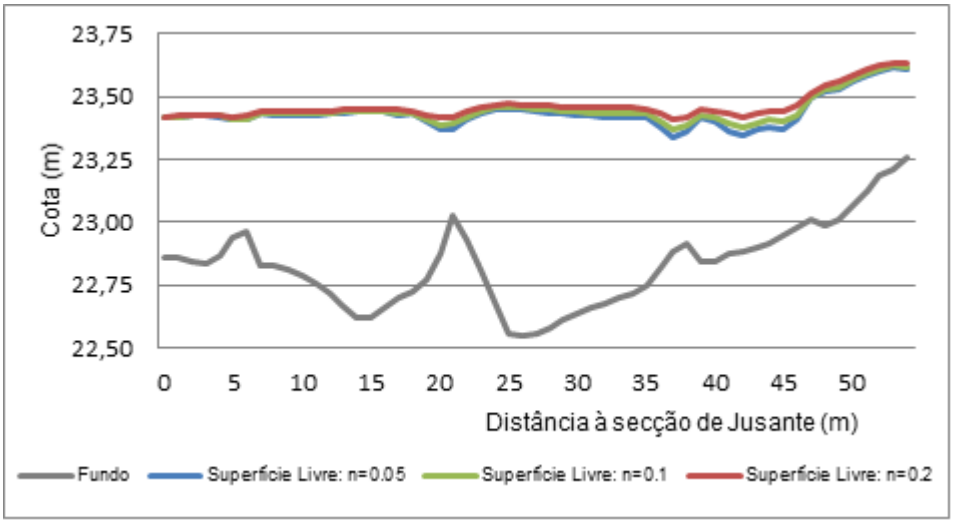


Fig. 6.11: Cota superfície livre para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 5,5 m^3/s.

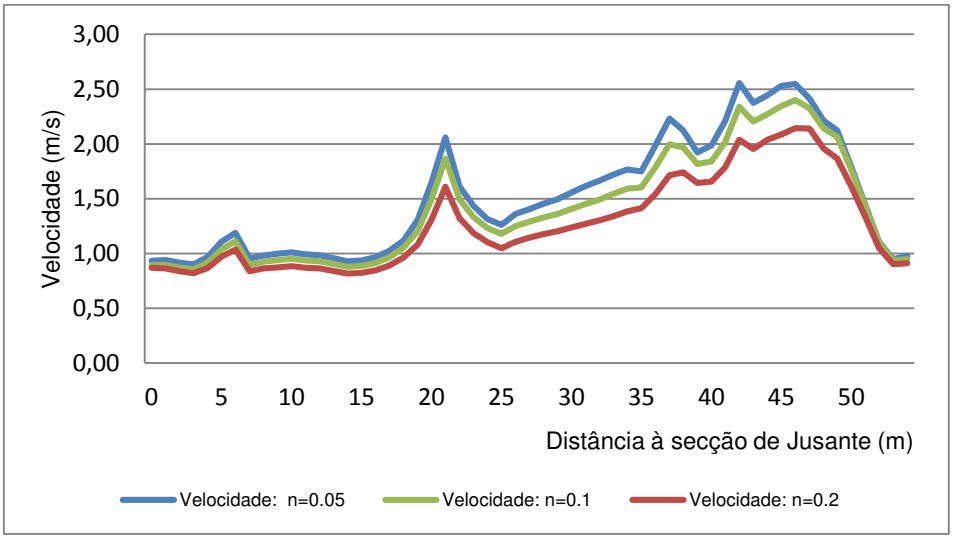


Fig. 6.12: Velocidade para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 5,5 m^3/s.

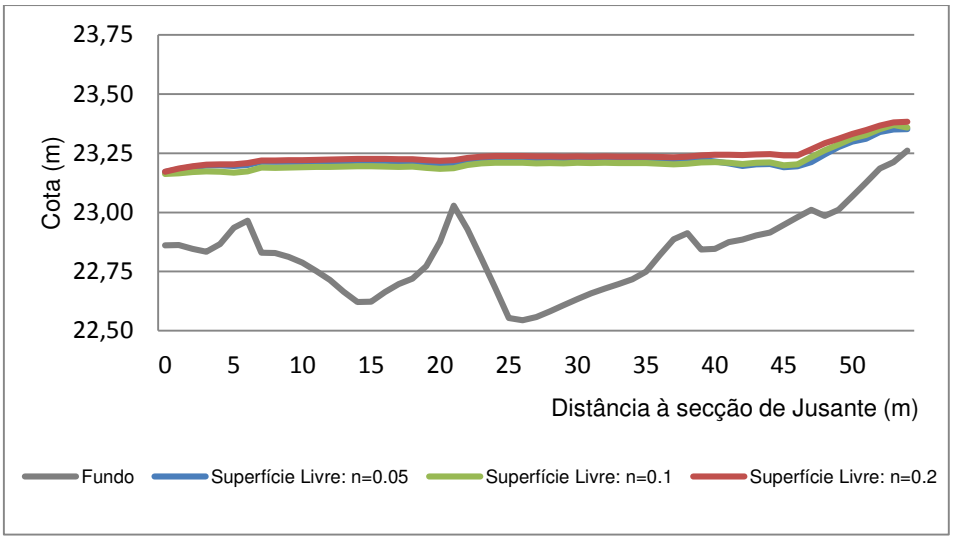


Fig. 6.13: Cota superfície livre para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 1,5 m^3/s.

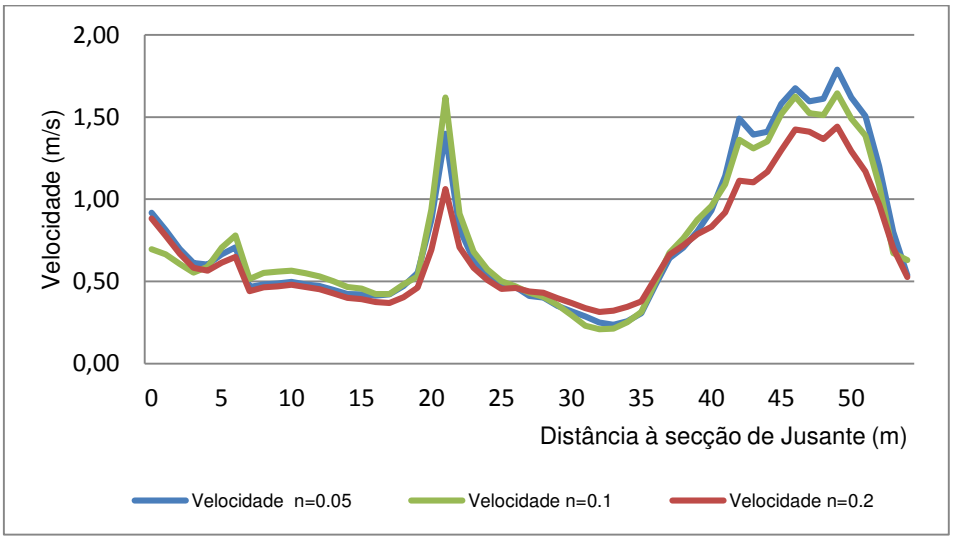


Fig. 6.14: Velocidade para diferentes valores de rugosidade para um caudal de 1,5 m^3/s.

A análise dos resultados obtidos permite concluir que a rugosidade tem uma influência maior na velocidade e na cota da superfície livre para valores de caudal superiores. No entanto, em ambos casos os valores obtidos são muito similares: no caso da cota da superfície livre a diferença máxima verificada é, aproximadamente, 0,030 m; no caso da velocidade, 0,6 m/s, o que demonstra a reduzida sensibilidade à rugosidade observada no presente caso.

Note-se que o valor de cálculo fixado ($n = 0{,}1$) corresponde também ao valor médio dos resultados obtidos, deste modo considera-se pertinente usar este valor para a modelação hidrodinâmica.

6.5.5. MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA

Após a calibração do modelo e afinação da malha, procedeu-se à modelação hidrodinâmica, sendo realizada para a gama de caudais atualmente existente no aproveitamento, entre 1,5 m^3/s e 5,5 m^3/s. As condições iniciais foram as mesmas para todos os casos de maneira a haver coesão entre os resultados obtidos (Fig. 5.7)

Uma vez que o processo de modelação hidrodinâmica é iterativo, considerou-se que a solução atingia a convergência para uma variação entre o $Q_{entrada}$ e o $Q_{saída}$ inferior a 0,1%.

A tabela 6.6 apresenta os resultados obtidos na modelação hidrodinâmica e em todos os caudais modelados não foi necessário recorrer a uma segunda iteração, o que revela um bom estabelecimento das condições iniciais.

Tabela 6.6: Resultados finais obtidos na modelação hidrodinâmica.

$Q_{entrada}$ (m^3/s)	$H_{entrada}$ (m)	$H_{saída}$ (m)	t_{final} (s)	$Q_{saída}$ (m^3/s)	ΔQ (%)
5,5	23,33	23,69	1099,056	5,50020	0,004
5	23,31	23,69	1000,552	5,00004	0,001
4	23,26	23,63	1096,459	4,00081	0,020
3	23,21	23,58	1082,116	3,00040	0,013
2	23,15	23,52	1004,034	1,99966	0,017
1,5	23,12	23,49	1048,090	1,50037	0,025

Note-se que o software revela maior facilidade em convergir para valores mais elevados de caudais, enquanto que para caudais mais baixos apresenta valores de ΔQ percentualmente superiores.

6.5.6. SIMULAÇÃO DE HABITAT

Após a simulação hidrodinâmica, para cada um dos caudais, foram inseridas as informações relativas à preferência das espécies relativamente à velocidade, profundidade e substrato. Foi também inserido um ficheiro relativo ao índice de canal que caracteriza o substrato, no qual se considerou que este era na sua totalidade da classe 5 (pedras), como anteriormente mencionado.

Os resultados obtidos são expressos nas figuras 6.15 a 6.20.

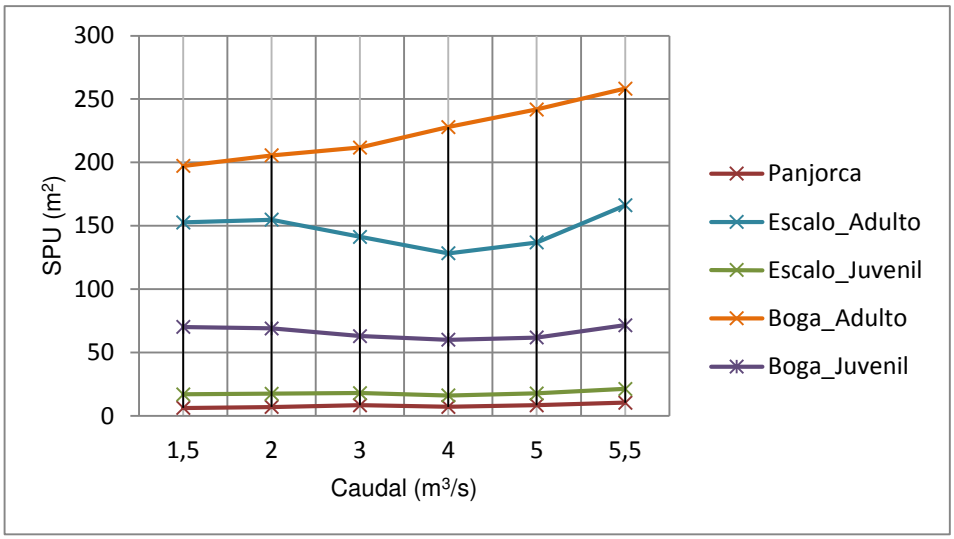


Fig. 6.15: Resultados da simulação de habitat para todas as espécies alvo.

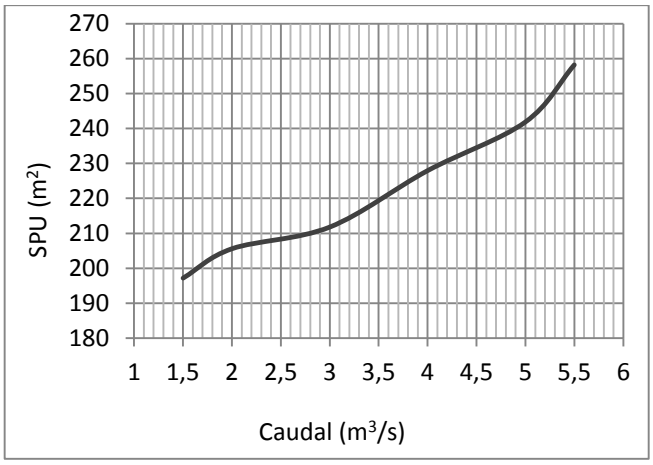


Fig. 6.16: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Adulto.

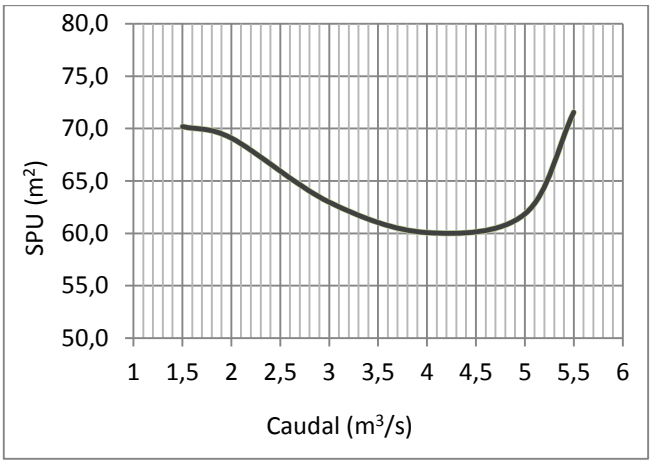


Fig. 6.17: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Juvenil.

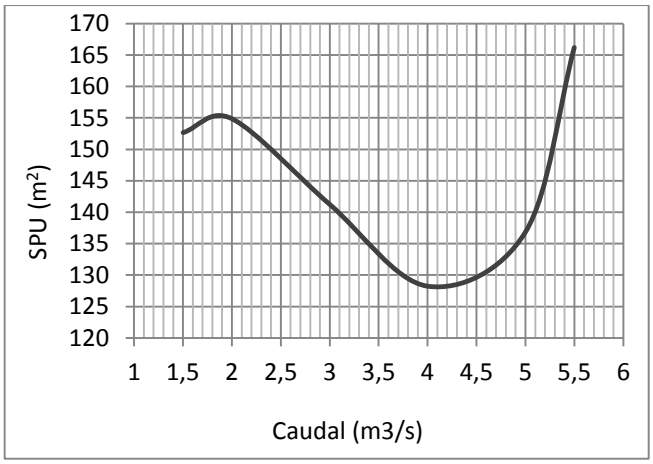


Fig. 6.18: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Adulto.

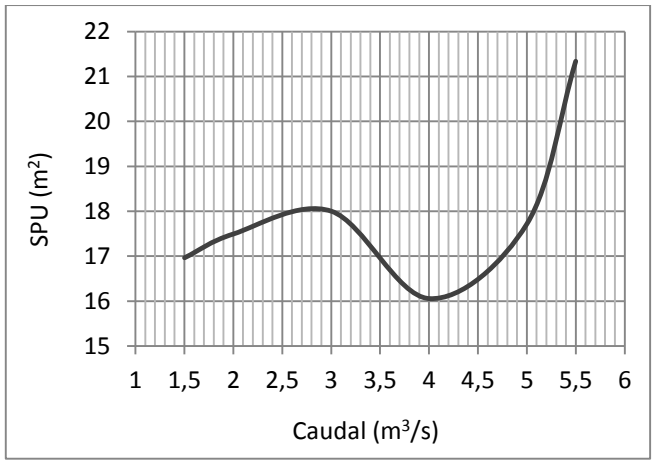


Fig. 6.19: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Juvenil.

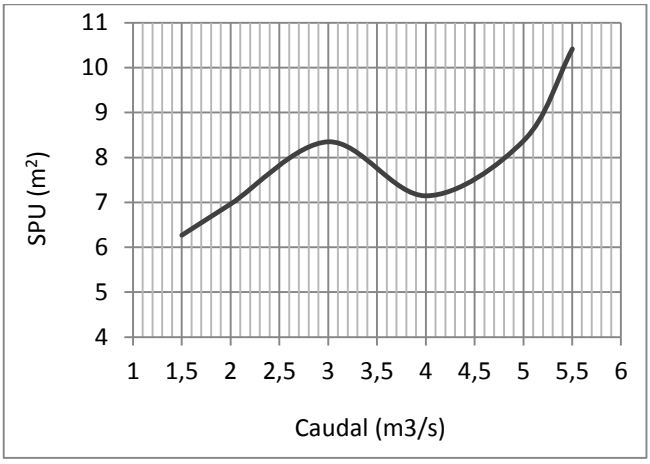


Fig. 6.20: Gráfico "SPU versus Q" para a Panjorca.

Após a análise dos gráficos anteriores e dos mapas apresentados no anexo B.7 conclui-se que os melhores resultados são obtidos para a Boga-comum em fase adulta. Esta espécie tem preferência, a nível da profundidade, pelo canal central apresentando índices na ordem dos 0,70. Apesar de apresentar alguma tolerância à variação da profundidade revela preferir ambientes de profundidades mais acentuadas. Relativamente à velocidade, para caudais mais baixos, a preferência distribui-se igualmente pela área, mas à medida que o caudal aumenta, a referida espécie revela uma preferência pela metade direita do troço na zona de montante, onde as velocidades são inferiores. O índice de aptidão combinada do habitat varia diretamente entre 0,30 e 0,70, com o incremento do caudal. Por outro lado, a mesma espécie em fase juvenil apresenta a mesma preferência relativamente à profundidade, preferindo a zona central do troço. No caso da velocidade os seus índices de preferência são superiores nas margens. A grande incompatibilidade de preferência surge a nível do substrato, resultando num índice de aptidão combinada bastante reduzido, entre 0,10 e 0,20.

O Escalo-do-norte adulto demonstra preferência por zonas onde a profundidade de escoamento é maior e as velocidades são menores, sendo que o pico de preferência de velocidade é atingido para um caudal de 3 m^3/s. À medida que o caudal ultrapassa este valor, o índice de aptidão combinada na metade direita do canal diminui progressivamente, o que resulta na consequente diminuição da superfície ponderada útil. No estágio juvenil a espécie revela preferência por profundidades ligeiramente inferiores apresentando índices altos na zona central do trecho. Pelo contrário a aptidão da velocidade apresenta índices superiores nas zonas adjacentes às margens. O índice relativo à aptidão do substrato também é baixo (entre 0,0 a 0,10) o que resulta em valores muito baixos de SPU.

Por fim, a Panjorca, é a espécie que apresenta piores resultados na aptidão do habitat. Este facto deve-se à preferência por profundidades superiores a 1 metro e a velocidades na ordem dos 0,1 m/s, o que raramente ocorre no troço. Apesar de ao nível do substrato os índices de preferência serem razoáveis (entre 0,5 e 0,6), os índices de preferência da velocidade e profundidade provocam uma aptidão combinada de praticamente zero em toda a extensão do troço.

6.6. CONCLUSÕES

A elaboração do presente caso de estudo permitiu tirar conclusões bastante relevantes para a elaboração de uma metodologia de análise.

Em primeiro lugar, relativamente à recolha de dados é necessário obter mais informação referente aos campos de velocidade de forma a calibrar o modelo de modo mais adequado. Assim sendo, deverá ser planeado um programa mais extenso e variado de medições hidráulicas.

A gama de caudais escolhida para a modelação permitiu uma boa perceção da relação entre adequação de habitat e o incremento de caudal. Deste modo conclui-se que, dependendo logicamente da extensão da gama a analisar, a discretização de valores de análise deverá ser capaz de permitir caracterizar detalhadamente a variação dos vários parâmetros analisados com o incremento do caudal.

A simulação hidrodinâmica apresentou resultados bastante satisfatórios, sendo a máxima diferença verificada entre o valor do caudal à entrada e o valor do caudal à saída de $\pm$0,025% para o caudal de 1,5 m^3/s.

Por fim, os resultados obtidos na simulação de habitat vão ao encontro do relatório do plano de monitoração do ascensor de peixes que apresenta a Boga como a espécie que mais utilizou este dispositivo. É também a que revela maior preferência pelo habitat. Do lado oposto encontra-se a Panjorca, que apresenta os piores coeficientes de adequação de habitat. A maioria das incompatibilidades das espécies analisadas ocorrem a nível da adequação do substrato, pelo que se sugere o estudo da possibilidade de alteração ou substituição do material que recobre o leito do rio nesta zona (por material de menor granulometria), medida que poderia otimizar o funcionamento do ascensor. É ainda de mencionar que se deverá evitar o lançamento de um caudal que perfaça um total de 4 m^3/s por existir um ponto de inflexão presente nas curvas SPU (Fig.6.15) na maioria das espécies analisadas. Acrescenta-se também que os resultados para um caudal total de 3 m^3/s, são bastante satisfatórios a nível de superfície ponderada útil.

7
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE RIBEIRADIO-ERMIDA

7.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O aproveitamento hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida surgiu no âmbito do Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico cuja estratégia passa por aumentar a produção de energia renovável, limpa e endógena, reduzindo a dependência energética face ao exterior do país. O projeto deste aproveitamento encontra-se em fase de execução estando previsto que a entrada em funcionamento ocorra no final do ano de 2014.

Utilizando Ribeiradio-Ermida como exemplo de um aproveitamento em fase de projeto ou execução, procura-se testar e aperfeiçoar a metodologia definida no capítulo 5. Para tal, percorrem-se todos os passos que permitem realizar a modelação hidrodinâmica do rio, orientada para a aplicação do IFIM, na ótica da proposta de um RCE. Deste modo e com o intuito de exemplificar a aplicação metodologia incremental, as fases de planeamento e análise prévia assumem um peso fundamental concretizando-se principalmente na realização de reconhecimentos prévios e campanhas que traduzam um planeamento do trabalho de campo o mais detalhado e rigoroso possível.

Comparativamente, este segundo caso de estudo apresenta um objetivo distinto do primeiro caso (Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo), apresentado no capítulo 6. Nesta situação procura-se analisar uma gama mais ampla de caudais com o fim de compreender a gama que melhor se adequa às espécies existentes. Na realidade, no caso de estudo de Touvedo a gama de caudais era menos ampla, por corresponder a uma regime já estabelecido cuja eficiência se pretendia avaliar.

7.2. ANÁLISE PRÉVIA

7.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE RIBEIRADIO-ERMIDA

Os objetivos principais do aproveitamento passam pela produção de energia e a satisfação das necessidades de água a jusante. Secundariamente, a respetiva a albufeira poderá apresentar usos turísticos e recreativos, assim como permitir a redução dos caudais máximos de cheia.

O escalão de montante, Ribeiradio, domina uma área hidrográfica com 945 km^2 e é constituído por uma barragem de betão gravidade com 83 m de altura, com coroamento à cota (112,0). A barragem encontra-se equipada com um descarregador de cheias, controlado por três comportas sector idênticas e que termina com num *roller bucket* com soleira dentada. Dispõe igualmente de um órgão de descarga de fundo, junto ao encontro da margem esquerda, controlado por uma comporta sector.

A central, em poço, contém um único grupo com potência nominal de 74,5 MW para um caudal nominal turbinado de 125 m^3/s.

O aproveitamento de Ermida constitui o escalão de jusante, e tem como principal função modular os caudais libertados por Ribeiradio, evitando variações bruscas do caudal lançado para jusante. A bacia hidrográfica dominada por este escalão é de 965 km^2. A barragem é também em betão gravidade, com uma altura de 35 m, com coroamento à cota (55,0). É equipada com um descarregador de cheias do tipo frontal, de lâmina aderente. A restituição é efetuada por meio de uma bacia de dissipação por ressalto munida de blocos de queda e de soleira terminal dentada.

A central encontra-se adossada ao encontro direito da barragem e alberga dois grupos com capacidade de turbinamento de 2×25 m^3/s, a que corresponde uma potência nominal de aproximadamente $2 \times 3{,}3$ MW.

As necessidades de água a satisfazer pelo aproveitamento situam-se a jusante da barragem e dizem respeito a utilizações industriais, agrícolas e de abastecimento público, representando, em média, menos de 10% das afluências anuais (estimadas com base em simulações hidrológicas, apoiadas nos escoamentos mensais registados no período de 47 anos compreendido entre 1954/55 e 2000/01).

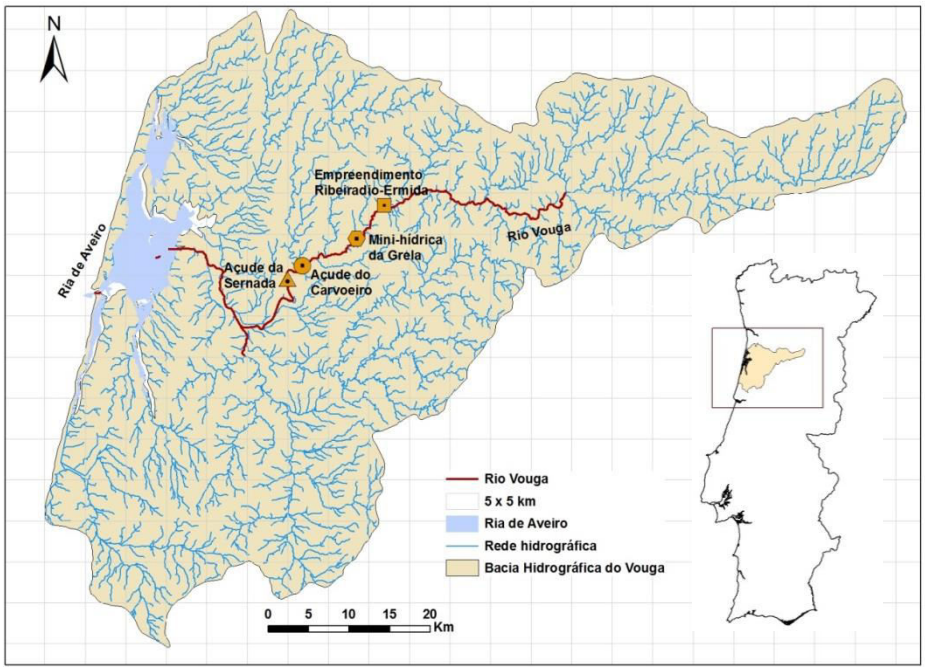


Fig. 7.1: Enquadramento do empreendimento de Ribeiradio-Ermida [.

7.2.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VOUGA

A bacia hidrográfica do Rio Vouga, localizada entre 40º 15' e 40º 57' de latitude (N) e 07º33' e 08º48' de longitude (WE) com uma orientação dominante E-W, cobre uma área de 36835 km^2. É limitada a norte pela bacia hidrográfica do Rio Douro e a sul pela bacia hidrográfica do Rio Mondego[64].

O Rio Vouga nasce na Serra da Lapa e desenvolve-se ao longo de 148 km. Desagua no Oceano Atlântico através da Ria de Aveiro. Os principais afluentes são na margem direita, os rios Sul, Caima e Antuã; e, na margem esquerda, o rio Águeda, com os seus afluentes, Cértima e Alfusqueiro[64].

A precipitação média anual ponderada em ano médio é 1302 mm, 521 mm em ano seco e 2019 mm em ano húmido. A temperatura média anual na bacia do Vouga é 13,9ºC. A distribuição de escoamento geralmente apresenta as mesmas características de ano para ano, com um semestre húmido, de Outubro

a Março, e um semestre seco, de Abril a Setembro. O mês com maior escoamento situa-se entre Dezembro e Março, em média. Por outro lado, o mês com menor escoamento fica compreendido, em média, entre Junho e Setembro[64].

Em relação aos tipos de solos, tendo por base a análise do Atlas do Ambiente, conclui-se que a maior parte dos solos desta região se forma através da alteração e desagregação dos materiais rochosos subjacentes. No que diz respeito à distribuição dos solos por classes de permeabilidade, 90% apresentam uma permeabilidade baixa a moderada[64].

Na bacia do Vouga as áreas sujeitas a maiores pressões situam-se no Baixo Vouga e as menos artificializados na zona de cabeceira dos cursos de água. Nestas predominam as áreas seminaturais com algumas manchas ocupadas por agricultura intensiva[64].

Segundo o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, distinguem-se as seguintes áreas classificadas com interesse conservacionista:

- Área Protegida – Reserva Natural das Dunas de São Jacinto;
- Sítios da Lista Nacional de Sítios:
    - Rio Vouga;
    - Dunas de Minas, Gândara e Gafanhas;
    - Serra da Freita e Arada;
    - Cambarinho;
- Zona de Proteção Especial para a Avifauna – ZPE da Ria de Aveiro.

O Sítio Rio Vouga é de todos o que apresenta maior interesse, por se encontrar ao abrigo da Diretiva Habitats (92/43/CEE) publicado em Resolução do Conselho de Ministros n.º 142/97 de 28 de Agosto, delimitado a montante pelo Açude da Grela, e a ZPE da Ria de Aveiro. O Sítio Rio Vouga foi assim classificado devido ao seu interesse conservacionista para as espécies migradoras diádromas que, com a exceção da enguia-europeia, estão todas incluídas nos Anexos II e V da Diretiva Habitats e no Anexo III da Convenção de Berna. É ainda relevante mencionar as Zonas Especiais de Proteção definidas pelo Instituto de Conservação da Natureza e Florestas[63].

a) Zonas de proteção, abrigo e desova, onde é proibido pescar, de forma a permitir o bom desenvolvimento das espécies:
    - Troço do Rio Caima, desde a Ponte Cortês, CM 1502, a montante, até à Ponte de Sernada na EM 575, a jusante, e ribeiras afluentes do Paço de Mato, Joguinho, Cabras e Cambalhão.

b) Zonas de pesca desportiva, com regulamento próprio, e onde só é permitida este tipo de pesca:
    - Um total de 18 concessões que se estendem ao longo da bacia hidrográfica do Rio Vouga e cuja localização e regulamentação podem ser consultadas no respetivo sítio da internet.

c) Zonas de pesca profissional, sujeitas a regulamento próprio no qual se estabelece as regras de exploração adequadas a cada pesqueiro, tendo em conta a especificidade dos métodos de pesca:

- Troço A – desde o açude do aproveitamento hidroelétrico da Grela, no lugar da Grela, freguesia de Pessegueiro do Vouga, concelho de Sever do Vouga, a montante, até à ponte do IP5, no lugar de Mata do Carvoeiro, freguesia de Macinhata do Vouga, concelho de Águeda, a jusante;
- Troço B – desde o açude de Sernada do Vouga (junto à Ponte de caminho de ferro), no lugar de Sernada do Vouga, freguesia de Macinhata do Vouga, concelho de Águeda, a montante, até à ponte do Vouga na EN 1, no lugar do Vouga, freguesia de Lamas, concelho de Águeda, a jusante;
- Troço C – desde a ponte da Fontinha na EM 577, no lugar de Fontes, freguesia de Alquerubim, concelho de Albergaria-a-Velha, a montante, até à ponte do caminho-de-ferro da linha do Norte, no lugar de Serrana, freguesia de Angeja, concelho de Albergaria-a-Velha, a jusante.

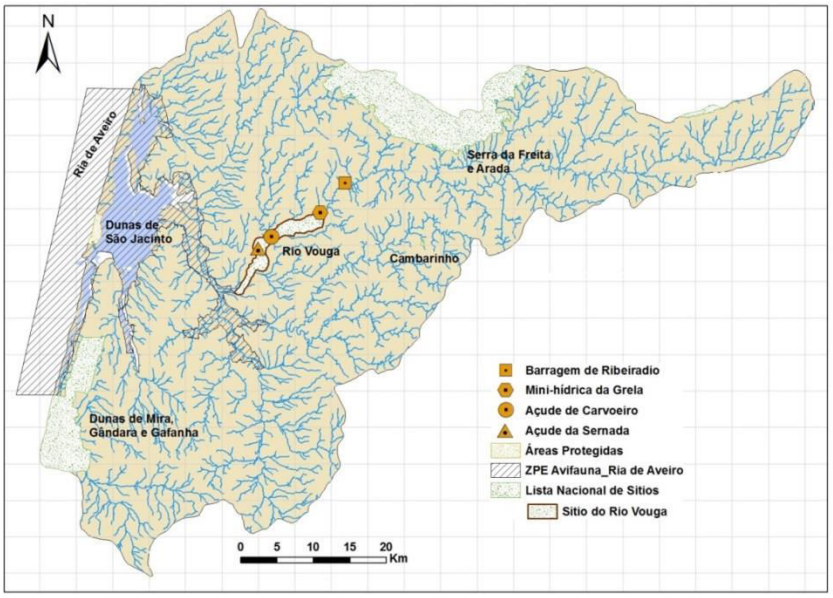


Fig. 7.2: Áreas classificadas com interesse conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga.

O plano de gestão da região hidrográfica (PGRH) de acordo com as tipologias definidas pela APA, enquadra o troço do rio Vouga compreendido na zona em estudo na tipologia *Rios do Norte de Média-Grande Dimensão* [64].

7.2.3. CARACTERIZAÇÃO DA COMUNIDADE ICTIOFAUNÍSTICA

A caracterização da comunidade piscícola foi realizada de acordo com o Estudo de Impacte Ambiental do Aproveitamento Hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida[65].

A caracterização da comunidade piscícola foi realizada com base em informação obtida na literatura e em trabalhos realizados na região pelos mesmos elementos que elaboraram o EIA. Para este fim utilizaram-se 6 estações de amostragem do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga (PBHRV), 29 estações de amostragem da DQA e 11 estações de amostragem do projeto AQUARIPORT – Programa

Nacional de Monotorização de Recursos Piscícolas e de Avaliação da Qualidade Ecológica de Rios, perfazendo um total de 46 pontos de amostragem[65].

O método de captura escolhido foi a pesca elétrica por ser considerado o mais expedito e eficaz na caracterização destas comunidades. A abundância de cada espécie nos pontos de amostragem foi avaliada segundo a seguinte escala: Ausente, Pouco Comum, Comum e Muito Comum.

O estatuto de conservação de cada espécie foi classificado segundo as Categorias da IUCN do Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal. As categorias respeitantes ao carácter ecológico – fenologia das espécies, advêm também do livro mencionado. Ambas designações encontram-se explicitadas no anexo A.

A exploração comercial dos recursos piscícolas é um dos principais fatores conducentes à depleção dos stocks. As medidas de conservação devem visar, em especial, os *taxa* mais procurados e cujo valor comercial é mais elevado. Apesar das espécies dulciaquícola terem um valor comercial muito baixo, os peixes migradores são bastante procurados. As espécies da bacia hidrográfica do Rio Vouga foram classificadas em três níveis diferentes: Reduzido ou sem valor comercial (€), valor comercial médio (€€) e elevado valor comercial (€€€).

A tabela 7.1 procura sintetizar toda a informação referente à caracterização ictiofaunística.

Tabela 7.1: Caracterização da Ictiofauna na bacia hidrográfica do Rio Vouga [65].

Taxa	**Nome Vulgar**	**Categoria**	**Tipo de Ocorrência**	**Valor comercial**	**Abundância no trecho em estudo**
Lampetra fluviatilis	Lampreia-de-rio	CR	MigRep	€	s/inf.
Lampetra planeri	Lampreia-de-riacho	CR	Res	€	s/inf.
Petromyzon marinus	Lampreia-marinha	VU	MigRep	€€€	Comum
Anguilla anguilla	Enguia-europeia	EN	Vis	€€€	Comum
Alosa alosa	Sável	EN	MigRep	€€€	s/inf.
Alosa fallax	Savelha	VU	MigRep	€€€	s/inf.
Barbus bocagei	Barbo-comum	LC	s/inf.	€€	Muito Comum
Chondrostoma oligolepis	Ruivaco	LC	Res / End	€	Muito Comum
Chondromstoma polypepis	Boga-comum	LC	Res	€	Pouco comum a Ausente
Cyprinus carpio	Carpa	NA	EndIb	€€	Ausente
Gobio gobio	Góbio	NA	NInd	€	Comum
Complexo de Squalius alburnoides	Bordalo	VU	Res / EndIb	€	Pouco comum a Ausente
Squalius carolitertii	Escalo do Norte	LC	Res / EndIb	€	Pouco comum a Ausente
Cobitis palúdica	Verdemã-comum	LC	Res / EndIb	€	Pouco Comum a Comum
Salmo trutta	Truta-de-rio	LC	Res	€€	Ausente
Atherina boyeri	Peixe-rei	DD	Res	€	Ausente
Gambusia hoolbrooki	Gambúsia	NA	NInd	s/inf.	Pouco comum a Ausente
Gasterosteus gymnurus	Esgana-gata	EN	MigRep / Res	€	Pouco comum a Ausente
Lepomis gibbosus	Perca-sol	NA	NInd	€	Pouco comum a Ausente
Micropterus salmoides	Achigã	NA	NInd	€€	Pouco comum a Ausente
Liza ramado	Muge	LC	Vis	€	Pouco comum a Ausente
Platichthys flesus	Solha-das-pedras	DD	Vis	€€	Comum

7.3. PLANEAMENTO

7.3.1. PLANIFICAÇÃO TEMPORAL

O presente caso de estudo requereu a escolha de um troço trecho a modelar, representativo do ecossistema em análise, pelo que se tornou imprescindível a realização de visitas de reconhecimento. Nessas mesmas visitas tornou-se possível constatar a forte dependência entre as condições meteorológicas e a viabilidade da realização da recolha de dados, dado ter ocorrido um ano hidrológico húmido, com período de afluências elevadas mais prologado do que a média.

A tabela 7.2 apresenta uma calendarização das atividades a realizar de acordo com o tempo necessário para cada uma delas.

Tabela 7.2: Calendarização das atividades para a implementação da metodologia.

Tarefas	Tempo Necessário	Calendarização
Análise Prévia	2 semanas	3 – 13 de Março
Planeamento: • Visitas Reconhecimento	2 dias	14 de Março 24 de Abril
Recolha de Dados	1 dia	2 de Junho
Tratamento de dados	2/3 dias	3-4 de Junho
Edição do Leito do Rio E criação da Malha	1 dia	5 de Junho
Estabelecimento das condições fronteiras	1 dia	6 de Junho
Simulação Hidrodinâmica Inclui calibração do modelo (análise dos campos de velocidades)	1,5 semanas	9-17 de Junho
Simulação de Habitat	3 dias	18-20 de Junho

7.3.2. TRECHO A MODELAR

A escolha do trecho a modelar baseou-se em dois aspetos: primeiro, na delimitação proposta, segundo estudos desenvolvidos pela EDP, para troço de água fortemente modificado e, em segundo lugar, nas visitas de reconhecimento.

Para efeitos do estudo considerou-se um trecho localizado entre o Açude da Sernada, a jusante, e o aproveitamento hidroelétrico da Grela, a montante. Este encontra-se inserido numa massa de água fortemente modificada, segundo perceção preliminar que a EDP detém relativamente a este aproveitamento hidroelétrico. De referir que a escolha como limite a jusante do açude da Sernada se dever ao facto de, até ao momento, esse açude constituir um obstáculo à migração da ictiofauna, apesar de estar prevista a remoção dessa estrutura. Entre os dois limites referidos encontra-se o açude do Carvoeiro, que limita a migração de algumas espécies piscícolas; no entanto, a EDP está a estudar como

medida de minimização, no âmbito da construção do AH de Ribeiradio e Ermida, a implantação de uma passagem de peixes nesta estrutura, o que permitirá reduzir significativamente o atual impedimento à migração.

No trecho mencionado, a margem esquerda apresenta-se mais íngreme e naturalizada. A ocupação nesta é maioritariamente florestal (zonas eucaliptos, vegetação ribeirinha e matos). Por outro lado, na margem direita, a pressão antrópica é notória, nomeadamente, pela existência de várias zonas habitacionais, uma estrada que acompanha o desenvolvimento em planta do rio – N16 e uma linha de caminho-de-ferro desativada. Refere-se ainda a existência de espécies vegetais exóticas, algumas delas de caráter invasor [65].

7.3.3. VISITAS DE RECONHECIMENTO

No total foram realizadas duas visitas de reconhecimento. Para a primeira visita, a 14 de Março, elaborou-se previamente um mapa com os locais julgados potencialmente interessantes para efeito de modelação de escoamentos. Procuraram-se essencialmente locais onde existisse uma variação de mesohabitat, evitando-se locais cujas profundidades ou larguras excessivas impossibilitassem o trabalho de campo. Com esta finalidade, recorreu-se a imagens de satélite e fotografias para selecionar os locais mencionados, obtendo-se o mapa apresentado na Fig.7.3, onde, a verde, se representam os locais cujo acesso foi considerado fácil e, a vermelho, os locais de acesso dificultado.

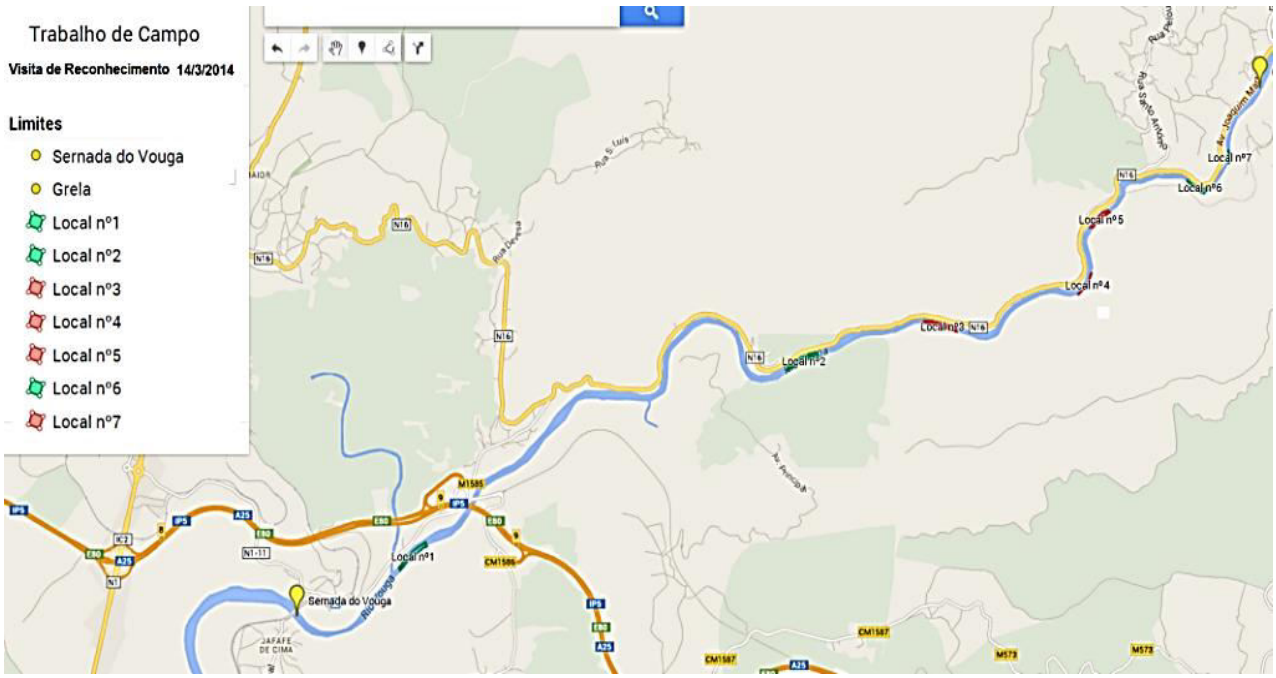


Fig. 7.3: Mapa dos locais a visitar.

Durante a visita foram registadas as principais características e particularidades de cada um dos locais selecionados anteriormente. Posteriormente elaboraram-se fichas que sintetizavam toda esta informação, encontrando-se estas no anexo C.1.2.

No final da primeira visita de reconhecimento, a escolha do troço recaiu em apenas quatro dos locais visitados, nomeadamente, os locais 1, 2, 4 e 6. Este último foi considerado o preferido para a modelação, pela passagem acentuada de *pool* a *riffles*, mostrando uma variação de habitat significativa. Qualquer

um dos locais visitados não apresentava, então, condições para ser modelado a curto prazo, devido aos elevados caudais observados, que se traduziam em zonas de elevada profundidade ou de velocidades muito elevadas, o que impedia o necessário registo de dados.

A referida visita teve também como objetivo a experimentação do equipamento escolhido para a recolha de dados, pelo que se procurou testar no local 1 o *Trimble R8* e no local 4 o *MF Pro*.



Fig. 7.4: Local onde foi realizado o teste do levantamento topográfico (Local nº1).



Fig. 7.5: Teste do equipamento: Trimble R8 (Local nº1).

Como anteriormente mencionado, a primeira visita revelou a existência de caudais que impossibilitavam a realização a curto prazo dos trabalhos de campo necessários. Estes caudais deviam-se, essencialmente, às condições atmosféricas (fortes precipitações, durante várias semanas). Foi, então, necessário realizar uma segunda visita de reconhecimento agendada para 24 de Abril, na qual se equacionou a hipótese de modelar um troço inserido num dos afluentes do Vouga, mais especificamente no rio Caima, inserindo-o nos locais a visitar.



Fig. 7.6: Mapa para a segunda visita de campo. Localização do trecho no Caima a considerar.

De facto, nessa segunda visita, constatou-se que ainda não estavam reunidas as condições para a realização imediata da recolha de dados em qualquer um dos locais previamente indicados. O trecho indicado do rio Caima foi visitado conforme previsto, tendo-se concluído que este apresentava condições ainda mais adversas à realização do trabalho de campo, comparativamente aos troços anteriormente visitados no Vouga. As dificuldades relacionaram-se nomeadamente com elevadas profundidades, existência de substrato constituído essencialmente por areia fina, que tornava o acesso e a progressão muito difícil, por ser muito instável, e ainda falta de variação de mesohabitats.

Posteriormente, a recolha de dados ficou então decidida para a secção nº6, zona a cerca de 500 metros a jusante do AH da Grela, e agendada a correspondente visita para o dia 2 de Junho. Devido à possibilidade de regulação de caudais através da descarga de fundo da barragem de Ribeiradio, foi feita uma análise do tempo que estaria disponível para realizar o trabalho de campo, caso se revelasse necessária uma diminuição forçada do caudal, o que acabou por se concretizar. A análise mencionada encontra-se no anexo C.2.2.

7.3.4. ESPÉCIES-ALVO

Após a caracterização da ictiofauna realizou-se um exercício de possível escolha de espécies-alvo para o estudo, exemplificando assim a aplicação do IFIM para a determinação do RCE. Este exercício foi realizado tendo em consideração as informações apresentadas no ponto 7.2. Desta forma, e tendo como ponto de partida a tabela 7.1, considerou-se o seguinte processo:

1º Eliminação dos *taxa* sem informações relativas à abundância;

2º Eliminação dos *taxa* sem informações relativas ao estado de conservação (NA, NE, DD) ou Tipo de Ocorrência;

3º Preferência pelos *taxa* de valor comercial elevado;

4º Preferência pelos *taxa* pertencentes a uma categoria de risco mais acentuado.

A aplicação dos critérios supracitados resultou a ordenação apresentada na Tabela 7.2, onde, de forma expedita, é exemplificada a escolha das espécies alvo para o estudo.

Tabela 7.3: Exemplificação de escolha de espécies alvo.

	Taxa	**Nome Vulgar**	**Categoria**	**Tipo de Ocorrência**	**Valor comercial**	**Abundância no trecho em estudo**
1º	*Petromyzon marinus*	Lampreia-marinha	VU	MigRep	€€€	Comum
2º	*Anguilla anguilla*	Enguia-europeia	EN	Vis	€€€	Comum
3º	***Salmo trutta***	**Truta-de-rio**	**LC**	**Res**	**€€**	**Ausente**
4º	*Complexo de Squalius alburnoides*	Bordalo	VU	Res / Endlb	€	Ausente a Pouco Comum
5º	*Gasterosteus gymnurus*	Esgana-gata	EN	MigRep / Res	€	Ausente a Pouco Comum
6º	*Chondrostoma oligolepis*	Ruivaco	LC	Res / End	€	Muito Comum
7º	*Cobitis palúdica*	Verdemã-comum	LC	Res / Endlb	€	Comum a Pouco Comum
8º	***Chondromstoma polypepis***	**Boga-comum**	**LC**	**Res**	**€**	**Ausente a Pouco Comum**
9º	***Squalius carolitertii***	**Escalo do Norte**	**LC**	**Res / Endlb**	**€**	**Ausente a Pouco Comum**
10º	*Liza ramado*	Muge	LC	Vis	€	Ausente a Pouco Comum

Aplicando esta metodologia verifica-se que os *taxa* mais indicados para o estudo seriam a lampreia-marinha e a enguia-europeia, devido ao valor comercial e ao risco de conservação. O facto de serem comuns no trecho em estudo é um indicativo que este apresenta características que se respondem positivamente às exigências das espécies.

Entretanto, e dado que a presente dissertação não tem como objetivo a determinação das curvas de preferência das espécies, para efeitos da simulação de habitat o estudo foi restringido às curvas existentes e anteriormente definidas por especialistas.

As espécies alvo consideradas são a Truta de rio, a Boga-Comum e o Escalo do Norte. Assim, inclui-se um representante dos Salmonídeos (Truta-de-rio) e dois dos Ciprinídeos (Boga-Comum e Escalo do Norte). Para cada uma das espécies consideraram-se dois estágios de vida: juvenil e adulto.



Fig. 7.7:Exemplar de Escalo do Norte. Fonte: [65].



Fig. 7.8:Exemplar de Truta de Rio. Fonte: [65].



Fig. 7.9:Exemplar de Boga comum. Fonte: [65].

As curvas de preferência da Truta-de-rio e Escalo do Norte foram elaboradas pela AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda. no âmbito dos Estudos Ambientais para determinação de regime de caudais ecológicos para barragens inseridas na bacia hidrográfica do Cávado [27], desenvolvidos para a EDP - Gestão da Produção, S.A. As curvas referentes à Boga têm origem em Estudos Ambientais

similares realizados para determinação de regime de caudais ecológicos para barragens inseridas na bacia hidrográfica do Mondego [66], e que foram realizados pela NEMUS, Gestão e Requalificação Ambientar, Lda. Neste caso, foi considerado que a curva de preferência da Pseudochondrosoma spp. (Boga), presente no estudo realizado pela NEMUS, era representativa das preferências da espécie Chondromstoma polypepis (Boga-comum) identificada na zona em estudo.

Os critérios de preferência para as espécies mencionadas encontram-se explicitados na Tabela 7.4.

Tabela 7.4:Critérios de preferência (entre 0 e 1) das espécies-alvo.

		Escalo Juvenil $< 90\ mm$	**Escalo Adulto** $> 90\ mm$	**Truta Juvenil** $< 120\ mm$	**Truta Adulto** $> 120\ mm$	**Boga Juvenil** $< 120\ mm$	**Boga Adulto** $> 120\ mm$
Velocidade (m/s)	**0,0**	1,000	0,280	0,000	0,250	0,000	0,000
	0,1	0,330	1,000	0,270	0,390	0,900	0,300
	0,3	0,050	0,400	0,210	0,490	0,875	1,000
	0,5	0,000	0,000	0,170	0,500	1,000	0,000
	0,7	0,000	0,000	0,880	1,000	0,000	0,000
	0,9	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	1,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Profundidade (m)	**0,0**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,1	0,020	0,000	0,340	0,170	0,100	0,100
	0,3	0,030	0,090	0,940	1,000	0,900	0,175
	0,5	0,120	1,000	1,000	0,840	0,925	0,400
	0,7	0,210	0,480	0,480	0,310	1,000	0,500
	0,9	1,000	0,320	0,320	0,520	0,900	0,550
	1,1	0,850	0,320	0,320	0,520	0,975	1,000
Substrato (-)	**Finos**	0,000	0,220	0,750	0,100	0,000	0,000
	Areia	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,425
	Gravilha	0,080	0,130	0,050	0,060	0,875	0,175
	Cascalho	0,060	0,300	0,120	0,230	0,625	0,225
	Pedras	0,030	0,170	0,450	0,340	1,000	1,000
	Blocos	0,560	0,490	0,110	0,100	0,625	0,975
	Rocha	0,190	0,110	0,030	0,100	s/inf.	s/inf.

Tendo em conta os valores acima tabelados foi possível elaborar as curvas de preferência presentes no anexo C.

7.3.5. GAMA DE CAUDAIS A MODELAR

No presente caso de estudo, a escolha de gama de caudais a modelar procurou ser mais abrangente que no caso de estudo de Touvedo, em que apenas foi modelada a gama de caudais implementados. Assim, e atento a que a proposta de Regime de Caudais Ecológicos apresentada na Declaração de Impacte

Ambiental (DIA) corresponde à gama entre 0,3 m^3/s e 11,6 m^3/s (Tabela 7.5), na presente dissertação optou-se por analisar um intervalo mais amplo, que vai de 0,1 m^3/s a 17 m^3/s (Tabeça 7.6)

Tabela 7.5: Regime de Caudais Ecológicos propostos da DIA.

	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Q (m^3/s)	0,3	1,32	3,44	5,1	7,81	11,6	6,52	3,84	3,04	1,88	0,55	0,19

Tabela 7.6: Gama de caudais modelados no caso de estudo de Ribeiradio-Ermida

Caudais modelados	0,1 m^3/s	1 m^3/s	3 m^3/s	6 m^3/s	9 m^3/s	12 m^3/s	15 m^3/s	17 m^3/s

7.4. RECOLHA DE DADOS

A recolha de dados remete essencialmente ao levantamento topográfico e à medição de caudais, de níveis e de velocidades. Os procedimentos mencionados foram realizados num dia, e tiveram início com a colocação de escalas, no momento de chegada ao local, de forma a controlar descidas e subidas do nível de água que se fizessem sentir ao longo do dia.

7.4.1. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

O levantamento topográfico consistiu no levantamento de um total de 382 pontos. De referir que se verificaram dificuldades relacionadas com a captação de sinal dos satélites, para as medições efectuadas na margem esquerda do canal, obtendo-se uma precisão quer vertical quer horizontal menor que a conseguida para as medições efectuadas na margem direita. Adicionalmente ao levantamento efectuado, anotaram-se diversos pormenores relativos às características do local, similarmente ao representado na figura 7.10.

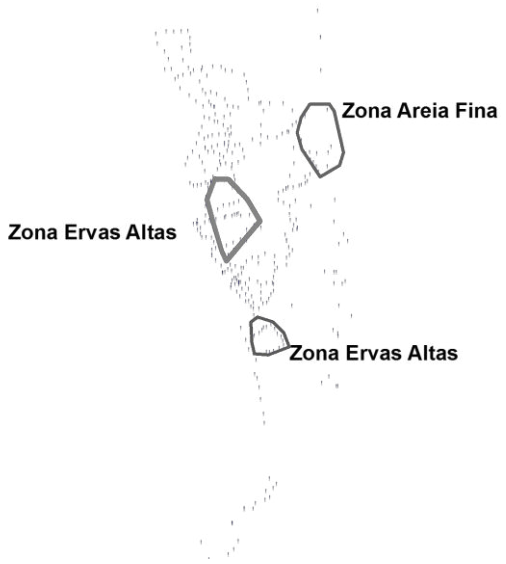


Fig. 7.10: Características observadas no local.

7.4.2. MEDIÇÃO DE CAUDAIS

O trabalho de campo também teve em vista a obtenção de perfis de velocidade que, numa fase posterior, foram comparados com os valores, nomeadamente de velocidade e cota superfície livre, obtidos através do modelo, de forma a calibrar o mesmo. As zonas nas quais foram feitas as medições de caudais foram devidamente georreferenciadas de modo a facilitar a sua localização no *River2D*, para extração de pontos. O primeiro perfil de velocidades assim como as medições isoladas foram realizadas com recurso ao MF Pro, enquanto que o 2º perfil utilizou-se o RiverRay. Na figura 7.10 apresenta-se a localização das medições efetuadas no trabalho de campo.

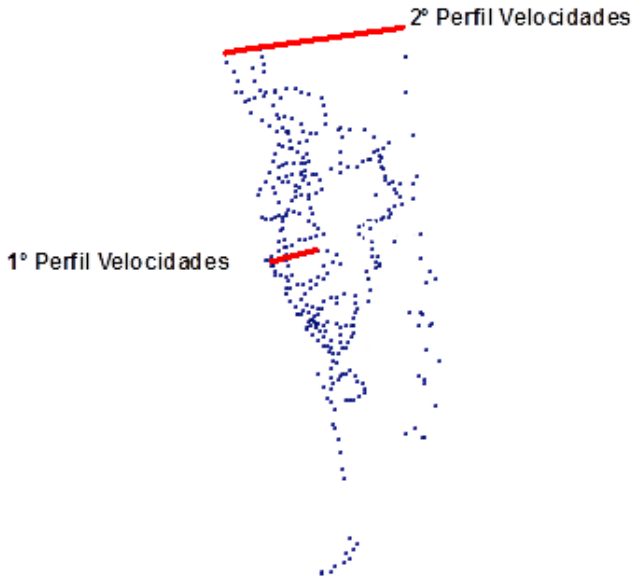


Fig. 7.11: Medições efetuadas no troço em estudo

O 1º perfil de velocidades, assinalado na figura 7.11 e apresentado na figura 7.12, corresponde a uma extensão de aproximadamente 12 metros situada na margem direita do trecho. Como mencionado anteriormente, esta medição teve como objetivo permitir a calibração do modelo e recorreu-se ao MF Pro. Originalmente pretendia-se obter o perfil de toda a largura do canal, no entanto as condições locais não o permitiram devido às elevadas velocidades verificadas na margem esquerda.

Para este perfil, foram efetuadas duas medições distintas, uma às 10h30 para um caudal de cerca de 17 m^3/s, e outra às 15 horas para um caudal de aproximadamente 6 m^3/s. Na medição da manhã foram retiradas um total de onze verticais, com um espaçamento constante entre elas de 1 m. No caso da medição efetuada à tarde, o espaçamento entre verticais foi de 2 m, o que perfez um total de 6 verticais. Note-se que a cada vertical corresponde a uma estação de medição. Os dados referentes a esta medição encontram-se detalhados no anexo C.2.4.

Relativamente ao 2º perfil (Fig.7.13), este foi obtido recorrendo ao equipamento *River Ray*, o que permitiu caracterizar na totalidade o perfil de velocidades na secção de montante (entrada). Esta medição foi realizada por volta das 9h30, para um caudal de 17 m^3/s. As informações relativas a este perfil estão detalhadas no anexo C.2.5.

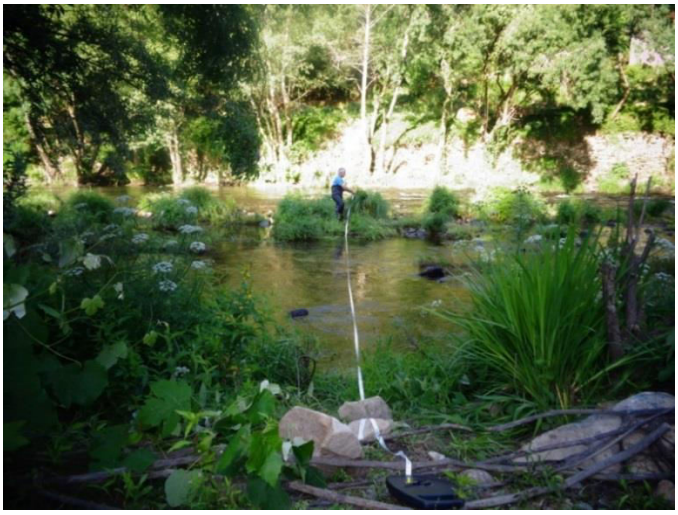


Fig. 7.12: Medição do 1ºPerfil de velocidades utilizando o MF Pro.



Fig. 7.13: Medição do 2º Perfil de velocidades recorrendo ao *River Ray.*

7.5. MODELAÇÃO BIDIMENSIONAL UTILIZANDO O RIVER2D

7.5.1. LEITO DO RIO

O leito do rio foi caracterizado tendo por base os pontos levantados e pontos adicionados ao modelo tendo por base os dados resultantes do 2º perfil de velocidades. Como previsto, foram definidos os limites exteriores.

Numa primeira aproximação atribui-se uma rugosidade uniforme de 0,05 s/m$^{1/3}$ aplicada a toda a área de modelação. O valor escolhido teve por base um método de cálculo semelhante ao aplicado no caso de estudo de Touvedo, e encontra-se detalhado no anexo C.4.

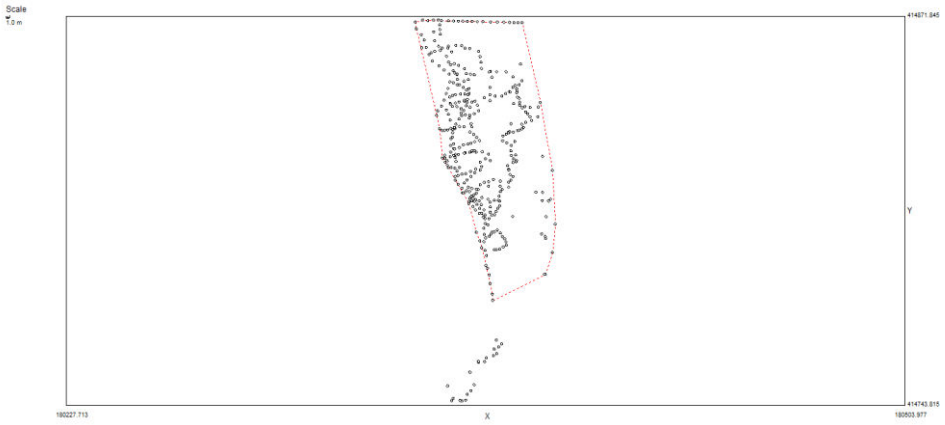


Fig. 7.14: Limites exteriores definidos no R2D_Bed.

7.5.2. DEFINIÇÃO DA MALHA

A malha foi definida tendo por base o procedimento esquematizado na Fig. 5.16. O resultado final encontra-se na representado na Fig. 7.15 No total foram definidos 3190 nós, 5831 elementos, obtendo-se uma malha que apresentava um Quality Index de 0,42.

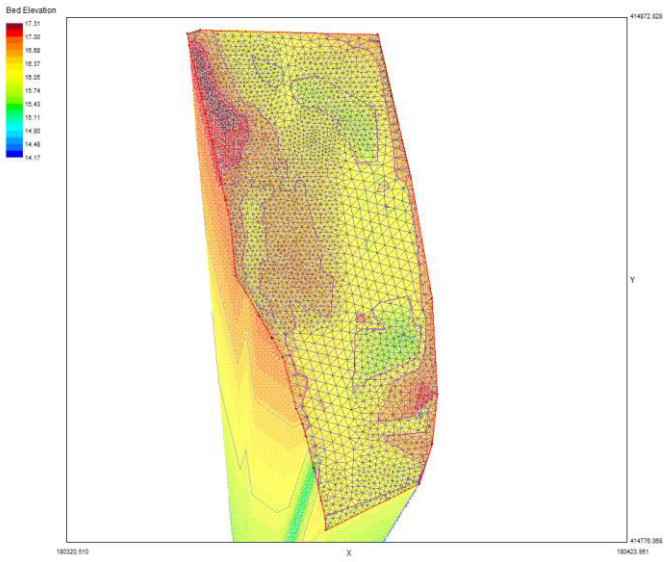


Fig. 7.15: Malha final definida no R2D_Mesh.

7.5.3. CONDIÇÕES FRONTEIRA

Como anteriormente já mencionado, torna-se necessário definir as condições fronteira para toda a gama de caudais a analisar. Com essa finalidade recorreu-se à fórmula de *Manning-Strickler* e aos parâmetros medidos para estimar a curva de vazão da secção de jusante, para tal considerou-se uma largura constante de 17 metros na secção de jusante e uma inclinação de 1,5%, obtida de acordo com os dados topobatimétrico, pelo que se obteve a curva de vazão presente na figura 7.16.

Devido à inconstância na largura do trecho, determinou-se também a curva de vazão na secção de montante, para a qual se considerou uma largura de 35 metros e uma inclinação de 1,5%.

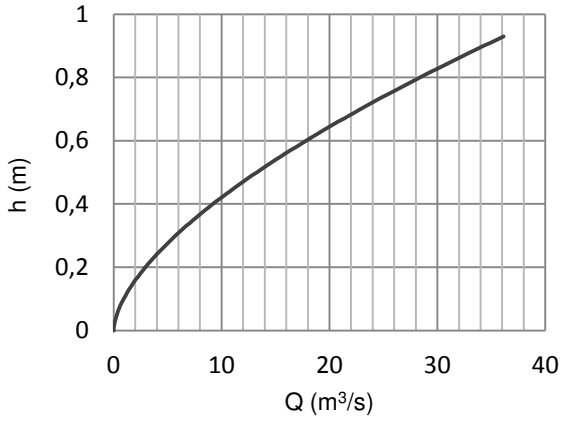


Fig 7.16: Curva de vazão estimada para a secção de jusante.

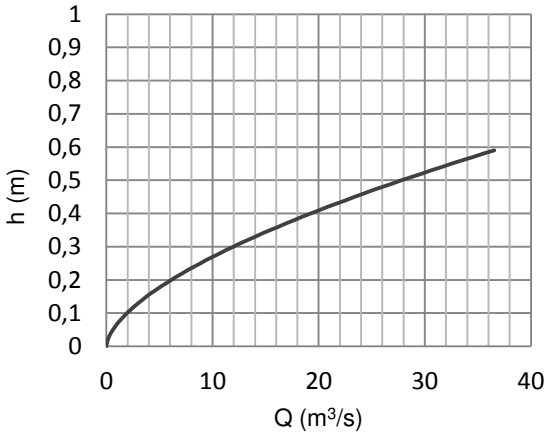


Fig 7.17: Curva de vazão estimada para a secção de montante.

As condições fronteira obtiveram-se tendo por base as alturas de escoamento estimadas para montante (h_{mont}) e jusante (h_{jus}) de acordo com as curvas de vazão correspondentes. A estas alturas somam-se as cotas médias do fundo do leito na secção de montante e jusante (secções fronteira) explicitadas na Tabela 7.7, pelo que se obtêm as condições presentes na Tabela 7.8. Deste modo estimou-se a altura de água correspondente a cada um dos caudais analisados.

Tabela 7.7: Cota média nas secções fronteira

Cota média (m)	
Secção Montante	16,520
Secção Jusante	15,930

Tabela 7.8: Condições fronteira a inserir no River2D

Q (m^3/s)	**h_{MON} (m)**	**H_{JUS} (m)**	**Cota da Superfície Livre (m)**	
			Cond. Jus (m)	Est. Mon. (m)
17,00	0,587	0,374	16,517	16,894
15,00	0,543	0,346	16,473	16,866
12,00	0,474	0,303	16,404	16,823
9,00	0,397	0,254	16,327	16,774
6,00	0,310	0,199	16,240	16,719
3,00	0,204	0,131	16,134	16,651
1,00	0,105	0,068	16,035	16,588
0,100	0,026	0,016	15,956	16,537

7.5.4. CALIBRAÇÃO DO MODELO

Numa fase inicial, analisou-se a sensibilidade do modelo à variação da rugosidade para valores que correspondiam a metade e ao dobro do valor estimado (n=0,05 $s/m^{1/3}$). Obtiveram-se os resultados apresentados nas Fig. 7.17 e 7.18 para um caudal de 17 m^3/s.

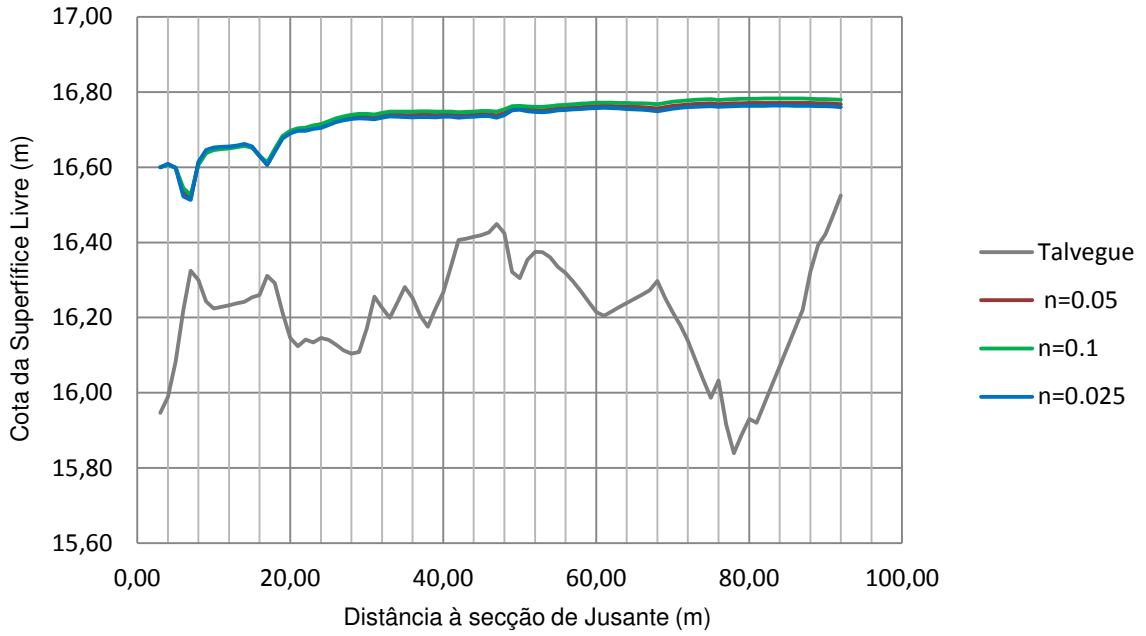


Fig. 7.18: Sensibilidade do modelo à variação da rugosidade para a cota da superfície livre

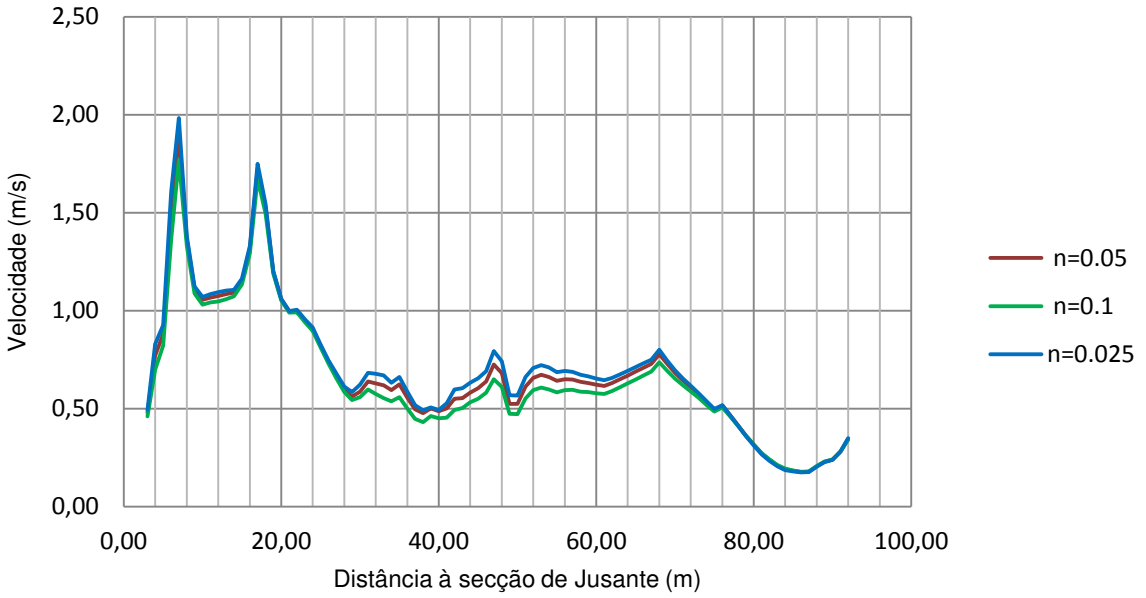


Fig. 7.19: Sensibilidade do modelo à variação da rugosidade para a velocidade

O perfil longitudinal em análise localiza-se aproximadamente no centro do trecho modelado. Os gráficos, apresentados nas Fig. 7.17 e 7.18, permitem concluir que não existem variações significativas para a gama de rugosidade avaliada, sendo que o valor médio é 0,05 $s/m^{1/3}$, o qual corresponde ao valor de cálculo inicialmente adotado.

Numa fase posterior utilizaram-se os dados provenientes das medições de caudal com o propósito de melhorar a calibração e verificar a fiabilidade do modelo à representação de realidade. O processo foi iterativo, tendo-se alterado os valores da rugosidade no editor gráfico *R2B_Bed* até os perfis de velocidade medidos e simulados coincidirem ou se aproximarem com uma diferença que considerasse aceitável. Procurou-se definir a rugosidade por polígonos, sendo que estes foram definidos tendo em consideração as observações do local e apresentadas na Fig. 7.10. No final, obtiveram-se resultados bastante satisfatórios, que se encontram resumidos no anexo C.5. As figuras 7.19 e 7.20 representam, a título ilustrativo, os resultados da calibração do modelo através da informação obtida pelo *River Ray* para a secção de montante do trecho, correspondente à assinalada como *2º perfil de velocidades*, na Fig. 7.11.

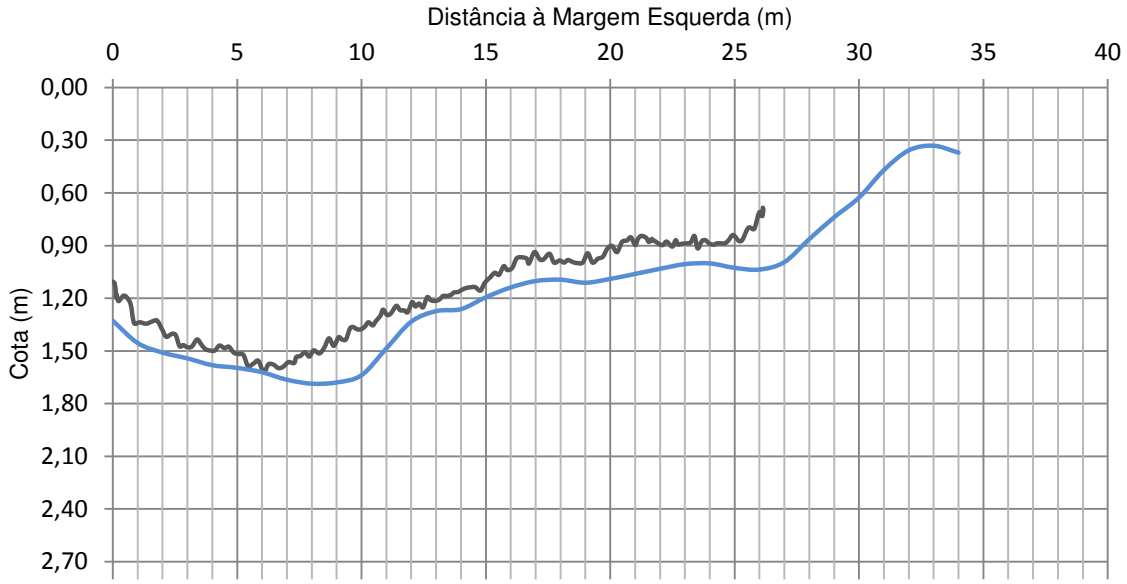


Fig. 7.20: Perfil topobatimétrico na secção de entrada resultante da calibração do modelo

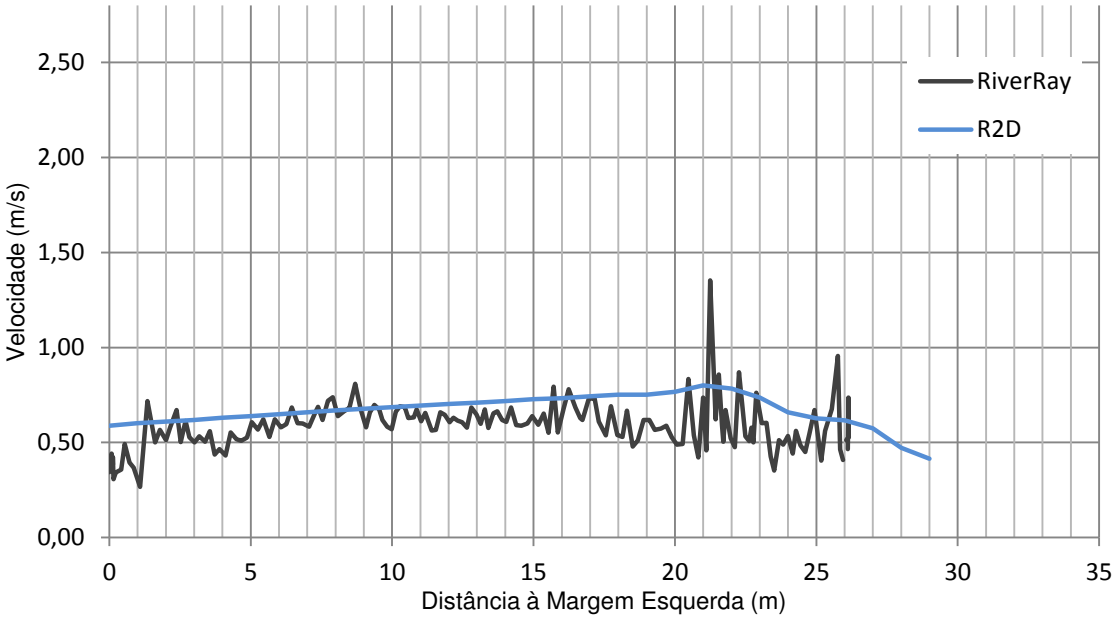


Fig.7.21: Perfil de Velocidades na secção de entrada resultante da calibração do modelo

Os valores finais de rugosidade atribuídos às diversas zonas, e que resultam na obtenção dos perfis das Fig. 7.19 e 7.20, são seguidamente citados, nas zonas de ervas altas foi atribuída uma rugosidade de, n =20 s/m$^{1/3}$; às zonas de areia fina um valor de n=0,030 s/m$^{1/}$3 e na restante área atribuiu-se o valor de cálculo, n =0,050 s/m$^{1/3}$. Após a calibração do modelo, procede-se para a modelação hidrodinâmica.

7.5.5. MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA

A modelação hidrodinâmica foi realizada conforme a metodologia estabelecida no Capítulo 5. As soluções convergiram quase todas na segunda iteração, à exceção da solução para um caudal de 12 m^3/s que convergiu logo na primeira iteração. A tabela 7.9 apresenta os resultados finais obtidos na modelação hidrodinâmica efetuada, assim como a diferença percentual entre o caudal de entrada e o caudal de saída para o trecho em estudo.

Tabela 7.9: Resultados finais obtidos na modelação hidrodinâmica

$Q_{entrada}$ (m^3/s)	$H_{entrada}$ (m)	$H_{saída}$ (m)	t_{final} (s)	$Q_{saída}$ (m^3/s)	ΔQ (%)
0,1	15,956	16,537	25070,400	0,10000	0,0000
1	16,035	16,588	25032,649	1,00199	0,2000
3	16,134	16,651	25027,125	3,00000	0,0071
6	16,240	16,719	25029,970	6,00010	0,0833
9	16,327	16,774	25010,200	8,99905	0,0247
12	16,404	16,823	1033,743	11,99864	0,0084
15	16,473	16,866	25389,900	14,99852	0,0100
17	16,517	16,894	25035,500	16,99922	0,0046

Os mapas resultantes da modelação hidrodinâmica encontram-se no anexo C.5.

7.5.6. SIMULAÇÃO DE HABITAT

Após a modelação hidrodinâmica procedeu-se à simulação de habitat. Com este fim, inseriram-se os ficheiros correspondentes às curvas de preferência para cada espécie alvo e um ficheiro correspondente ao índice de canal que caracteriza o substrato do trecho.

Dada a variação significativa de substrato observada no local, optou-se por, através do editor gráfico *R2D_Bed* definir polígonos que limitavam as diferentes zonas de substrato. A classificação do substrato varia entre cascalho e areia, ou seja entre as classes 4 e 2.

Após a inserção dos ficheiros necessários à simulação pretendida, o *software* calculou a superfície ponderada útil para a gama de caudais definida, para cada uma das espécies consideradas. Foram exportados mapas relativos à preferência da velocidade e profundidade, à aptidão combinada e à superfície ponderada útil, para cada uma das espécies. Os mapas mencionados encontram-se no anexo C.6.

Os resultados relativos à superfície ponderada útil (SPU) obtidos são resumidos nas figuras 7.21 a 7.27.

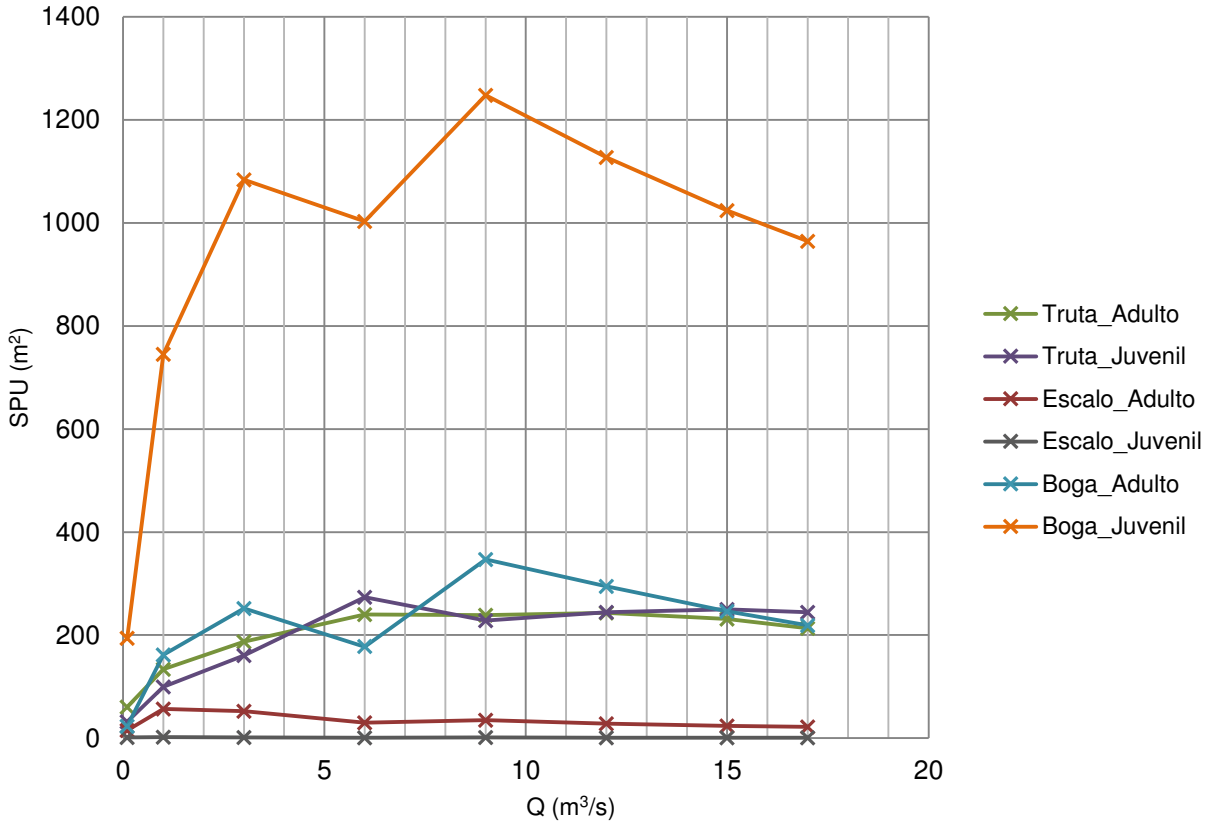


Fig. 7.22: Gráfico "Q *versus* SPU" para cada todas as espécies

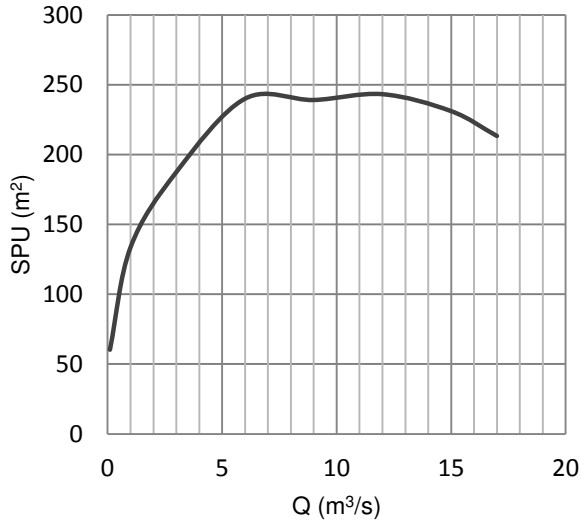


Fig. 7.23: Gráfico "SPU versus Q" para a Truta Adulto

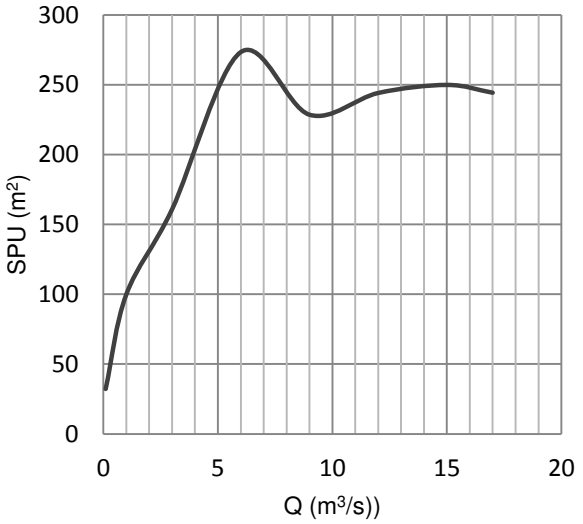


Fig. 7.24: Gráfico "SPU versus Q" para a Truta Juvenil

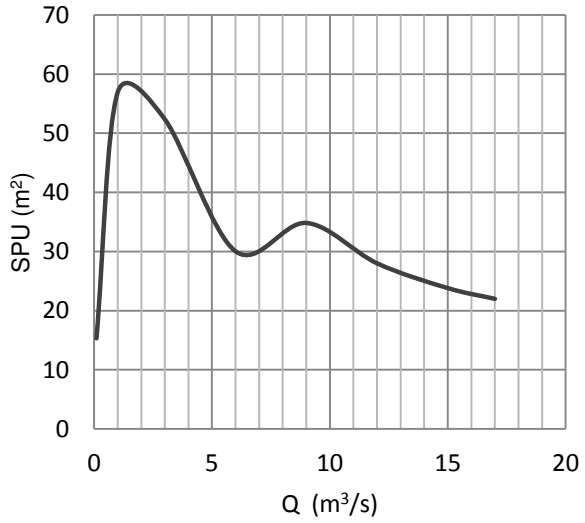


Fig. 7.25: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Adulto

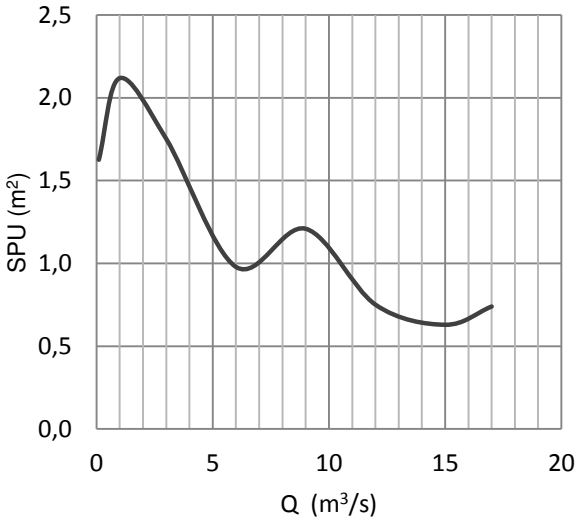


Fig. 7.26: Gráfico "SPU versus Q" para o Escalo Juvenil

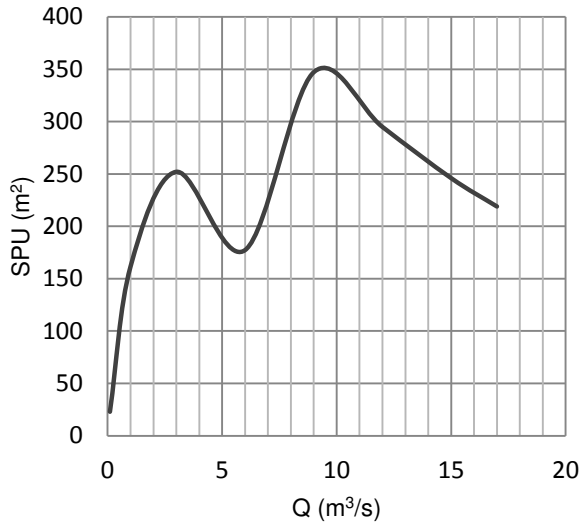


Fig. 7.27: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Adulto

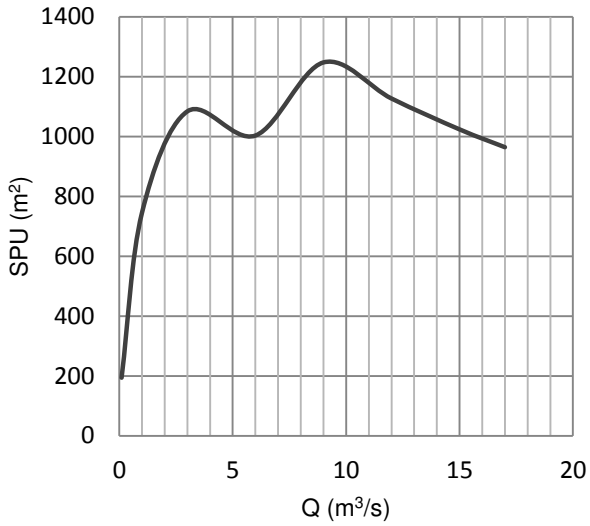


Fig. 7.28: Gráfico "SPU versus Q" para a Boga Juvenil

A análise dos gráficos permite concluir que a espécie que melhor se adequa ao habitat simulado é a Boga comum, que apresenta valores de SPU muito superiores às restantes espécies. Por outro lado, a espécie que revela piores condições de adaptação é o Escalo, em ambos os estágios da sua vida.

A Boga comum, na fase adulta, revela uma preferência por velocidades baixas e profundidades mais elevadas. Para caudais baixos (entre 0,1 e 3 m^3/s) a preferência centra-se na margem esquerda; no entanto, à medida que o caudal aumenta, a zona de preferência da velocidade muda de localização, devido à formação de rápidos, passando para as zonas de ervas altas, onde as velocidades são bastante inferiores. Relativamente ao substrato, a preferência da Boga centra-se em blocos e pedras, pelo que os coeficientes de aptidão do substrato são muito baixos no trecho modelado. A aptidão combinada desta espécie ronda um índice que varia entre 0,35 e 0,50. Na fase juvenil esta espécie apresenta resultados excelentes. A aptidão da profundidade é 1,0 em praticamente toda a área coberta pelo escoamento. Relativamente à velocidade, a espécie apresenta uma notória preferência por zonas de velocidade inferiores, existindo uma quebra no ponto $Q=6m^3/s$ devido à formação de rápidos na margem esquerda da zona mais a montante. Os coeficientes de aptidão do substrato são elevados na totalidade do trecho. Por último, os coeficientes de aptidão combinada da espécie em fase juvenil variam entre 0,70 e 1,0, o que se traduz numa SPU de valores bastante satisfatórios.

Relativamente ao Escalo-do-Norte, este, na fase adulta, demonstra valores de preferência na ordem de grandeza da Boga em fase adulta. Tem preferência por zonas de profundidade elevada e velocidades baixas, verificando-se que, para caudais elevados a sua preferência de velocidade se concentra ao longo das margens. A grande incompatibilidade observada regista-se no substrato, devido à preferência por fundos constituídos de areia, o que apenas ocorre na margem esquerda da zona junto à secção de montante considerada. Na fase juvenil os resultados são inferiores, apesar da preferência de substrato ser a mesma. De facto, no caso da velocidade e profundidade os coeficientes têm resultados mais baixos devido à preferência por velocidades perto do zero e profundidades superiores a 80 centímetros. Ou seja, os alevins preferem margens de elevada profundidade e água parada, o que não ocorre no trecho selecionado.

Por fim, a Truta-do-Rio apresenta também resultados similares para a fase adulto e juvenil. No estágio adulto revela uma preferência por velocidades mais baixas e profundidades elevadas, ou seja condições que ocorrem na zona de rápidos. O coeficiente de aptidão combinada é muito baixo (aproximadamente 0,20 na maioria dos caudais) devido à preferência por fundos constituídos de areia. O mesmo ocorre na fase juvenil, com a diferença que na fase juvenil a espécie apresenta aptidão para profundidades ligeiramente inferiores. Por esta razão a variação da superfície ponderada útil com o caudal é muito similar para ambos os estágios de vida.

7.6. CONCLUSÕES

As conclusões retiradas do caso de estudo de Touvedo permitiram identificar aspetos a melhorar na metodologia inicialmente proposta e afinada com a experiência do primeiro caso de estudo (capítulo 6). Por outro lado, o facto de os objetivos serem bastante díspares nos casos de estudo permitiu que no presente caso se explorassem outras áreas de bastante interesse.

Em primeiro lugar, destaca-se a fase de planeamento, que foi bastante aprofundada devido à necessidade de se optar por um trecho a modelar, numa zona com uma extensão total de cerca de 11 km, com acessos limitados e num período hidrologicamente adverso. Esta situação levou à necessidade de realização de diversas visitas de reconhecimento e ao desenvolvimento de critérios de escolha de forma a ser possível tomar uma decisão fundamentada. Por outro lado, foi nesta fase que se encontraram as maiores dificuldades para a realização do caso de estudo: as condições meteorológicas. Estas influenciaram a calendarização, tendo o trabalho de campo sido realizado muito depois do inicialmente previsto.

O trabalho de campo permitiu detectar que a topografia do terreno circundante pode influenciar a precisão do sinal dos satélites do *Trimble R8*. Enquanto que na margem esquerda, que apresentava um declive substancialmente menor, não existiram dificuldades, na margem direita o equipamento tinha dificuldade em fixar o sinal dos satélites. Ainda relativamente ao trabalho de campo, é de mencionar a importância do levantamento no local de perfis de velocidades, que se revelaram de imensurável importância para a calibração do modelo e para validação dos resultados obtidos através da modelação hidrodinâmica.

No que diz respeito à modelação hidrodinâmica, o modelo apresentou resultados satisfatórios, sendo a máxima diferença verificada de 0,20%, que ocorreu para um caudal de 1 m^3/s. Tal como no caso de estudo do AH Touvedo, verificou-se que o modelo apresentava maiores dificuldades em convergir para caudais menores.

Relativamente à simulação de habitat, apresentam-se de seguida as conclusões obtidas. Tal como justificado no capítulo anterior, optou-se por somar as curvas SPU de todas as espécies consideradas, obtendo-se o gráfico apresentado na Fig. 7.26. Na ótica da metodologia IFIM, é evidente o ponto de inflexão existente para um caudal de 3 m^3/s.

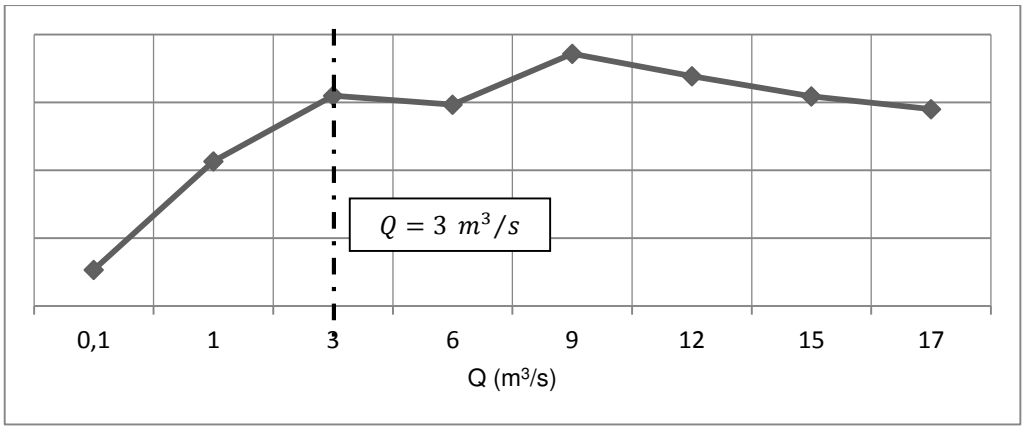


Fig. 7.29: Soma das Curvas SPU de todas as espécies

Realizou-se então um exercício de proposta de estimativa de um Regime de Caudais Ecológicos para o presente caso de estudo, a título meramente ilustrativo. Analisou-se então o regime de caudais naturais afluentes à secção da barragem de Ribeiradio e realizou-se depois a mimetização do regime. O caudal de $3m^3/s$ foi aplicado ao mês de Maio, por se admitir que as campanhas de caracterização piscícola foram realizadas nesse mês, que coincide com o período crítico das migrações piscícolas.

Tabela 7.10: Regime de caudais afluentes à secção da barragem de Ribeiradio

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	**Total**
Volume afluente mensal médio (hm^3)	34,23	72,9	130,34	157,1	146,59	111,02	77,39	57,04	30,5	11,51	4,85	6,96	**841**

Tabela 7.11: Estimativa de Regime de Caudais Ecológicos para o caso de estudo de Ribeiradio-Ermida

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	**Total**
$Q_{ecol,\ estimado}$ (m^3/s)	1,8	4,0	6,8	8,3	8,5	5,8	4,2	**3,0**	1,7	0,6	0,3	0,4	**-**
Volume reservado mensal médio (hm^3)	4,84	10,28	18,32	22,10	20,56	15,60	10,87	8,04	4,37	1,65	0,71	0,95	118,16

Os resultados obtidos como estimativa do RCE aproximam-se bastante da gama de valores proposta pela DIA (ver Tabela 7.4). Ressalva-se, no entanto, que este exercício académico apenas pretende ilustrar a forma de aplicação da simulação hidrodinâmica no âmbito da metodologia IFIM. A proposta de um RCE pressupõe uma abordagem mais abrangente, nomeadamente recorrendo a especialistas de diversas áreas (Biologia, Sociologia, Hidráulica, Hidromorfologia, entre outros) e a trabalhos de campo mais extensos e demorados, alguns do foro da Ecologia, que não se enquadram no âmbito da presente tese. Em todo o caso, no capítulo seguinte são efetuadas algumas propostas de procedimentos complementares que poderão ser realizados em trabalhos futuros de definição e afinação de RCEs deste aproveitamento hidroelétrico, decorrentes da experiência e sensibilidade obtidas na realização do presente caso de estudo.

8 CONCLUSÕES

As medidas de conservação e restauro dos ecossistemas dulciaquícola são uma consequência da crescente consciencialização mundial para a preservação do meio ambiente. A implementação de um Regime de Caudais Ecológicos a jusante de uma barragem é, hoje em dia, uma medida indiscutível na promoção da sustentabilidade da utilização de recursos hídricos. No entanto, a determinação deste regime ainda apresenta dificuldades e limitações. Não existe, na verdade, nenhum método mundialmente aceite e consensual para este efeito. O estudo e aperfeiçoamento dos métodos conhecidos contribuem largamente para a compreensão dos resultados obtidos e do nível de incerteza associado a estes.

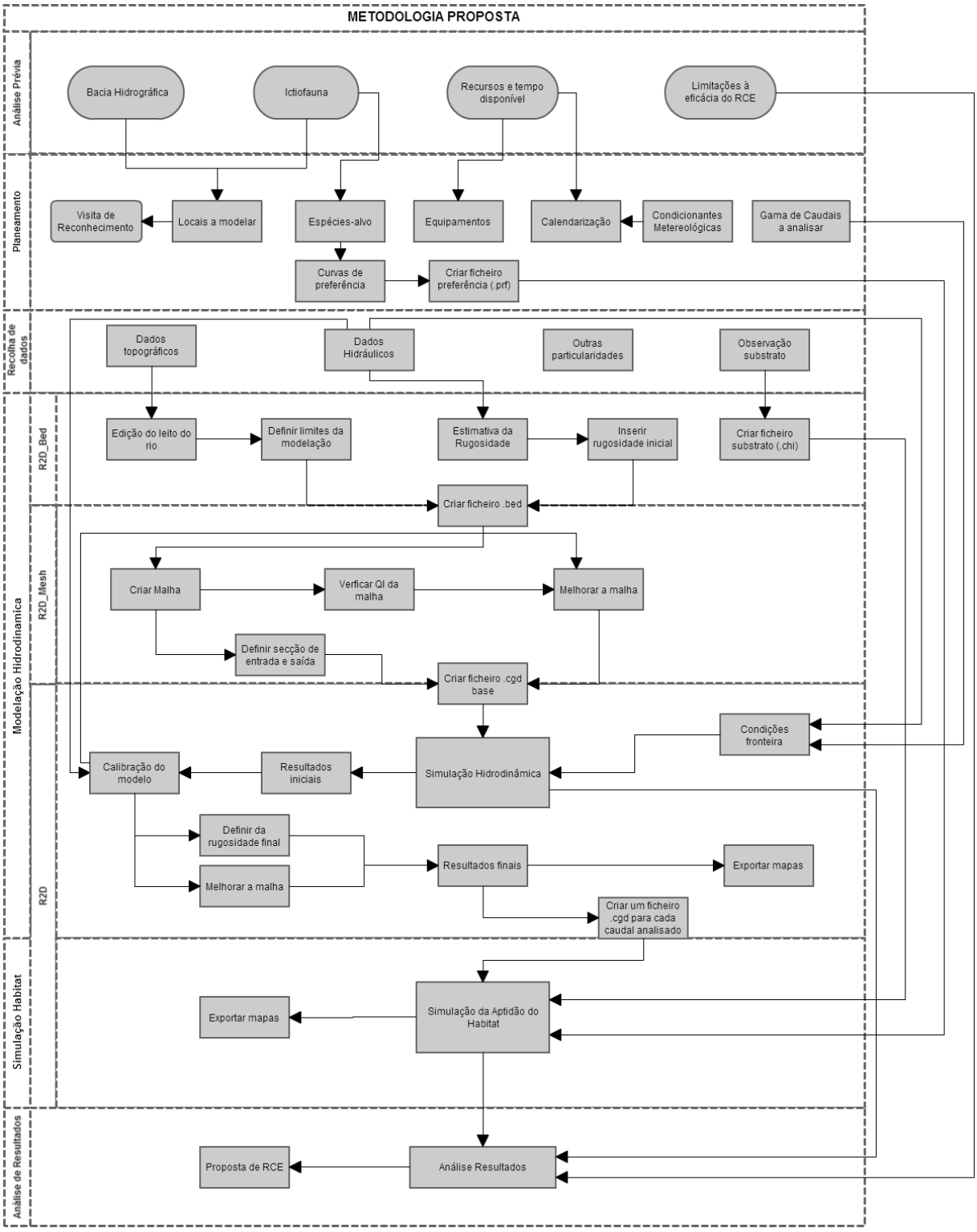
Os modelos hidrodinâmicos bidimensionais constituem uma ferramenta indispensável quando se pretende relacionar dados hidráulicos com a área de habitat disponível para uma determinada espécie. Estes permitem prever com rigor a alteração da superfície ponderada útil (SPU) derivada das alterações no caudal e morfologia do leito, mesmo para diferenças de caudais muito baixas.

Na presente dissertação procurou-se definir uma metodologia que permita otimizar a aplicação da modelação hidrodinâmica bidimensional à definição de regimes de caudais ecológicos com base no método IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*). Com este objetivo desenvolveu-se uma abordagem que combinou a pesquisa bibliográfica teórica com a realização de casos práticos, aplicados a situações reais atuais, relacionadas com a atividade empresarial da EDP na área da hidroeletricidade.

Assim, numa primeira fase tornou-se necessário conhecer os princípios inerentes à formulação deste tipo de modelos, pois só assim se poderá compreender a grandeza de erros associados aos mesmos e identificar quais os dados com maior importância para o funcionamento do programa de modelação, assim como as potencialidades e limitações das ferramentas auxiliares que envolvem o processo de modelação. Em paralelo com a componente "hidráulica", apostou-se igualmente no estudo e caracterização da componente "ecológica", por ser na interligação destas duas componentes que assenta o sucesso do método IFIM. Naturalmente esta segunda área foi desenvolvida com menor aprofundamento do que a primeira, por não ser o foco principal da dissertação.

Apresenta-se, de seguida, o Fluxograma 8.1 que sintetiza a proposta de metodologia desenvolvida na presente dissertação para a determinação de RCE, tendo em vista a aplicação da metodologia IFIM e a utilização do programa River2D. Este foi elaborado pelo autor e tem por base o conhecimento adquirido ao longo do estudo efetuado, nomeadamente através da aplicação da metodologia aos casos de estudo. Pretende-se que o fluxograma não só sintetize a metodologia proposta, como também que seja representativo do raciocínio lógico que esteve na base da sua criação. O fluxograma está dividido em 6 secções principais: Análise Prévia, Planeamento, Recolha de dados, Modelação Hidrodinâmica, Simulação de Habitat, sendo apresentadas as tarefas inerentes a cada secção e ligações existentes entre elas.

Fluxograma 8.1: Síntese da Metodologia Proposta



De seguida apresentam-se as principais conclusões e recomendações relativas à realização de trabalhos de modelação bidimensional de escoamentos, destinados a servir de suporte à aplicação do método do IFIM, desde a preparação dos trabalhos de campo até à análise dos resultados, passando pela criação e exploração do modelo numérico.

Da pesquisa bibliográfica efetuada e da experiência obtida no desenvolvimento dos dois casos de estudo realizados conclui-se que a recolha de dados é a atividade que mais condiciona os resultados obtidos na modelação de escoamentos, com destaque para os dados relativos ao levantamento topográfico. Por outro lado, considera-se que a extensão do trecho a modelar deverá, idealmente, englobar uma variação de regime hidráulico (por exemplo, a passagem de um escoamento lento para rápido). Tal foi verificado no caso de estudo de Ribeiradio-Ermida.

Quanto à distância entre pontos levantados, não é possível fixar à partida um valor para este fim. O levantamento deve ser realizado com alguma sensibilidade ao fim a que se destinam os dados que neste caso é a criação de uma malha que deverá ser representativa das mudanças ao nível do leito. Por exemplo, não é de todo errado no mesmo trecho ter pontos que distam 3 metros entre si, por se encontrarem numa zona plana, e pontos que distam 0,5 metros por ser uma zona com bastantes rochas de diferentes dimensões, capaz de provocar um regime de escoamento complexo. O levantamento deve tentar caracterizar o leito do rio, nomeadamente ao nível das particularidades que este apresenta e que provocam alterações no escoamento. Por outro lado, há também que ter em consideração as limitações dos equipamentos escolhidos para os trabalhos de campo, assim como a precisão vertical e horizontal dos pontos levantados. Tendo por base a experiencia adquirida no trabalho efetuado, num estudo a nível profissional e não académico seria necessário, para rios com leitos de dimensão semelhantes às dos rios Lima e Vouga nos locais estudados, realizar o levantamento topobatimétrico numa extensão de 200 a 300 m, superior à extensão de 60 ou 80 m realizada. Esta tarefa, que poderá demorar vários dias, permitirá uma melhor caracterização dos mesohabitats existentes na área em estudo.

Ainda na temática da recolha de dados, a obtenção de vários perfis de velocidades para caudais e zonas diferentes é absolutamente indispensável para a calibração do modelo, a nível da rugosidade. Esta conclusão foi obtida após a realização do caso de estudo de Touvedo, no qual não foi possível obter perfis de velocidades, devido a problemas técnicos e logísticos. Apesar disso, a análise de sensibilidade de rugosidade ao modelo permitiu constatar que, quer o coeficiente de rugosidade fosse metade ou o dobro do estimado, não haveria diferenças significativas a nível da cota da superfície livre e do perfil das velocidades, situação que se revelou pouco significativa também pela constância de substrato no trecho modelado. Por outro lado, no caso de estudo de Ribeiradio-Ermida, os perfis de velocidades foram deveras úteis para estabelecer a variação da rugosidade no trecho modelado, conforme observado no local e comprovado no modelo. Por fim salienta-se a importância da recolha de dados referentes a alturas de escoamento e caudais associados, realizada recorrendo à colocação de escalas. Estes dados são úteis para o estabelecimento das condições fronteira e para controlo de todo o processo de modelação.

Considera-se, ainda, importante ter em conta as condições atmosféricas e a época do ano em que o trabalho de campo é realizado. Este deverá ser devidamente planeado, particularmente nos casos em que não exista a possibilidade de regulação de caudais, por exemplo onde as barragens se encontram em fase de projeto ou execução. Uma das maiores dificuldades sentidas no segundo caso de estudo foi a impossibilidade de realizar o trabalho de campo até inícios de Junho, devido às fortes precipitações verificadas nos primeiros trimestres do ano. Do ponto de vista hidráulico, este tipo de trabalhos deveria idealmente ser realizado nas épocas mais secas do ano (Julho/Agosto); porém, deverá ter-se em atenção a articulação com a componente ecológica (épocas de migração de ictiofauna, por exemplo). O ideal será separar cronologicamente o levantamento topobatimétrico das restantes tarefas do trabalho de

campo. Deste modo, pode-se realizar a medição de caudais, de níveis de água e de velocidades em diferentes alturas do ano, representativas das condições a instalar com o RCE.

A escolha do trecho a modelar, e consequentemente dos sítios onde se vão recolher os dados, é igualmente importante. Devido aos objetivos distintos dos dois casos de estudo, esta tarefa apenas ocorreu no segundo caso de estudo. Como anteriormente mencionado, a extensão a levantar deve ser representativa dos mesohabitats existentes, além disso deve permitir a recolha de um número elevado de pontos. Ou seja, deve ter em conta as limitações inerentes ao equipamento escolhido; por exemplo, no caso do TrimbleR8 em que a sua utilização implica alturas de escoamento e velocidades relativamente baixas, não se poderá escolher uma secção com uma altura de escoamento de dois metros. A realização de visitas de reconhecimento revelam-se de utilidade indiscutível no momento de escolher um trecho para modelar. Como foi possível experienciar, é impossível prever com exactidão qual o grau de adequabilidade do trecho para este fim através de representações cartográficas, mapas, ou fotografias.

Terminada a fase de recolha de dados, inicia-se a criação e exploração do modelo hidrodinâmico. A modelação hidrodinâmica bidimensional, realizada com recurso ao River2D, é, um processo bastante intuitivo, que não revelou dificuldades maiores. No entanto, para que tal se verifique, há que estabelecer as condições fronteiras corretamente, caso contrário o programa não consegue solucionar o problema e acaba por encravar e fechar. Outro aspeto que se verificou é que quanto mais a estimativa da cota da superfície livre na secção de entrada (montante) se aproximar da situação real, mais rápida é a convergência das soluções. A convergência dos caudais é particularmente mais demorada para valores de caudais mais baixos, na ordem de $1 m^3/s$, segundo o que se verificou nos casos de estudo. Por fim, é de mencionar que a máxima diferença verificada entre o valor do caudal à entrada e o valor do caudal à saída foi de $\pm 0{,}2\%$, um valor bastante baixo e por isso muito satisfatório.

Os objetivos iniciais da dissertação passavam pela construção e validação de um modelo de simulação hidrodinâmica bidimensional; no entanto, considerou-se pertinente alargar os objectivos numa tentativa de integrar a Metodologia IFIM a um nível mais profundo. Deste modo procedeu-se à simulação de habitat para os dois casos de estudo e à determinação de um regime de caudais ecológicos. Ambas as atividades foram desenvolvidas a título exemplificativo e procuravam também validar as soluções obtidas da modelação hidrodinâmica.

A simulação de habitat requereu a escolha de espécies alvo e a elaboração das curvas de preferência das espécies com o fim de criar os ficheiros *input* para o River2D. Requereu ainda que, quando da recolha de dados, se tivesse em especial atenção o substrato do leito de maneira a elaborar o ficheiro referente ao índice de canal. O processo de simulação de habitat, após se conseguirem obter os ficheiros referentes à gama de caudais a analisar, é bastante rápido e simples. Fornece mapas referentes à aptidão da espécie, em determinado estágio da sua vida, às características do escoamento mediante o caudal. Deste modo, relaciona-se a variação da superfície ponderada útil com a variação do caudal.

Os resultados obtidos foram bastantes satisfatórios. No caso de Touvedo, a espécie que revelava os valores mais elevados de SPU é a mesma que utiliza com maior frequência o ascensor de peixes. Por outro lado, identificou-se uma combinação de caudais libertados pelos órgãos de descarga a evitar, por originar condições de escoamento desfavoráveis. Propõe-se ainda uma medida que poderá potenciar o funcionamento do ascensor de peixes, relacionada com a substituição do substrato do leito do rio.

No caso de Ribeiradio-Ermida, a análise das curvas SPU, seguida da escolha do caudal correspondente a um ponto de inflexão evidente conduziu à obtenção de um Regime de Caudais Ecológicos da mesma ordem de valores do regime apresentado pela DIA, o que constitui um indicativo interessante.

É de destacar que o valor obtido de SPU não deve ser analisado isoladamente, pois corresponde à combinação de três fatores: profundidade, velocidade e substrato. Várias vezes se verificou que o baixo valor de SPU se devia unicamente à inaptidão ao índice de canal, que corresponde ao substrato, enquanto que os coeficientes relativos à velocidade e profundidade até se demonstravam mediamente elevados. Nestes casos, uma proposta de melhoria ou requalificação a nível do substrato poderá fazer toda a diferença para as espécies e para os resultados obtidos nestas simulações. Em suma, é importante compreender a que se devem os valores de SPU obtidos.

Ressalve-se que o exercício de simulação de habitat e determinação de RCE no caso de estudo de Ribeiradio foi meramente académico, tendo como objetivos validar a metodologia e permitir compreender o funcionamento da metodologia IFIM, não constituindo, por isso, qualquer solução ou proposta de solução. Outros aspetos teriam de ser detalhadamente analisados para se obter uma solução definitiva na determinação do RCEs.

É nesse contexto que se propõe que em trabalhos futuros se modele um trecho com uma extensão de 200 a 300 metros e se faça uma análise comparativa com os resultados obtidos para este caso de estudo. Propõe-se, também, a modelação de outro trecho, situado a uma distância considerável do trecho modelado na presente dissertação, de maneira a analisar a influência da distância à barragem nos resultados obtidos.

À laia de repto à comunidade científica, considera-se que seria de extrema importância a realização de um trabalho que estudasse a possibilidade de transposição de curvas de preferência das espécies para os rios Portugueses. Sendo a simulação de habitat um método cada vez mais presente na determinação dos RCEs em Portugal e tendo em atenção os recursos necessários para a realização de campanhas de caracterização da ictiofauna, em termos de custo e de tempo, é imperativa a sistematização de toda a informação referente à preferência das espécies mais comuns nos rios Portugueses.

BIBLIOGRAFIA

[1]. Petts, G.E. and A.M. Gurnell, *Dams and geomorphology: research progress and future directions.* Geomorphology, 2005. **71**(1): p. 27-47.

[2]. Carter, M.G., G.H. Copp, and V. Szomlai, *Seasonal abundance and microhabitat use of bullhead Cottus gobio and accompanying fish species in the River Avon (Hampshire), and implications for conservation.* Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2004. **14**(4): p. 395-412.

[3]. Alves, M.M. and J.M. Bernardo, *Caudais ecológicos em Portugal.* Plano Nacional da Água. INAG, MCOTA, Lisboa, 2002.

[4]. Alves, M.M. and J.M. Bernardo. *Contribuição para uma Metodologia de Determinação do Caudal Ecológico em cursos de Água Temporarios*. in *5º Congresso da Água. Lisboa, Portugal*.

[5]. Nilsson, C., et al., *Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems.* Science, 2005. **308**(5720): p. 405-408.

[6]. Bochechas, J., M.T. Ferreira, and A.N. Pinheiro. *Gestão eco-hidráulica em Portugal. Diagnóstico e principais linhas de actuação*. in *Actas do 4º Congresso da Água, Portugal*. 1998.

[7]. Wesche, T.A. and P.A. Rechard, *A summary of instream flow methods for fisheries and related research needs. Eisenhower Consortium Bulletin*, in *Eisenhower Consortium for Western Environmental Forestry Research.* 1980, University of Wyoming: Laramie, USA.

[8]. Gordon, N.D., T.A. McMahon, and B.L. Finlayson, *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists.* 1992, Chichester, England.: John Wiley & Sons.

[9]. Sanz, D.B. and D.G. Jalón, *Avances y aspectos no resueltos en la estimatión de regímenes de caudales ecológicos* in *III Congresso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua* 2002: Sevilla

[10]. Stalnaker, C.B., *The Use of Habitat Structure Agenda for Establishing Flow Regimes for Maintenance of Fish Habitat*. The Ecology of Regulated Rivers. 1987, New York: Plenum Press.

[11]. Gore, J.A., J.B. Layzer, and I.A. Russel, *Non-Tradicional Applications of Instream Flow Techniques for Conserving Habitat of Biota in the Sabie River of Southern Africa*. River Conservation and Management, ed. P.J. Boon, P. Calow, and G.E. Petts. 1992, Chicester, England: John Wiley & Sons.

[12]. Katopodis, C., *Case Studies of Instream Flow Modelling for Fish Habitat in Canadian Prarie Rivers* Canadian Water Sources Journal 2003. **28**: p. 5.

[13]. Tharme, R.E., *A global perspective on evironmental flow assessment: emerging trends in the development and applicaton of environmental flow methodologies for rivers* River Research and Applications, 2003. **19**(5-6): p. 397-441.

[14]. Alves, R., *Avaliação de metodologias para definição de caudais ecológicos em Portugal*. 2010, FEUP.

[15]. Neves, H., *Implementação da DQA em Aproveitamentos Hidroelétricos*. 2010, FEUP.

[16]. Ferreira, A.C., *Análise Hidráulica de potenciais soluções para a descarga controlada de caudais ecológicos em aproveitamentos hidroelétricos*. 2010, FEUP.

[17]. *Portal da Água*. 2013; Available from: http://portaldaagua.inag.pt/.

[18]. *Diretiva 2000/60/CE de 23 de Outubro* 2000, Parlamento Europeu e do Conselho.

[19]. INAG, I.P., *Tipologia de Rios em Portugal Continental no âmbito da implementação da DQA. I - Caracterização abiótica*, Ministério do Ambiente, 2008.

[20]. Boavida, I. and A. Pinheiro, *Modelo RIVER2D. Análises de sensibilidade à discretização da malha e à rugosidade. .* 2010.

[21]. Boavida, I., *Análise Bidimensional na Determinação dos Caudais Ecológicos. Aplicação do Modelo River2D*. 2007, Instituto Superior Técnico: Lisboa.

[22]. Bovee, K.D., *A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology.* 1982.

[23]. King, J.M., R.E. Tharme, and M.S. Villiers, *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. 2008, University of Cape Town, South Africa: Freshwater Research Unit.

[24]. King, J.M. and R.E. Tharme, *Environmental Flow Assesments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology* 2008: Freshwater Resersh Unit.

[25]. Tánago, M.G. and D.G. Jálon, *Restauración de ríos y riberas*. 1995: Fundación del Conde del Valle de Salazar, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid.

[26]. Portela, M.M., *Caudais ecológicos em pequenos aproveitamentos hidroelétricos: comparação de métodos de definição com base em dois casos de estudo*, in *7º Congresso da Água* 2004, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos LNEC, Lisboa.

[27]. Aqualogus, Engenharia e Ambiente, Lda, *Estudos Ambientais para a Determinação do Regime de Caudais Ecológicos – Barragens de Alto Rabagão, Venda Nova, Alto Cávado, Paradela, Salamonde, Caniçada e Vilarinho das Furnas (Lote A)*. 2010.

[28]. Arthington, A.H., et al., *Environmental Flow Assessment with Emphasis on Holistic Methodologies*, in *International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*. 2003: Phnom Penh, Kingdom of Cambodja.

[29]. Arthington, A., et al. *Environmental flow assessment with emphasis on holistic methodologies*. in *Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries*. 2004.

[30]. Gorman, O.T. and J.R. Karr, *Habitat structure and stream fish communities.* Ecology, 1978. **59**(3): p. 507-515.

[31]. Karr, J.R., et al., *Assessing biological integrity in running waters.* A method and its rationale. Illinois Natural History Survey, Champaign, Special Publication, 1986. **5**.

[32]. Bovee, K.D., et al., *Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. 1998, DTIC Document.

[33]. Karr, J.R., *Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management.* Ecological applications, 1991. **1**(1): p. 66-84.

[34]. Stalnaker, C., et al., *The instream flow incremental methodology: a primer for IFIM*. 1995, DTIC Document.

[35]. Fisheries, C.D.o., et al., *Pitfalls of physical habitat simulation in the instream flow incremental methodology*. 1986: Prince Rupert, BC: Fisheries and Oceans, Canada.

[36]. Gore, J.A. and J.M. Nestler, *Instream flow studies in perspective.* Regulated Rivers: Research & Management, 1988. **2**(2): p. 93-101.

[37]. King, J.M. and R.E. Tharme, *Assessment of the Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) and initial development of alternative instream flow methodology for South Africa* Water Research Commission, 1994: p. 590.

[38]. Milhous, R., *Instream flow values as a factor in water management.* 1983.

[39]. Stalnaker, C. and R. Milhous, *Responses to general questions compiled by the conveners of the Instream Flow Technology Section of the 1983 Hydropower Conference.* Northwest Small Hydroelectric Association, 1983.

[40]. Dias, V.R.B., *Modelação bidimensional de habitats fluviais para espécies piscícolas. Aplicação do Modelo CasimirFish2D.* 2013.

[41]. Bovee, K.D., *Data collection procedures for the physical habitat simulation system.* Biological Resources Division, United States Geological Survey, Fort Collins, Colorado, 1997.

[42]. Parasiewicz, P., *MesoHABSIM: A concept for application of instream flow models in river restoration planning.* Fisheries, 2001. **26**(9): p. 6-13.

[43]. Raven, P., et al., *Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods.* Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2002. **12**(4): p. 405-424.

[44]. Raven, P.J., et al., *River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality*. 1996.

[45]. Allan, J.D. and M.M. Castillo, *Stream ecology*. 1995: Springer.

[46]. Cabral, M., et al., *Livro vermelho dos vertebrados de Portugal.* 2005.

[47]. Mäki-Petäys, A., et al., *Transferability of habitat suitability criteria of juvenile Atlantic salmon (Salmo salar).* Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002. **59**(2): p. 218-228.

[48]. Armour, C.L. and J.G. Taylor, *Evaluation of the instream flow incremental methodology by US Fish and Wildlife Service field users.* Fisheries, 1991. **16**(5): p. 36-43.

[49]. Groshens, T. and D. Orth, *Transferability of habitat suitability criteria for smallmouth bass, Micropterus dolomieu.* Rivers, 1993. **4**(3): p. 194-212.

[50]. Thomas, J.A. and K.D. Bovee, *Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria.* Regulated Rivers: Research & Management, 1993. **8**(3): p. 285-294.

[51]. Freeman, M.C., Z.H. Bowen, and J.H. Crance, *Transferability of habitat suitability criteria for fishes in warmwater streams.* North American Journal of Fisheries Management, 1997. **17**(1): p. 20-31.

[52]. Bovee, K. and J.R. Zuboy, *Proceedings of a workshop on the development and evaluation of habitat suitability criteria*. 1988, DTIC Document.

[53]. Orth, D.J., *Ecological considerations in the development and application of instream flow-habitat models.* Regulated rivers: research & management, 1987. **1**(2): p. 171-181.

[54]. Vismara, R., et al., *Habitat suitability curves for brown trout (Salmo trutta fario L.) in the River Adda, Northern Italy: comparing univariate and multivariate approaches.* Regulated Rivers: Research & Management, 2001. **17**(1): p. 37-50.

[55]. Maki-Petäys, A., et al., *Seasonal changes in habitat use and preference by juvenile brown trout, Salmo trutta, in a northern boreal river.* Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997. **54**(3): p. 520-530.

[56]. Boavida, I., et al., *Determinação de caudais ecológicos com recurso à modelação bidimensional. O caso da Ribeira de Odelouca.* 2008.

[57]. Steffler, P. and J. Blackburn, *Two-dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat.* River2D user's manual, University of Alberta, Canada, 2002.

[58]. Waddle, T., et al. *Comparison of one and two-dimensional hydrodynamic models for a small habitat stream*. in *Ecohydraulics 2000: Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics.* 1996.

[59]. EDP Produção EM, *Barragem de Touvedo Estudo das ondas de Inundação*

[60]. Norte, A.R.H., *Plano de Gestão da Bacias Hidrográficas dos Rios Minho e Lima Integradas na Região Hidrográfica 1.* 2012.

[61]. LABELEC - Estudos, Desenvolvimento e Atividades Laboratoriais, S.A. (Grupo EDP), *Plano de Ação para a Optimização do Ascensor de Peixes do Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo*, 2014.

[62]. Cortes, R. V., Ferreira, M.T., Santos, J.M., Godinho, F.N, Diogo, R., Albuquerque, A., Fernandes, F.S., Ribeiro, P.T, Oliveira, S., Lopes, L. F., Mota, A., Oliveira, D., Tavares, I.T. and Saraiva, Z., *Estudo experimental para a definição do caudal ecológico do rio Lima.* Vila Real: Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Instituto Superior de Agronomia e Instituto de Conservação da Natureza, 172P. Dezembro de 2000.

[63]. ICNF, I., *Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental.* Resultados preliminares. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisbon, Portugal, 2013.

[64]. Centro, A.R.H., *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos Rios Vouga, Mondego e Lis Integradas na Região Hidrográfica 4.* Ministério daAgricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território, 2012.

[65]. Coba, Consultores de Engenharia e Ambiente, *Aproveitamento Hidroeléctrico de Ribeiradio-Ermida. F-Estudo de Impacte Ambiental. Volume I-Relatório Síntese.* 2008.

[66]. Nemus, Gestão e Requalificação Ambiental, Lda, *Estudos Ambientais para a Determinação do Regime de Caudais Ecológicos – Barragens de Vilar, Caldeirão, Açude de Trinta Fronhas e Raiva (Lote B)*. 2010.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO A 1

A.1. Formulação Física dos Modelos Hidrodinâmicos Bidimensionais 7
A.1.1. Equações da Quantidade do Movimento 7

A.2. Caracterização de espécies 8

A.3. Ficha exemplo para visitas de reconhecimento 10

Índice de Tabelas

Tabela A. 1: Estado de Conservação das espécies segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral, et al. 2005) 8
Tabela A. 2: Fenologia das espécies segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral, et al. 2005) 9
Tabela A. 3: Estado de Conservação das espécies segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral, et al. 2005) 9

A.1. FORMULAÇÃO FÍSICA DOS MODELOS HIDRODINÂMICOS BIDIMENSIONAIS

A.1.1. EQUAÇÕES DA QUANTIDADE DO MOVIMENTO

A quantidade de movimento na direção x, é traduz-se pela equação seguinte,

$$\frac{\Delta M_x}{\Delta t} = (M_1 - M_2) + (M_3 - M_4) + (P_1 - P_2) + P_b - F_b + F_4 - F_3 + F_6 - F_5$$

Tendo em conta que a taxa de variação da quantidade de movimento pode ser expressa como,

$$\frac{\Delta M_x}{\Delta t} = \rho \Delta x \Delta y \frac{\Delta (HU)}{\Delta t}$$

E que,

- $M_1 = \rho \Delta y H_1 U_1^2$
- $M_2 = \rho \Delta y H_2 U_2^2$
- $M_3 = \rho \Delta x H_3 V_3$
- $M_4 = \rho \Delta x H_4 V_4$

- $P_1 = \rho g \Delta y \frac{H_1^2}{2}$
- $P_2 = \rho g \Delta y \frac{H_2^2}{2}$
- $P_b = \rho g \Delta y H S_{0x}$

- $F_3 = \Delta x H_3 \tau_{xy3}$
- $F_4 = \Delta x H_4 \tau_{xy4}$
- $F_5 = \Delta y H_5 \tau_{xx5}$
- $F_6 = \Delta x H_6 \tau_{xx6}$
- $F_b = \tau_{bx} \Delta x \Delta y$

- $S_{fx} = \frac{n^2 U \sqrt{U^2 + V^2}}{H^{4/3}}$

- $\tau_{xy} = v_t (\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x})$

Substituindo as equações anteriores na equação inicial, obtém-se a equação seguinte que expressa a quantidade de movimento para a direção x:

$$\frac{\partial q_x}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(Uq_x)+\frac{\partial}{\partial y}(Vq_x)+\frac{g}{2}\frac{\partial}{\partial x}H^2=gH(S_{0x}-S_{fx})+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xx})\right)+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy})\right)$$

A.2. CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES

Tabela A. 1: Estado de Conservação das espécies segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral, et al. 2005)

Estado de Conservação		
Extinto	**EX**	Designação atribuída quando não existe dúvida razoável de que o último individuo morreu. Um *taxon* está extinto quando falharam todas as tentativas para encontrar um individuo em habitats conhecidos e potenciais.
Regionalmente Extinto	**RE**	Designação atribuída quando não restam dúvidas que o último individuo potencialmente capaz de se reproduzir na região morreu ou desapareceu da mesma.
Extinto na Natureza	**EW**	Designação atribuída quando um *taxon* é dado como apenas sobrevivendo em cultivo, cativeiro ou como uma população naturalizada fora da sua área de distribuição
Criticamente em Perigo	**CR**	Designação atribuída quando um *taxon* cumpre qualquer um dos critérios A a E para *Criticamente em Perigo*. Considera-se que o risco de extinção na Natureza é extremamente elevado.
Em Perigo	**EN**	Designação atribuída quando um *taxon* cumpre qualquer um dos critérios A a E para *Em Perigo*. Considera-se que o risco de extinção na Natureza é muito elevado.
Vulnerável	**VU**	Designação atribuída quando um *taxon* cumpre qualquer um dos critérios A a E para *Vulnerável*. Considera-se que o risco de extinção na Natureza é elevado.
Quase Ameaçado	**NT**	Designação atribuída quando um *taxon* não se qualifica como CR, EN ou VU, mas é provável que lhe venha a ser atribuída uma categoria de ameaça num futuro próximo.
Pouco Preocupante	**LC**	Designação atribuída no caso de não se qualificar como sendo CR, EN ou VU. Casos que apresentem taxas de distribuição ampla e abundante também são incluídos nesta categoria.
Informação Insuficiente	**DD**	Designação atribuída quando não há informação adequada para fazer uma avaliação do seu risco de extinção, com base na sua distribuição e/ou estatuto da população.
Não Aplicável	**NA**	Designação atribuída quando não reúne as condições julgadas necessárias para ser avaliado a nível regional
Não Avaliado	**NE**	Designação atribuída quando um *taxon* não foi avaliado pelos presentes critérios.

Tabela A. 2: Fenologia das espécies segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral, et al. 2005)

Fenologia		
Residente	**Res**	Designação atribuída a uma espécie que vive obrigatoriamente em ambiente dulciaquícola, realizando aí todo o seu ciclo de vida. Esporadicamente pode ocorrer a existência de indivíduos num estuário, principalmente nas zonas a montante, onde a salinidade é menor.
Visitante	**Vis**	Designação atribuída a uma espécie migradora (migrador catádromo) que vivem em ambiente dulciaquícola mas que se reproduz no mar.
Migrador Reprodutor	**MigRep**	Designação atribuída a uma espécie migradora (migrador anádromo) que vivem no mar mas que se reproduzem em água doce.
Endémico	**End**	Designação atribuída a uma espécie indígena do Continente, dos Açores ou da Madeira
Endémico da Península Ibérica	**EndIb**	Designação atribuída a uma espécie indígena apenas na Península Ibérica, não ocorre naturalmente em mais nenhuma massa de água continental do Mundo.

Tabela A. 3: Estado de Conservação das espécies segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral, et al. 2005)

Estado de Conservação		
Extinto	**EX**	Designação atribuída quando não existe dúvida razoável de que o último individuo morreu. Um *taxon* está extinto quando falharam todas as tentativas para encontrar um individuo em habitats conhecidos e potenciais.
Regionalmente Extinto	**RE**	Designação atribuída quando não restam dúvidas que o último individuo potencialmente capaz de se reproduzir na região morreu ou desapareceu da mesma.
Extinto na Natureza	**EW**	Designação atribuída quando um *taxon* é dado como apenas sobrevivendo em cultivo, cativeiro ou como uma população naturalizada fora da sua área de distribuição
Criticamente em Perigo	**CR**	Designação atribuída quando um *taxon* cumpre qualquer um dos critérios A a E para *Criticamente em Perigo*. Considera-se que o risco de extinção na Natureza é extremamente elevado.
Em Perigo	**EN**	Designação atribuída quando um *taxon* cumpre qualquer um dos critérios A a E para *Em Perigo*. Considera-se que o risco de extinção na Natureza é muito elevado.
Vulnerável	**VU**	Designação atribuída quando um *taxon* cumpre qualquer um dos critérios A a E para *Vulnerável*. Considera-se que o risco de extinção na Natureza é elevado.
Quase Ameaçado	**NT**	Designação atribuída quando um *taxon* não se qualifica como CR, EN ou VU, mas é provável que lhe venha a ser atribuída uma categoria de ameaça num futuro próximo.
Pouco Preocupante	**LC**	Designação atribuída no caso de não se qualificar como sendo CR, EN ou VU. Casos que apresentem taxas de distribuição ampla e abundante também são incluídos nesta categoria.
Informação Insuficiente	**DD**	Designação atribuída quando não há informação adequada para fazer uma avaliação do seu risco de extinção, com base na sua distribuição e/ou estatuto da população.
Não Aplicável	**NA**	Designação atribuída quando não reúne as condições julgadas necessárias para ser avaliado a nível regional
Não Avaliado	**NE**	Designação atribuída quando um *taxon* não foi avaliado pelos presentes critérios.

A.3. FICHA EXEMPLO PARA VISITAS DE RECONHECIMENTO

EXEMPLO		
	Localização	Inserir coordenadas aproximadas do local se possível
	Data da visita	Inserir data
	Acessos	Descrever como foi feito acesso ao local
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Inserir mesohabitats observados
	Singularidades	Singularidades como curvas, obstáculos naturais ou artificiais.
	Espécies Piscícolas	Espécies avistadas, quantidade.
Classificação	**Velocidade**	Muito elevada – Impossibilita a passagem Elevada – Dificulta muito a passagem Moderada – Dificulta pouco a passagem Baixa – Não condiciona a passagem
	Profundidade	Muito elevada – Impossibilita a passagem Elevada – Passagem improvável no Verão Moderada – Passagem provável no verão Baixa – Foi possível a passagem
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Se for realizado; finalidade; extensão
	Caudais	Se foi realizado; finalidade; comentários
	Comentários	Informações extra importantes; comentários finais

ANEXO B

CASO DE ESTUDO: AH TOUVEDO

ANEXO B 1

B.1. Viabilidade de realização do trabalho de campo 9

B.2. Planeamento do trabalho de campo 9

B.4. Curvas de preferência das espécies-alvo 11

B.5. Estimativa da Rugosidade e Condições Fronteira 16

B.6. Simulação Hidrodinâmica 17
B.6.1. Resultados Obtidos para Q=1,5 m^3/s 17
B.6.2. Resultados Obtidos para Q= 2 m^3/s 18
B.6.3. Resultados Obtidos para Q= 3 m^3/s 19
B.6.5. Resultados Obtidos para Q = 5 m^3/s 21
B.6.6. Resultados Obtidos para Q = 5,5 m^3/s 22

B.7. Simulação de Habitat 23
B.7.1. Resultados Obtidos para a Boga-Comum (Adulto) 23
B.7.2. Resultados Obtidos para a Boga-Comum (Juvenil) 31
B.7.3. Resultados Obtidos para o Escalo-do-Norte (Adulto) 39
B.7.4. Resultados Obtidos para o Escalo-do-Norte (Juvenil) 47
B.7.5. Resultados Obtidos para a Panjorca 55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela B. 1: : Análise dos dias da semana com maior freq. de $Q_{turb} = 0$ 9
Tabela B. 2: Planeamento da visita de campo para recolha de dados: 9
Tabela B. 3: Análise do tempo necessário para vários cenários 10
Tabela B. 4: Aplicação da fórmula de *Manning* 16

ÍNDICES DE FIGURAS

Fig. B. 1: Curva de preferência da velocidade para o Escalo do Norte (Rio Lima). Baseado em [61] 11
Fig. B. 2: Curva de preferência da velocidade para a Boga-Comum (Rio Lima). Baseado em [61] 11
Fig. B. 3: Curva de preferência da velocidade para a Panjorca (Rio Lima) . Baseado em [61] 12
Fig. B. 4: Curva de preferência da profundidade para o Escalo do Norte (Rio Lima). Baseado em [61] 12
Fig. B. 5: Curva de preferência da profundidade para a Boga-comum (Rio Lima). Baseado em [61] 13
Fig. B. 6: Curva de preferência da profundidade para a Panjorca (Rio Lima). Baseado em [61] 13
Fig. B. 7: Curva de preferência de substrato para o Escalo do Norte (Rio Lima). Baseado em [61] 14
Fig. B. 8: Curva de preferência de substrato para a Boga-Comum (Rio Lima). Baseado em [61] 14
Fig. B. 9: Curva de preferência de substrato para a Panjorca (Rio Lima). Baseado em [61] 15
Fig. B. 10: Parâmetros medidos no local e simplificação da secção considerada 16
Fig. B. 11: Distribuição da profundidade para um Q=1,5 m^3/s 17
Fig. B. 12: Distribuição da velocidade para um Q=1,5 m^3/s 17
Fig. B. 13: Distribuição do Número de Froude para um Q=1,5 m^3/s 17
Fig. B. 14: Distribuição da profundidade para um Q= 2 m^3/s 18
Fig. B. 15: Distribuição da velocidade para um Q= 2 m^3/s 18
Fig. B. 16: Distribuição do número de Froude para um Q= 2 m^3/s 18
Fig. B. 17: Distribuição da profundidade para um Q= 3 m^3/s 19
Fig. B. 18: Distribuição da velocidade para um Q= 3 m^3/s 19
Fig. B. 19: Distribuição do número de Froude para um Q= 3 m^3/s 19
Fig. B. 20: Distribuição da profundidade para um Q=4 m^3/s 20
Fig. B. 21: Distribuição da velocidadepara um Q=4 m^3/s 20
Fig. B. 22: Distribuição do número de Froude para um Q=4 m^3/s 20
Fig. B. 23: Distribuição da profundidade para um Q = 5 m^3/s 21
Fig. B. 24: Distribuição da velocidade para um Q = 5 m^3/s 21
Fig. B. 25: Distribuição do número de Froude para um Q = 5 m^3/s 21
Fig. B. 26: Distribuição da profundidade para um Q = 5,5 m^3/s 22
Fig. B. 27: Distribuição da velocidade para um Q = 5,5 m^3/s 22
Fig. B. 28: Distribuição do número de Froude para um Q = 5,5 m^3/s 22
Fig. B. 29: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 23
Fig. B. 30: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 23
Fig. B. 31: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 23
Fig. B. 32: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 24
Fig. B. 33: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$ 24

Fig. B. 34: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 24
Fig. B. 35: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 25
Fig. B. 36: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 25
Fig. B. 37: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 25
Fig. B. 38: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 26
Fig. B. 39: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$ 26
Fig. B. 40: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 26
Fig. B. 41: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 27
Fig. B. 42: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 27
Fig. B. 43: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 27
Fig. B. 44: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 28
Fig. B. 45: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$ 28
Fig. B. 46: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 28
Fig. B. 47: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 29
Fig. B. 48: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 29
Fig. B. 49: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 29
Fig. B. 50: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 30
Fig. B. 51: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 5m^3/s$ 30
Fig. B. 52: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 30
Fig. B. 53: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 31
Fig. B. 54: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 31
Fig. B. 55: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 31
Fig. B. 56: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 32
Fig. B. 57: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$ 32
Fig. B. 58: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 32
Fig. B. 59: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 33
Fig. B. 60: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 33
Fig. B. 61: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 33
Fig. B. 62: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 34
Fig. B. 63: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$ 34
Fig. B. 64: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 34
Fig. B. 65: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 35
Fig. B. 66: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 35
Fig. B. 67: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 35
Fig. B. 68: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 36
Fig. B. 69: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$ 36
Fig. B. 70: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 36
Fig. B. 71: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 37
Fig. B. 72: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 37
Fig. B. 73: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 37
Fig. B. 74: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 38

Fig. B. 75: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5m^3/s$ 38
Fig. B. 76: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 38
Fig. B. 77: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 39
Fig. B. 78: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 39
Fig. B. 79: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 39
Fig. B. 80: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 40
Fig. B. 81: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$ 40
Fig. B. 82: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 40
Fig. B. 83: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 41
Fig. B. 84: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 41
Fig. B. 85: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 41
Fig. B. 86: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 42
Fig. B. 87: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$ 42
Fig. B. 88: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 42
Fig. B. 89: Aptidão combinada para a Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 43
Fig. B. 90: Aptidão combinada para a Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 43
Fig. B. 91: Aptidão combinada para a Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 43
Fig. B. 92: Aptidão combinada para a Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 44
Fig. B. 93: Aptidão combinada para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$ 44
Fig. B. 94: Aptidão combinada para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 44
Fig. B. 95: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 45
Fig. B. 96: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$ 45
Fig. B. 97: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 45
Fig. B. 98: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$ 46
Fig. B. 99: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5m^3/s$ 46
Fig. B. 100: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 46
Fig. B. 101: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 47
Fig. B. 102: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 47
Fig. B. 103: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 47
Fig. B. 104: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 48
Fig. B. 105: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$ 48
Fig. B. 106: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 48
Fig. B. 107: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 49
Fig. B. 108: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 49
Fig. B. 109: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 49
Fig. B. 110: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 50
Fig. B. 111: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$ 50
Fig. B. 112: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 50
Fig. B. 113: Aptidão combinada para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 51
Fig. B. 114: Aptidão combinada para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 51
Fig. B. 115: Aptidão combinada para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 51
Fig. B. 116: Aptidão combinada para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 52

Fig. B. 117: Aptidão combinada para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$ 52
Fig. B. 118: Aptidão combinada para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 52
Fig. B. 119: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 53
Fig. B. 120: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$ 53
Fig. B. 121: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 53
Fig. B. 122: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$ 54
Fig. B. 123: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5m^3/s$ 54
Fig. B. 124: Superfície Ponderada Útil para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 54
Fig. B. 125: Aptidão da profundidade à Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 55
Fig. B. 126: Aptidão da profundidade à Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$ 55
Fig. B. 127: Aptidão da profundidade à Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$ 55
Fig. B. 128: Aptidão da profundidade à Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$ 56
Fig. B. 129: Aptidão da profundidade à Panjorca para um $Q = 5\ m^3/s$ 56
Fig. B. 130: Aptidão da profundidade à Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 56
Fig. B. 131: Aptidão da velocidade à Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 57
Fig. B. 132: Aptidão da velocidade à Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$ 57
Fig. B. 133: Aptidão da velocidade à Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$ 57
Fig. B. 134: Aptidão da velocidade à Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$ 58
Fig. B. 135: Aptidão da velocidade à Panjorca para um $Q = 5\ m^3/s$ 58
Fig. B. 136: Aptidão da velocidade à Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 58
Fig. B. 137: Aptidão combinada para a Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 59
Fig. B. 138: Aptidão combinada para a Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$ 59
Fig. B. 139: Aptidão combinada para a Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$ 59
Fig. B. 140: Aptidão combinada para a Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$ 60
Fig. B. 141: Aptidão combinada para a Panjorca para um $Q = 5\ m^3/s$ 60
Fig. B. 142: Aptidão combinada para a Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 60
Fig. B. 143: Superfície Ponderada Útil para a Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$ 61
Fig. B. 144: Superfície Ponderada Útil para a Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$ 61
Fig. B. 145: Superfície Ponderada Útil para a Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$ 61
Fig. B. 146: Superfície Ponderada Útil para a Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$ 62
Fig. B. 147: Superfície Ponderada Útil para a Panjorca para um $Q = 5m^3/s$ 62
Fig. B. 148: Superfície Ponderada Útil para a Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$ 62

B.1. VIABILIDADE DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO DE CAMPO

Tabela B. 1: : Análise dos dias da semana com maior freq. de $Q_{turb} = 0$

	Segunda-feira				Terça-feira				Quarta-feira			
	07-abr	14-abr	21-abr	28-abr	01-abr	08-abr	15-abr	22-abr	00-jan	00-jan	00-jan	00-jan
10:00 - 11:00												
11:00 - 12:00												
12:00 - 13:00												
13:00 - 14:00												
14:00 - 15:00												
15:00 - 16:00												
16:00 - 17:00												
17:00 - 18:00												
18:00 - 19:00												

$Q_{turb} > 50$	$Q_{turb} \leq 50$	$Q_{turb} = 0$	*Sem dados*

B.2. PLANEAMENTO DO TRABALHO DE CAMPO

Tabela B. 2: Planeamento da visita de campo para recolha de dados:

Horário	Actividades
8:30	Saída do Edifico da EDP, Produção
10:00	Chegada a Touvedo: Reconhecimento da zona e respectivos acessos; delimitação do trecho em estudo e colocação de escalas.
10:30	Medição de caudais com o RiverRay para um caudal total aproximado de $\mathbf{100\ m^3/s}$
14:00	Suspensão do turbinamento no aproveitamento hidroelétrico do Touvedo (até às 18:00) e abertura do dispositivo de libertação do caudal ecológico ($\boldsymbol{Q = 4\ m^3/s}$) em simultâneo com o dispositivo de libertação de caudal de atracção do ascensor de peixes ($\boldsymbol{Q = 1{,}5\ m^3/s}$), perfazendo um caudal total aproximado de $\mathbf{5{,}5\ m^3/s}$.
14:15	Início do levantamento topográfico e preparação da 1ª medição de caudal.
14:30	1ª Medição de caudal.
15:30	Conclusão da 1ª medição de caudal. Fecho do dispositivo de libertação do caudal ecológico, mantendo-se aberto o dispositivo de libertação de caudal de atracção do ascensor de peixes ($\boldsymbol{Q = 1{,}5\ m^3/s}$), perfazendo um caudal total aproximado de $\boldsymbol{Q = 1{,}5\ m^3/s}$.
15:45	2ª Medição de caudal.
17:45	Conclusão dos trabalhos e saída do leito do rio.
18:00	Fim da suspensão do turbinamento.

B.3. EXTENSÃO DO ESTUDO A REALIZAR

Tabela B. 3: Análise do tempo necessário para vários cenários

Extensão [m]	Largura [m]	Malha [m^2]	Pontos a levantar	Tempo/ponto [Minutos]	Tempo total [Horas]
140	20	1×1	2800	0,5	23,33
		$1,5 \times 1,5$	1244	0,5	10,37
		2×2	700	0,5	5,83
	15	1×1	2100	0,5	17,50
		$1,5 \times 1,5$	933	0,5	7,78
		2×2	525	0,5	4,38
	10	1×1	1400	0,5	11,67
		$1,5 \times 1,5$	622	0,5	5,19
		2×2	350	0,5	2,92
120	20	1×1	2400	0,5	20,00
		$1,5 \times 1,5$	1067	0,5	8,89
		2×2	600	0,5	5,00
	15	1×1	1800	0,5	15,00
		$1,5 \times 1,5$	800	0,5	6,67
		2×2	450	0,5	3,75
	10	1×1	1200	0,5	10,00
		$1,5 \times 1,5$	533	0,5	4,44
		2×2	300	0,5	2,50
100	20	1×1	2000	0,5	16,67
		$1,5 \times 1,5$	899	0,5	7,41
		2×2	500	0,5	4,17
	15	1×1	1500	0,5	12,50
		$1,5 \times 1,5$	667	0,5	5,56
		2×2	375	0,5	3,13
	10	1×1	1000	0,5	8,33
		$1,5 \times 1,5$	444	0,5	3,70
		2×2	250	0,5	2,08
80	20	1×1	1600	0,5	13,33
		$1,5 \times 1,5$	711	0,5	5,93
		2×2	400	0,5	3,33
	15	1×1	1200	0,5	10,00
		$1,5 \times 1,5$	533	0,5	4,44
		2×2	300	0,5	2,50
	10	1×1	800	0,5	6,67
		$1,5 \times 1,5$	356	0,5	2,96
		2×2	200	0,5	1,67

B.4. CURVAS DE PREFERÊNCIA DAS ESPÉCIES-ALVO

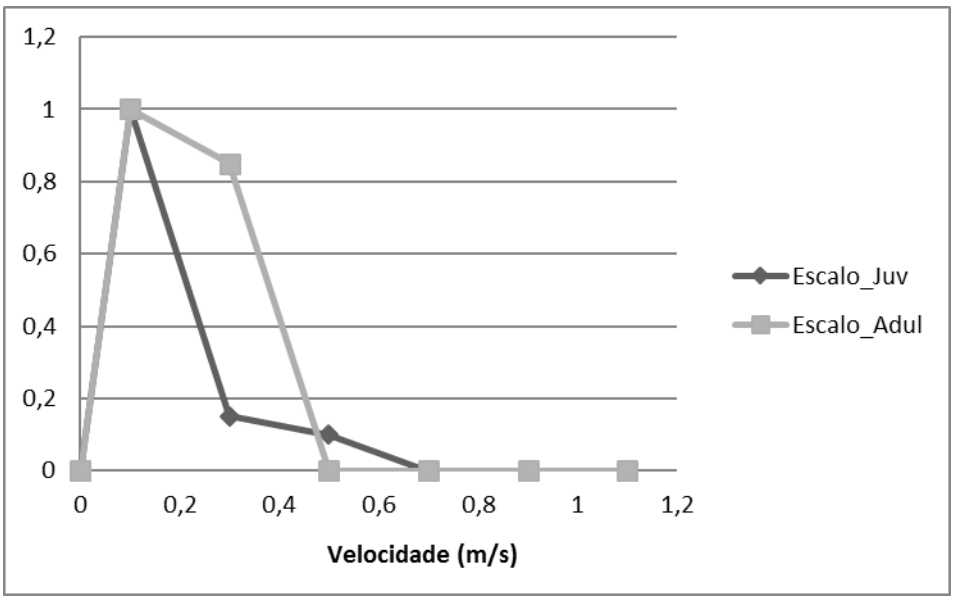


Fig. B. 1: Curva de preferência da velocidade para o Escalo do Norte (Rio Lima). Baseado em [61]

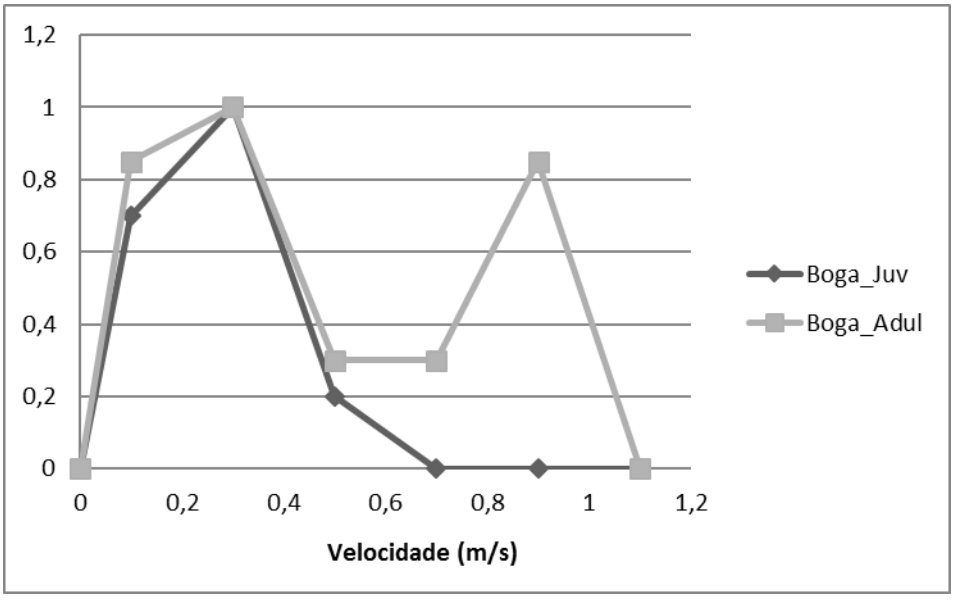


Fig. B. 2: Curva de preferência da velocidade para a Boga-Comum (Rio Lima). Baseado em [61]

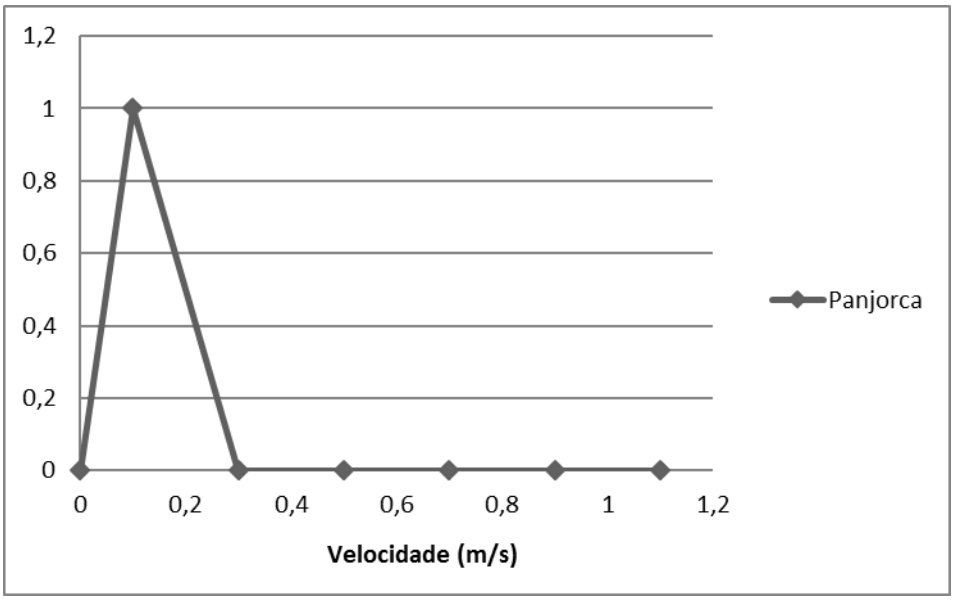


Fig. B. 3: Curva de preferência da velocidade para a Panjorca (Rio Lima) . Baseado em [61]

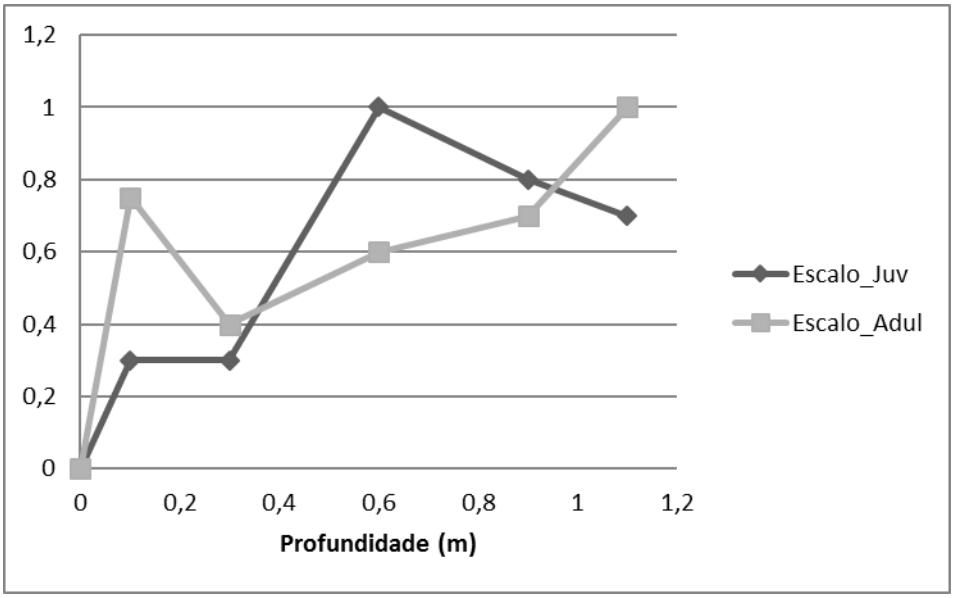


Fig. B. 4: Curva de preferência da profundidade para o Escalo do Norte (Rio Lima). Baseado em [61]

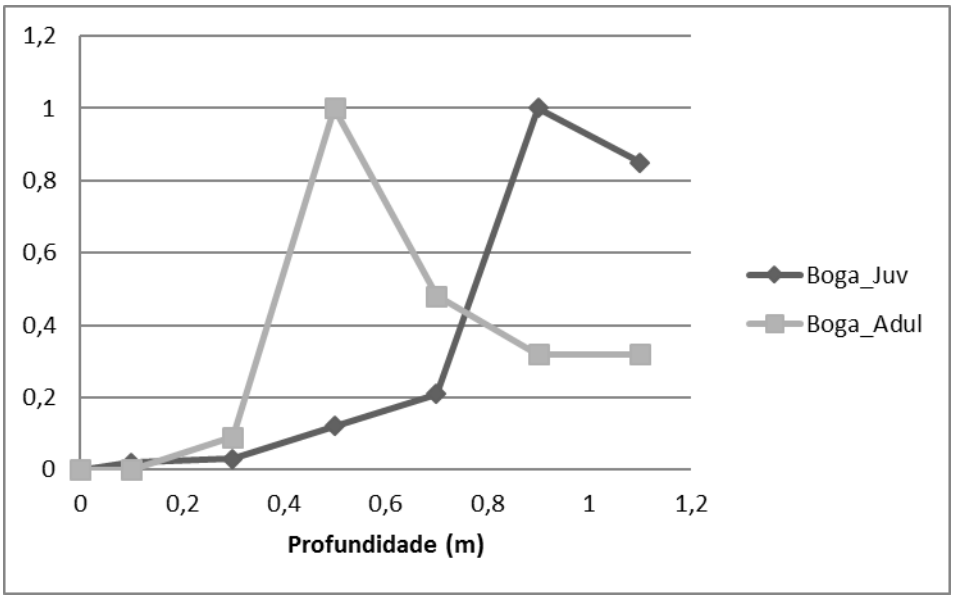


Fig. B. 5: Curva de preferência da profundidade para a Boga-comum (Rio Lima). Baseado em [61]

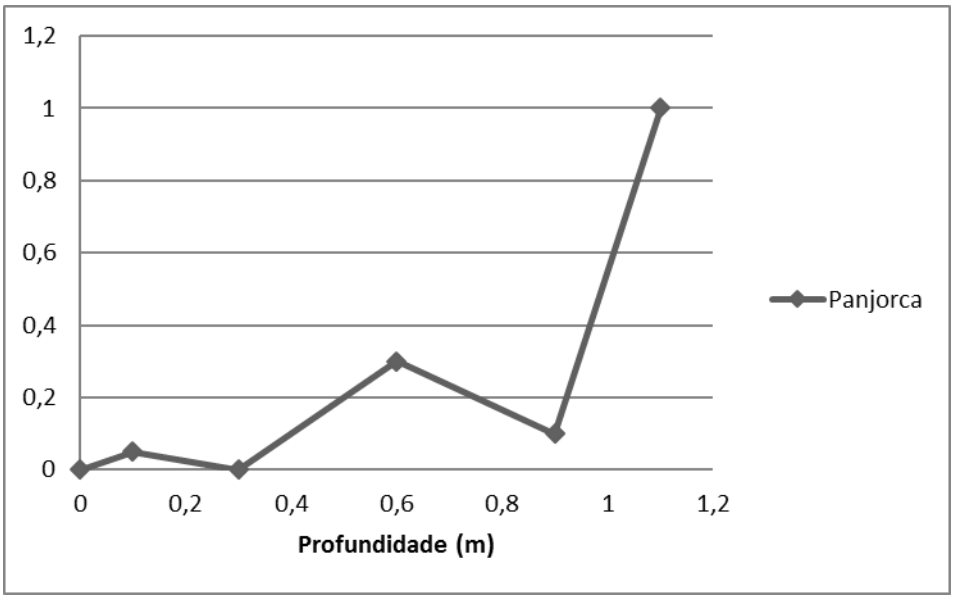


Fig. B. 6: Curva de preferência da profundidade para a Panjorca (Rio Lima). Baseado em [61]

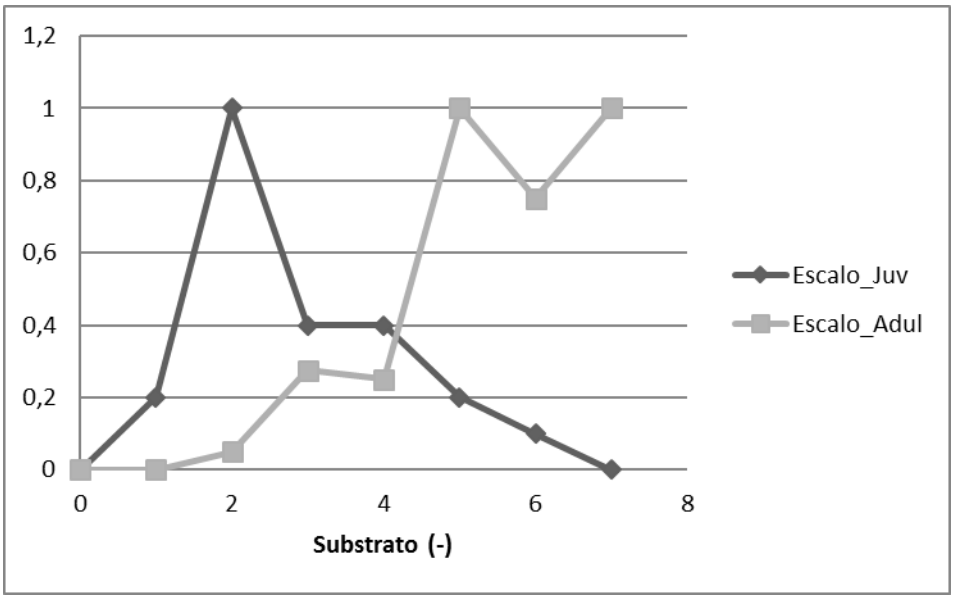


Fig. B. 7: Curva de preferência de substrato para o Escalo do Norte (Rio Lima). Baseado em [61]

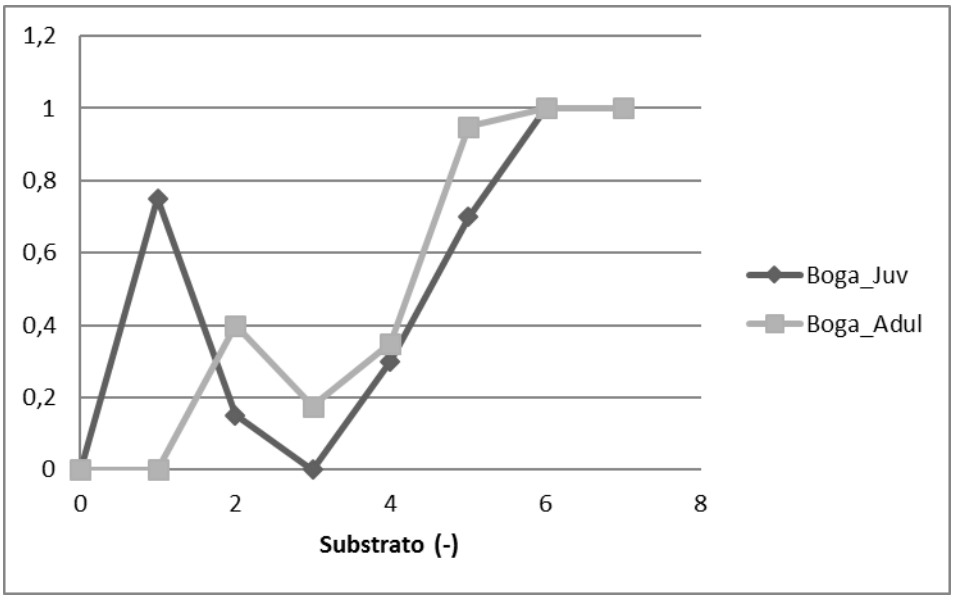


Fig. B. 8: Curva de preferência de substrato para a Boga-Comum (Rio Lima). Baseado em [61]

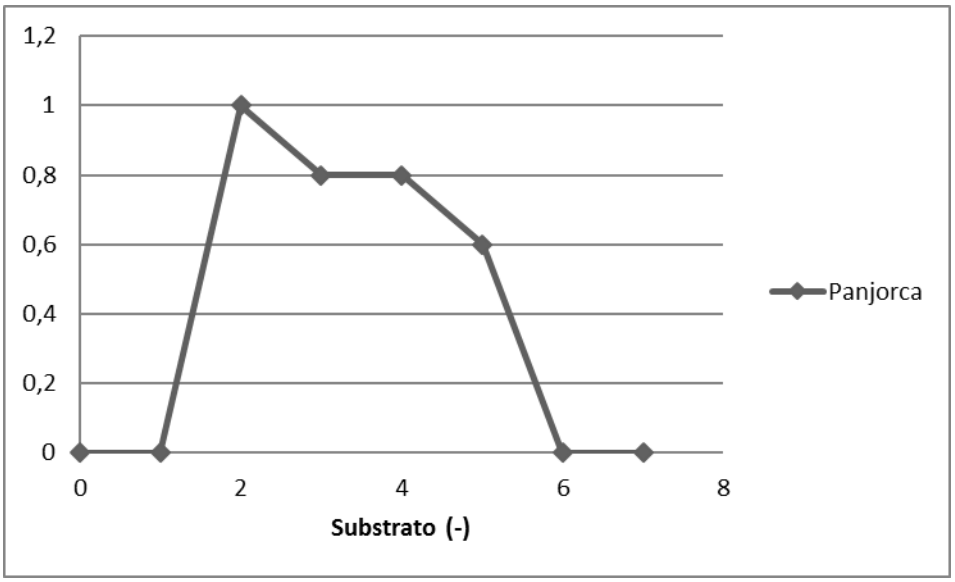


Fig. B. 9: Curva de preferência de substrato para a Panjorca (Rio Lima). Baseado em [61]

B.5. ESTIMATIVA DA RUGOSIDADE E CONDIÇÕES FRONTEIRA

Para estimar a rugosidade recorreu-se à formula de Manning e aos parâmetros medidos no local.

Parâmetros Medidos	
Q	**h**
5,3	0,5
1,5	0,2

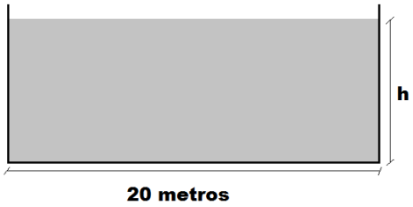


Fig. B. 10: Parâmetros medidos no local e simplificação da secção considerada

$$Q = k_S \times S \times R_h^{\,2/3} \times i^{1/2}$$

De seguida aplica-se a fórmula apresentada aos parâmetros medidos tendo como incógnita o parâmetro representativo da rugosidade.

Tabela B. 4: Aplicação da fórmula de *Manning*

Q	h	L	$S = h \times L$	$P = L + 2h$	$R_h = S/P$	i	$k_s = 1/n$
[m³/s] 6	[m]	[m]	[m²]	[m]	[m]	[m/m]	[–]
5,3	0,5	20	10	21	0,47619	0,01	8,69138
1,5	0,2	20	4	20,4	0,196078	0,01	11,11078

Seja, S a secção molhada, P o perímetro molhado, R_h o correspondente ao raio hidráulico e i a inclinação.

Desta forma, considerou-se pertinente usar o valor médio como aproximação.

$$k_s = 9{,}90 \Rightarrow n = \frac{1}{k_s} = 0{,}10 \ \ \mathrm{s^{-1}.m^{1/3}}$$

Após a obtenção do parâmetro k_s, traça-se a curva de vazão.

B.6. SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA

B.6.1. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q=1,5 M^3/S

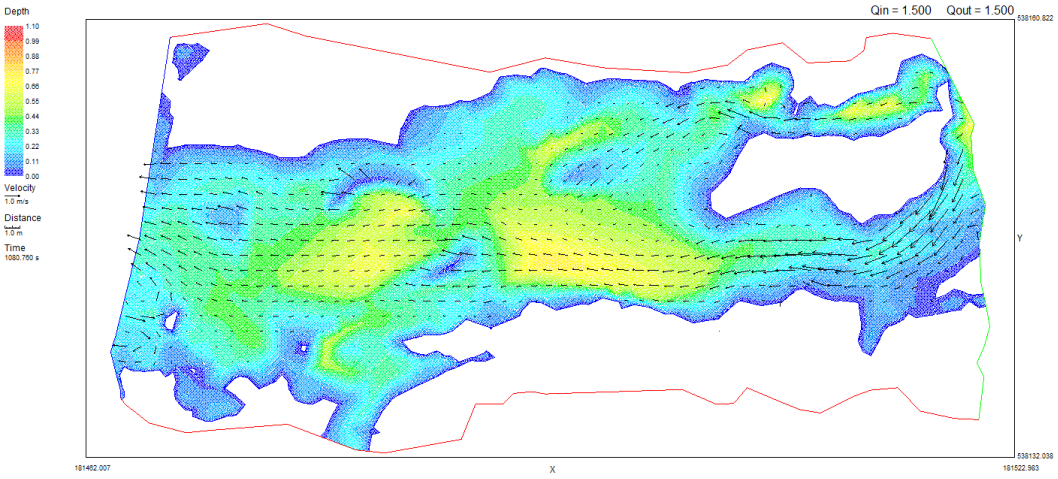


Fig. B. 11: Distribuição da **profundidade** para um Q=1,5 m^3/s

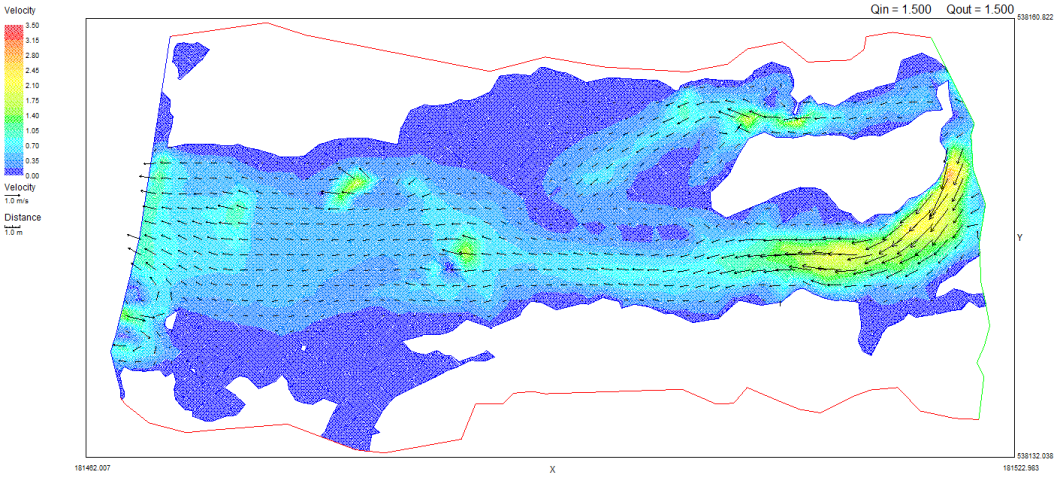


Fig. B. 12: Distribuição da **velocidade** para um Q=1,5 m^3/s

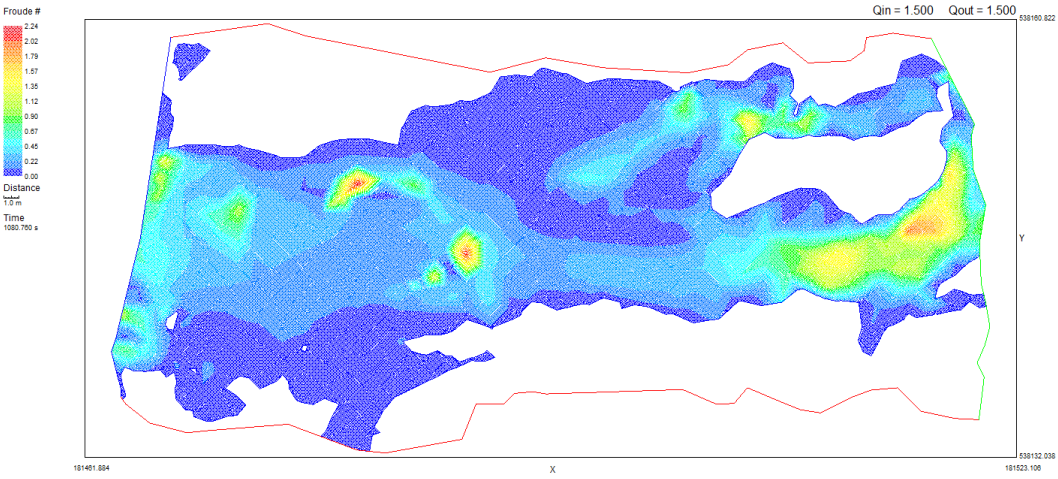


Fig. B. 13: Distribuição do **Número de Froude** para um Q=1,5 m^3/s

B.6.2. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q= 2 M^3/S

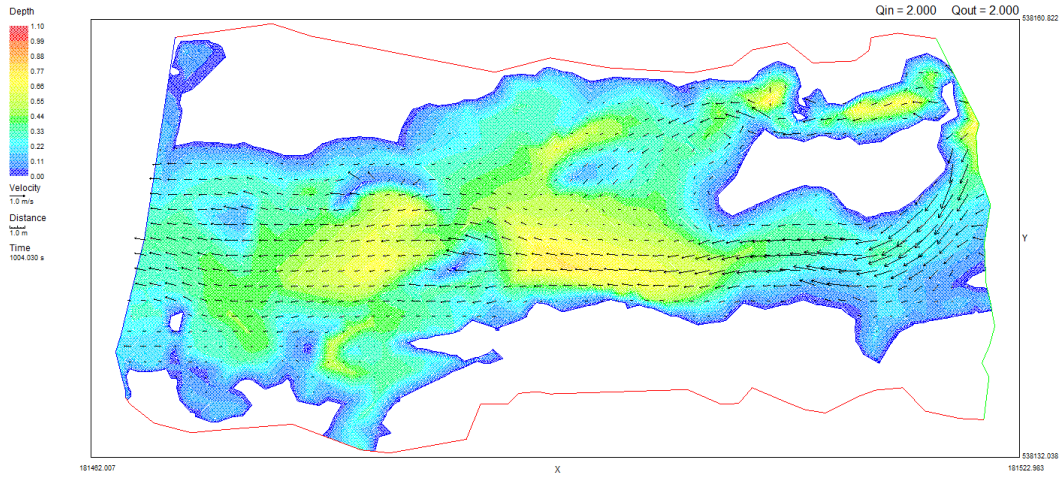


Fig. B. 14: Distribuição da **profundidade** para um Q= 2 m^3/s

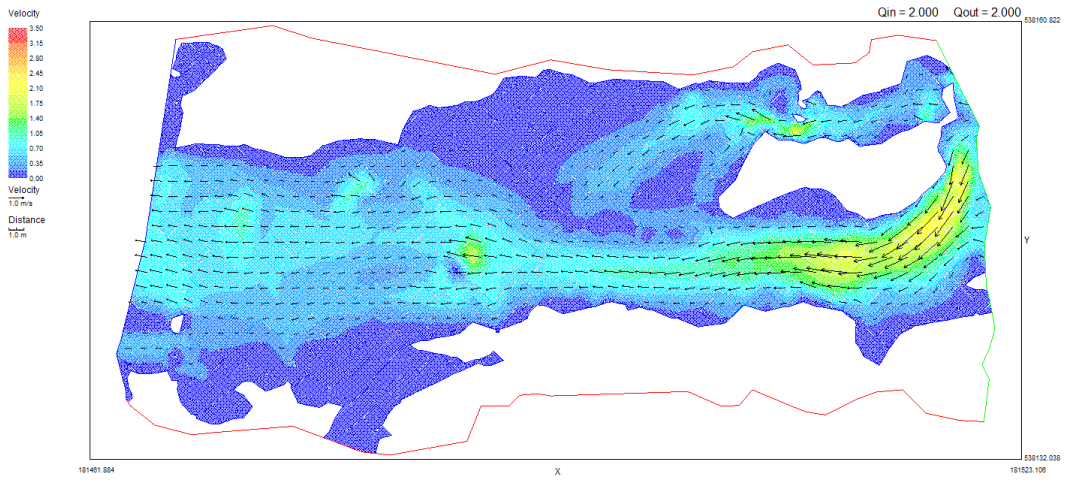


Fig. B. 15: Distribuição da **velocidade** para um Q= 2 m^3/s

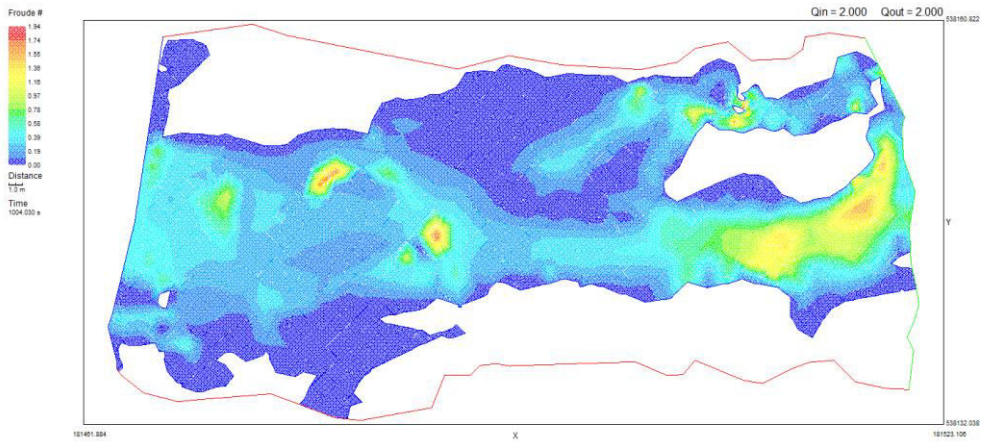


Fig. B. 16: Distribuição do **número de Froude** para um Q= 2 m^3/s

B.6.3. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q= 3 M^3/S

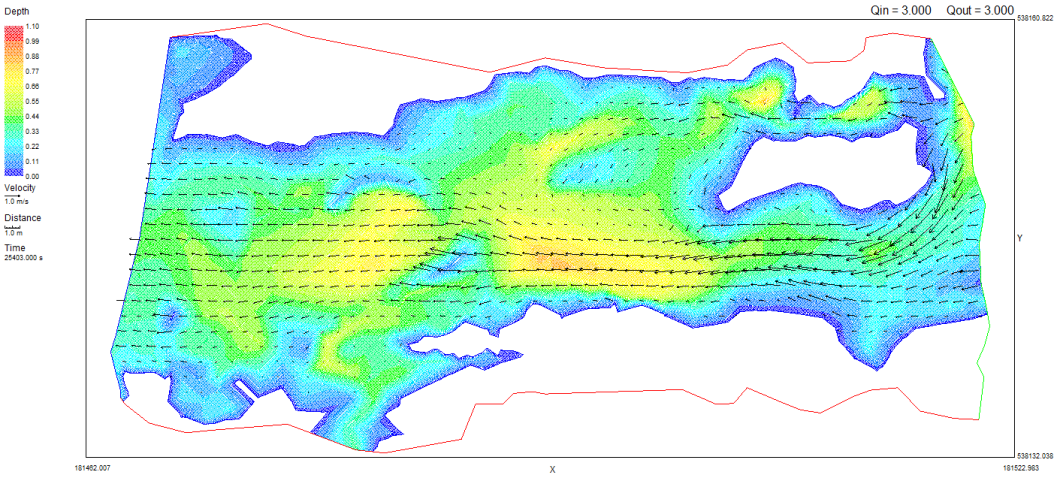


Fig. B. 17: Distribuição da **profundidade** para um Q= 3 m^3/s

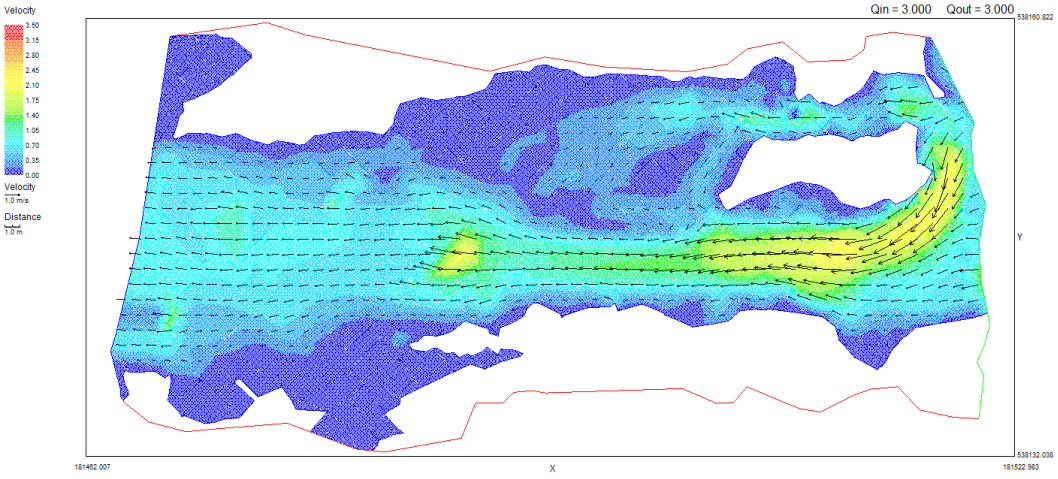


Fig. B. 18: Distribuição da **velocidade** para um Q= 3 m^3/s

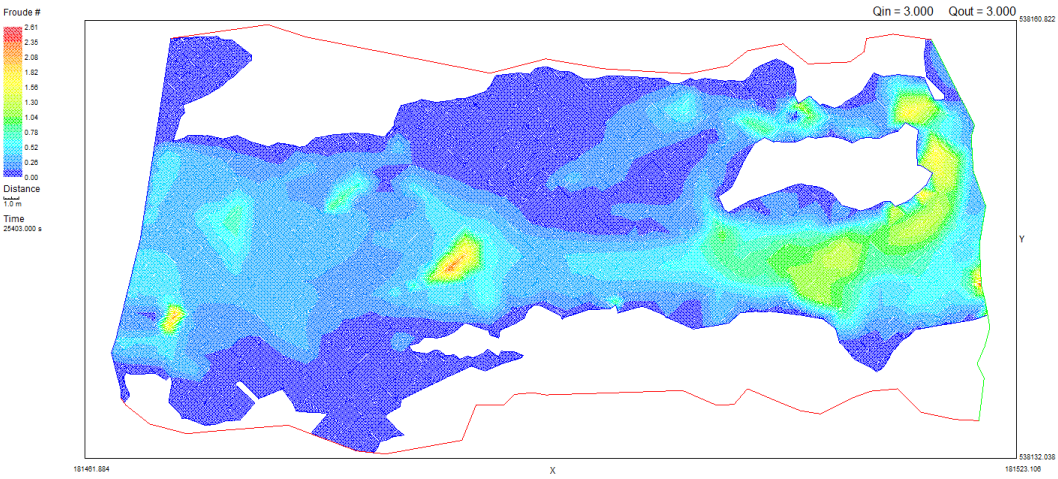


Fig. B. 19: Distribuição do **número de Froude** para um Q= 3 m^3/s

B.6.4. Resultados Obtidos para Q=4 m^3/s

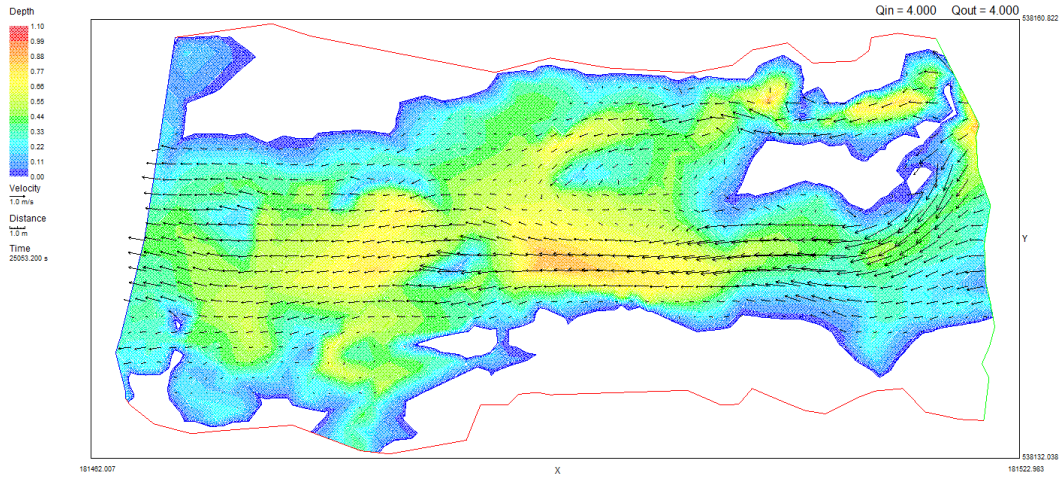


Fig. B. 20: Distribuição da **profundidade** para um Q=4 m^3/s

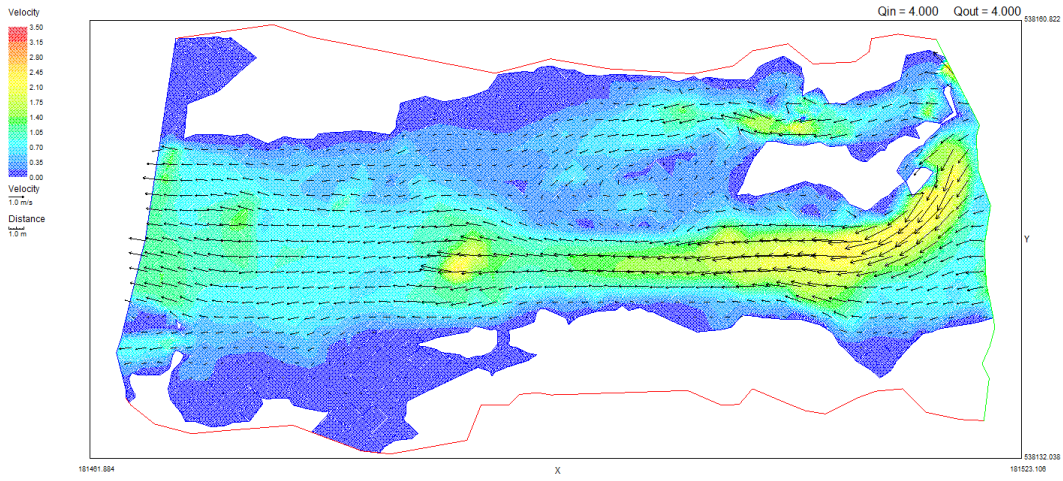


Fig. B. 21: Distribuição da **velocidade**para um Q=4 m^3/s

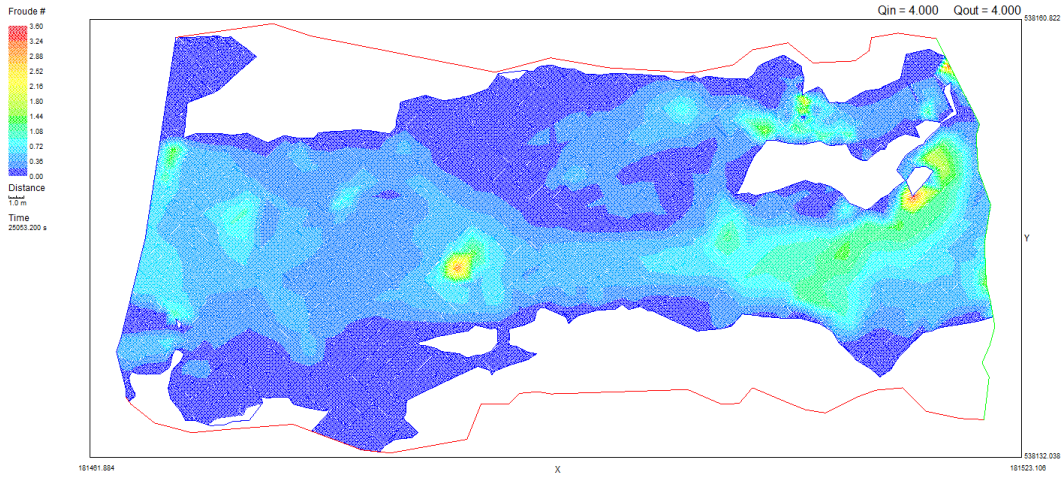


Fig. B. 22: Distribuição do **número de Froude** para um Q=4 m^3/s

B.6.5. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 5 M^3/S

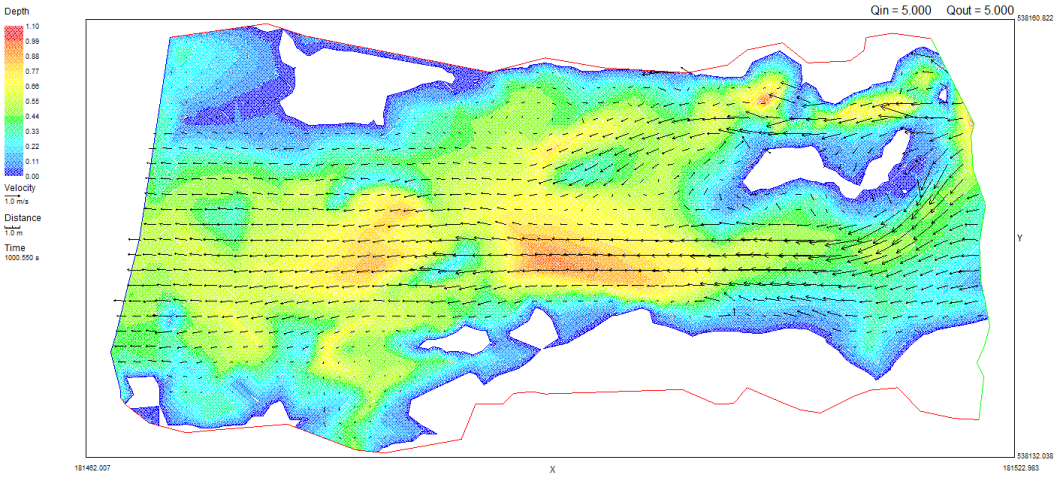


Fig. B. 23: Distribuição da **profundidade** para um Q = 5 m^3/s

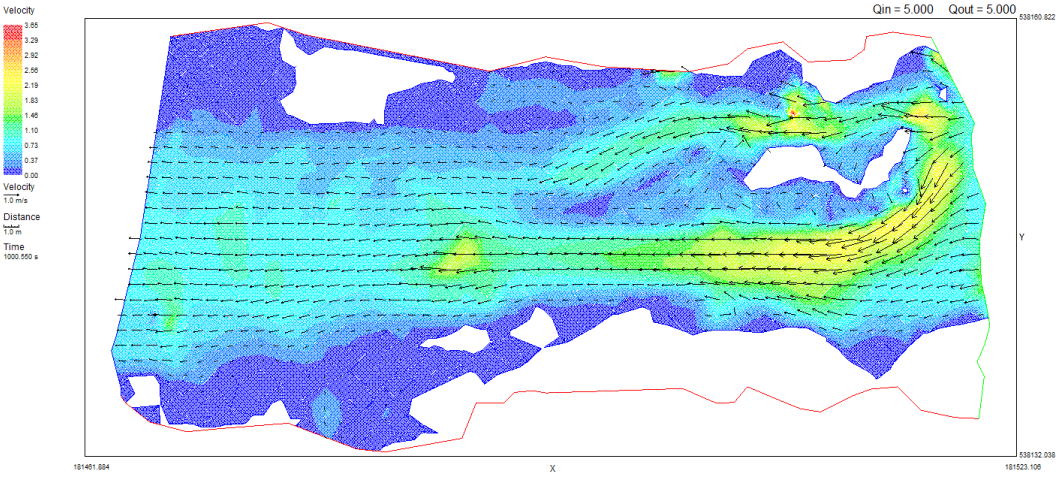


Fig. B. 24: Distribuição da **velocidade** para um Q = 5 m^3/s

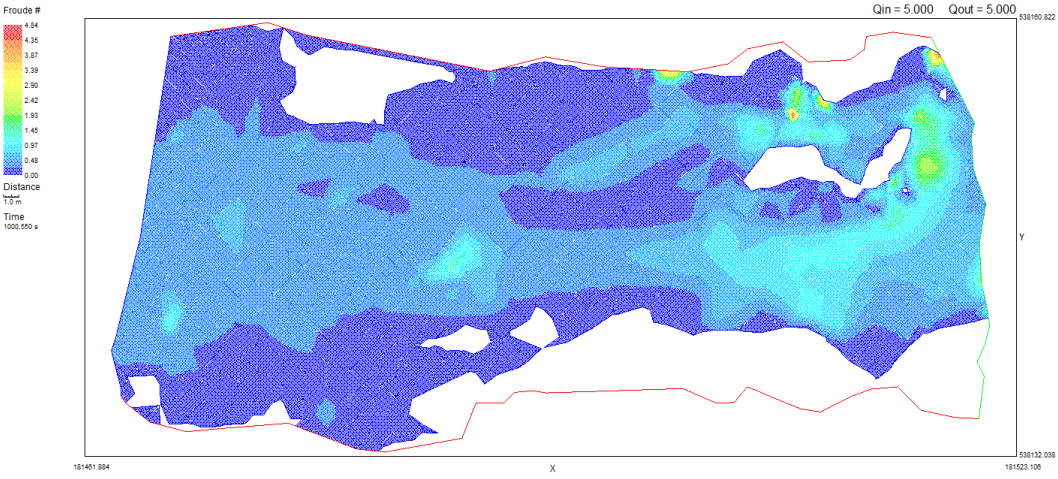


Fig. B. 25: Distribuição do **número de Froude** para um Q = 5 m^3/s

B.6.6. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 5,5 M^3/S

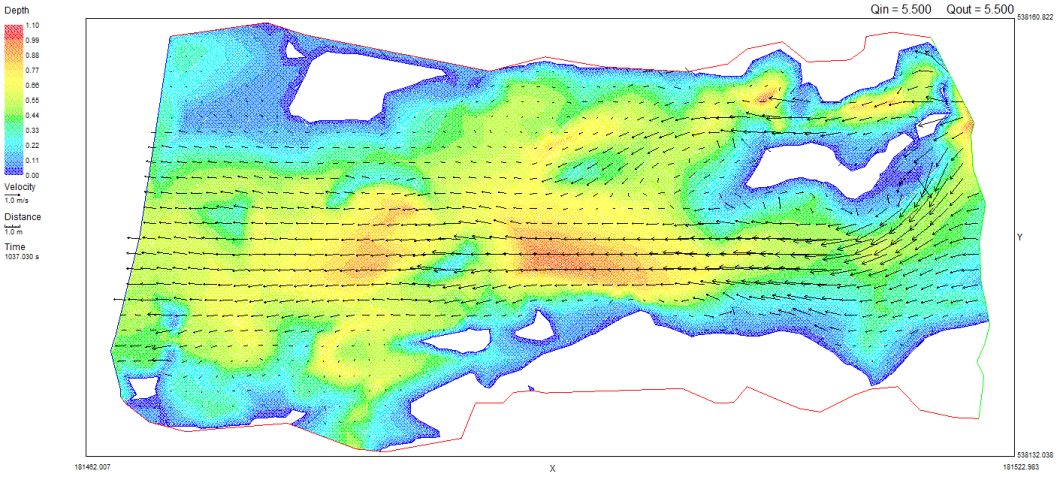


Fig. B. 26: Distribuição da **profundidade** para um Q = 5,5 m^3/s

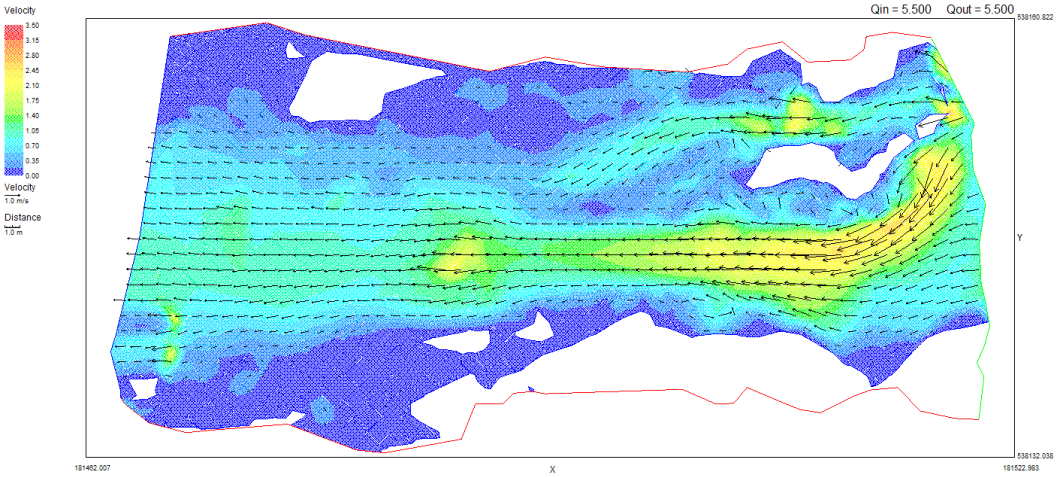


Fig. B. 27: Distribuição da **velocidade** para um Q = 5,5 m^3/s

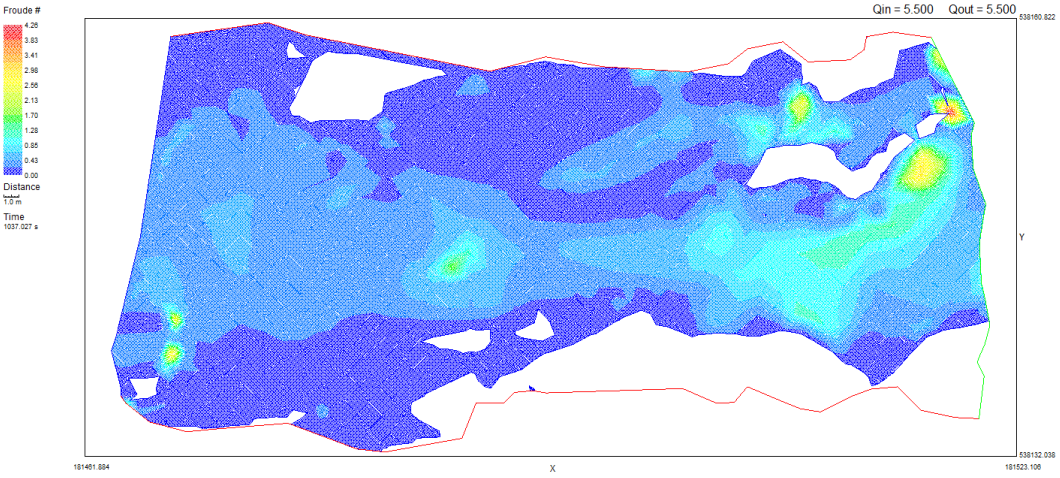


Fig. B. 28: Distribuição do **número de Froude** para um Q = 5,5 m^3/s

B.7. SIMULAÇÃO DE HABITAT

B.7.1. RESULTADOS OBTIDOS PARA A BOGA-COMUM (ADULTO)

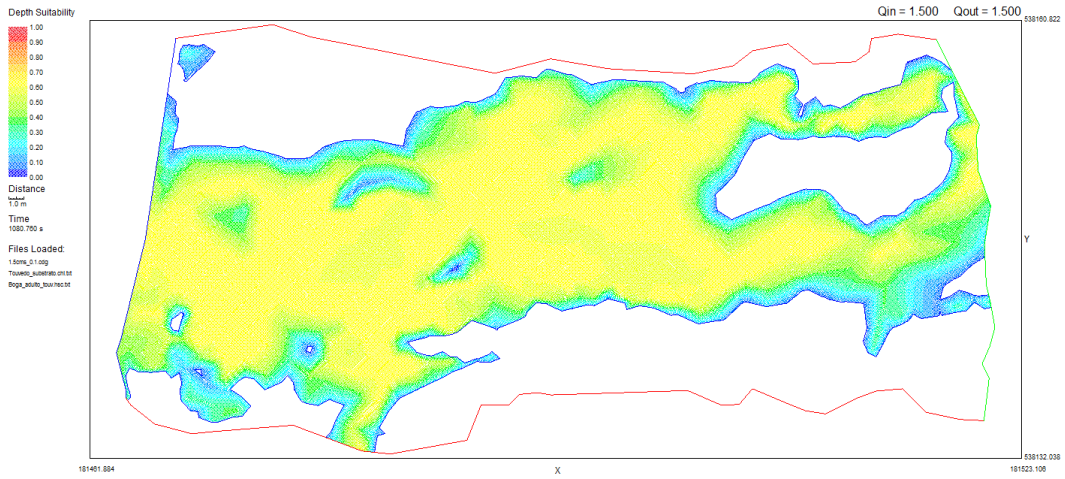


Fig. B. 29: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

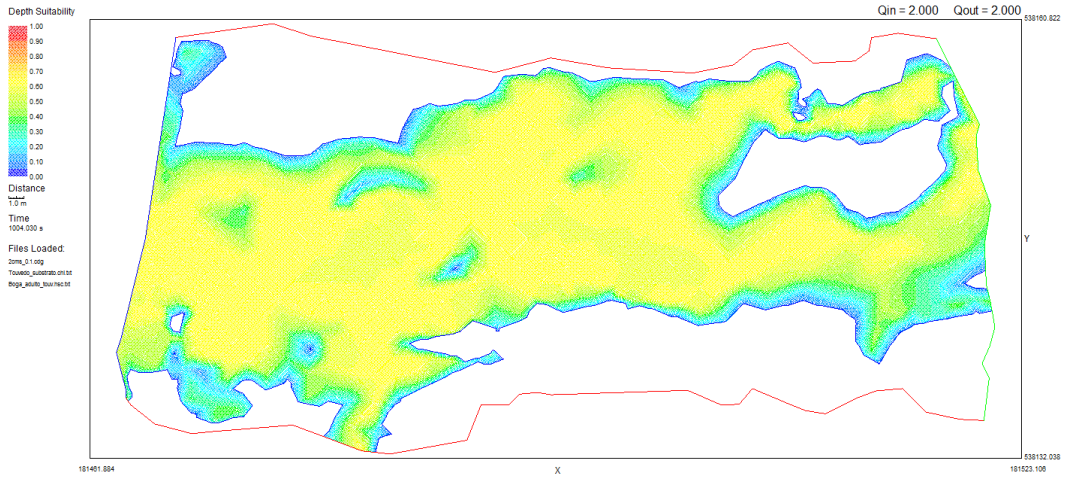


Fig. B. 30: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

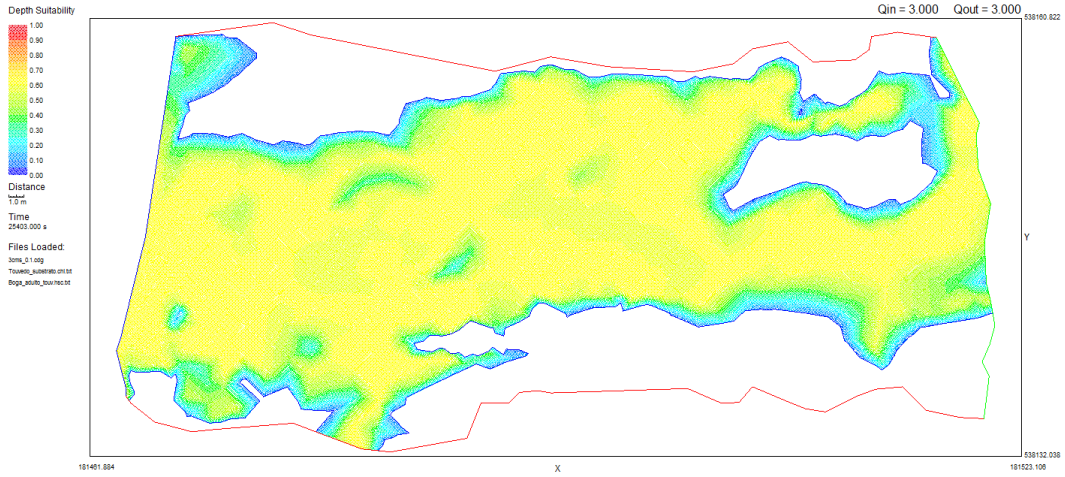


Fig. B. 31: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

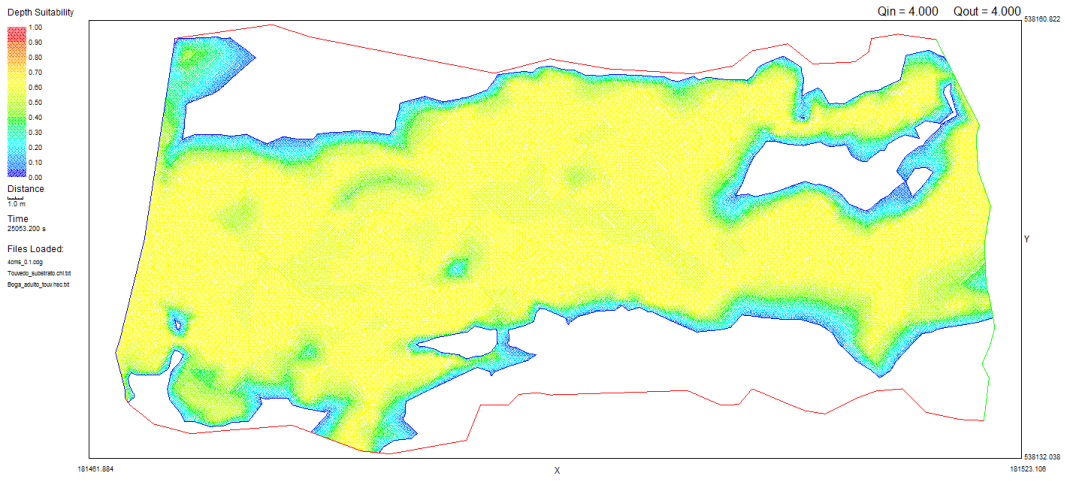


Fig. B. 32: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

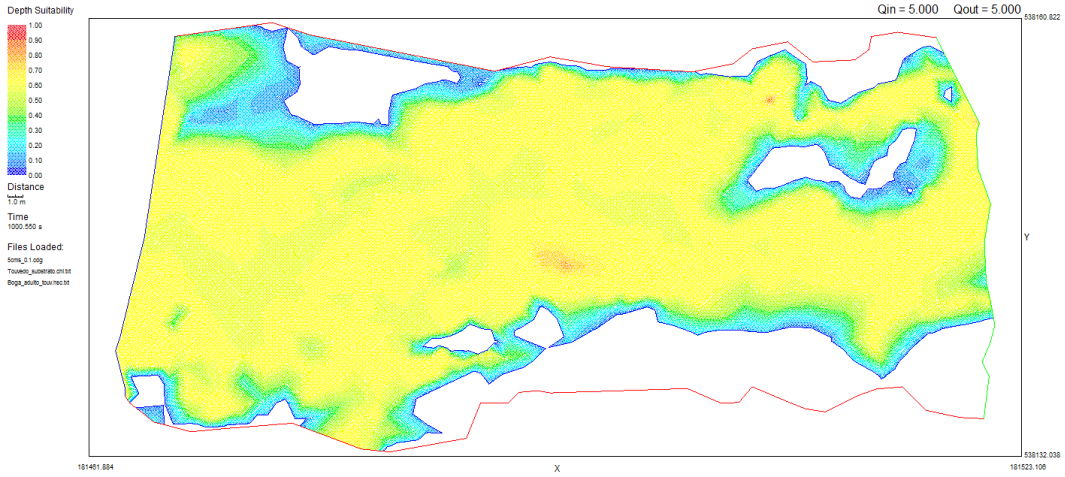


Fig. B. 33: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$

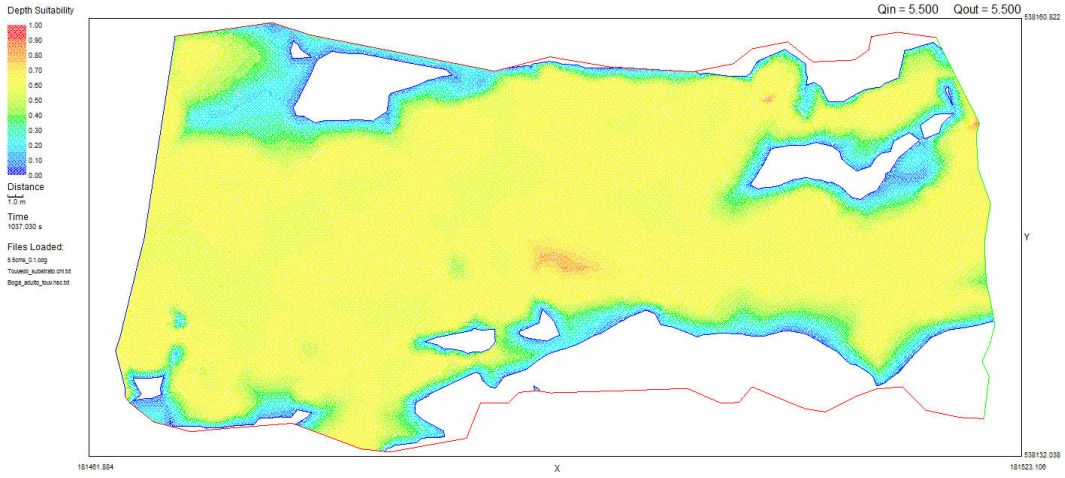


Fig. B. 34: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

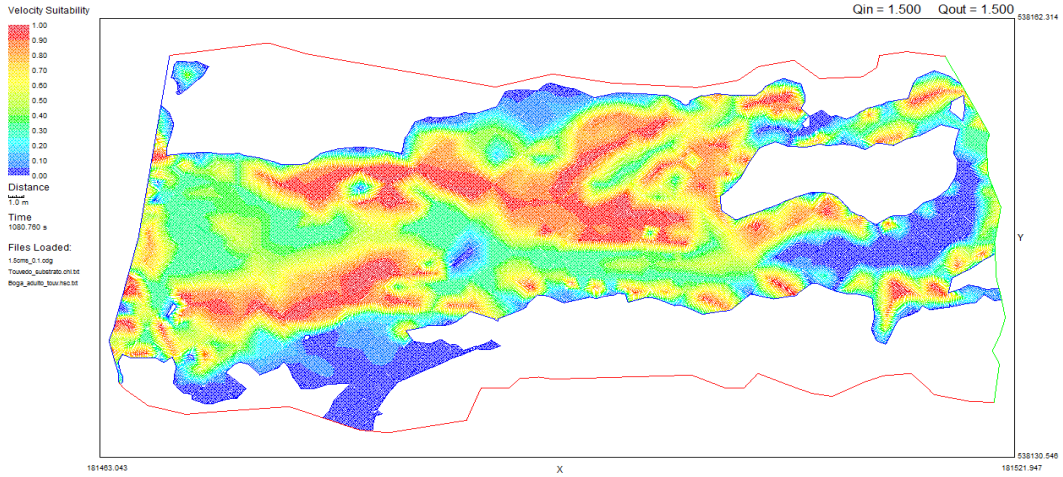


Fig. B. 35: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

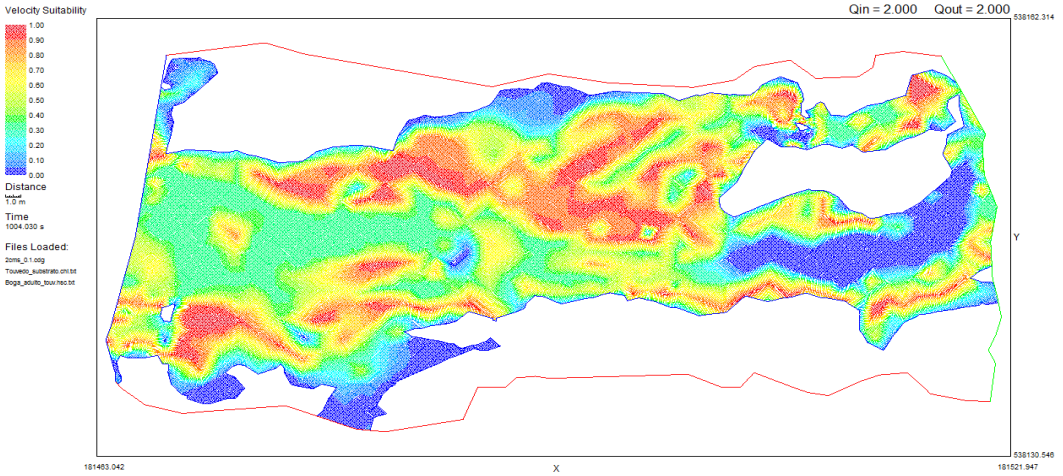


Fig. B. 36: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

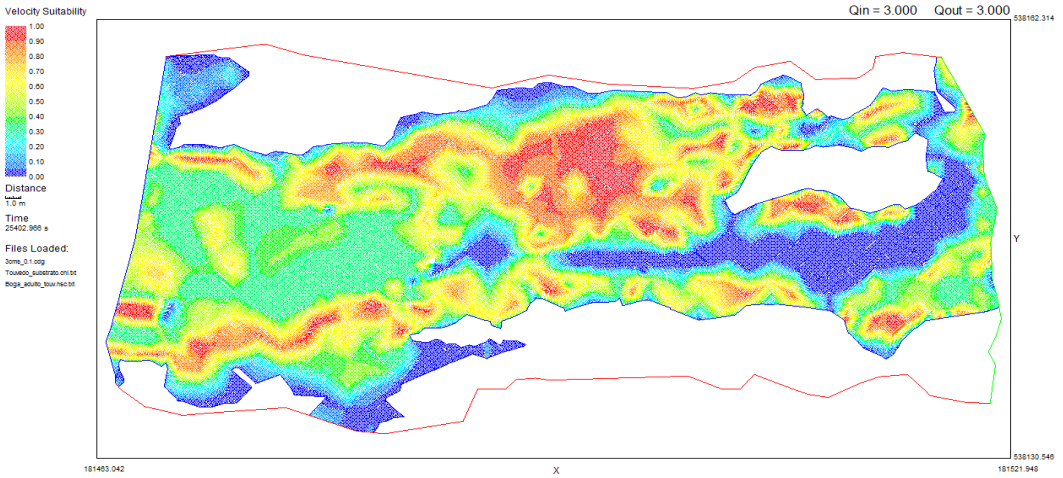


Fig. B. 37: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

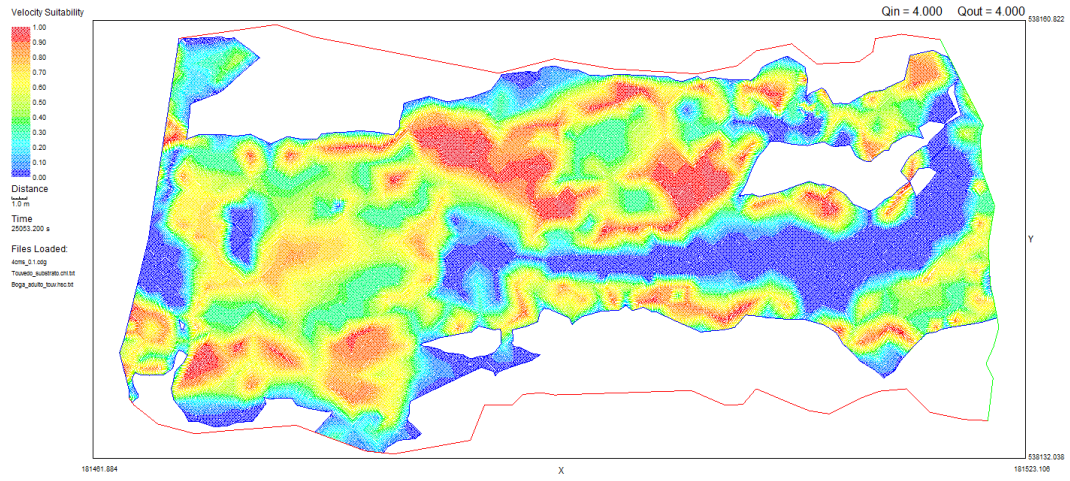


Fig. B. 38: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

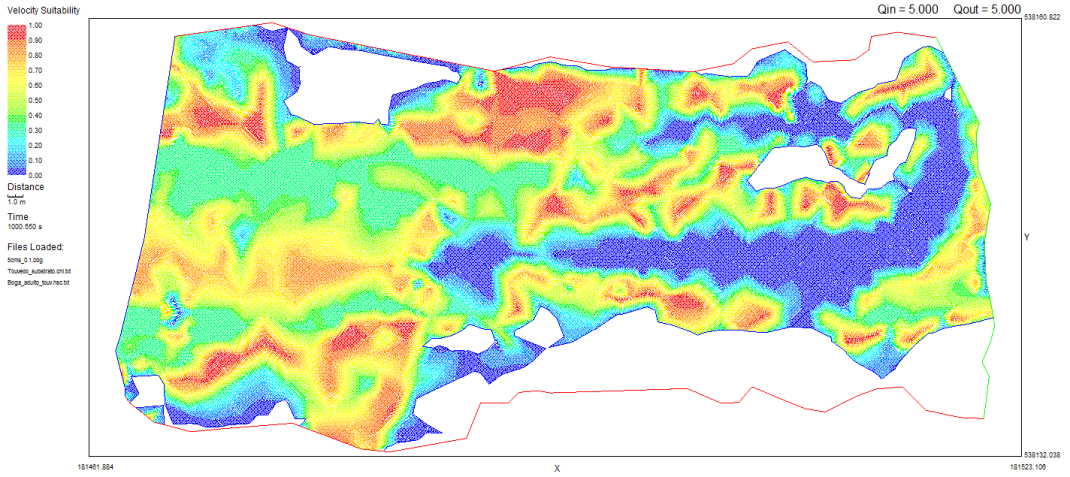


Fig. B. 39: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$

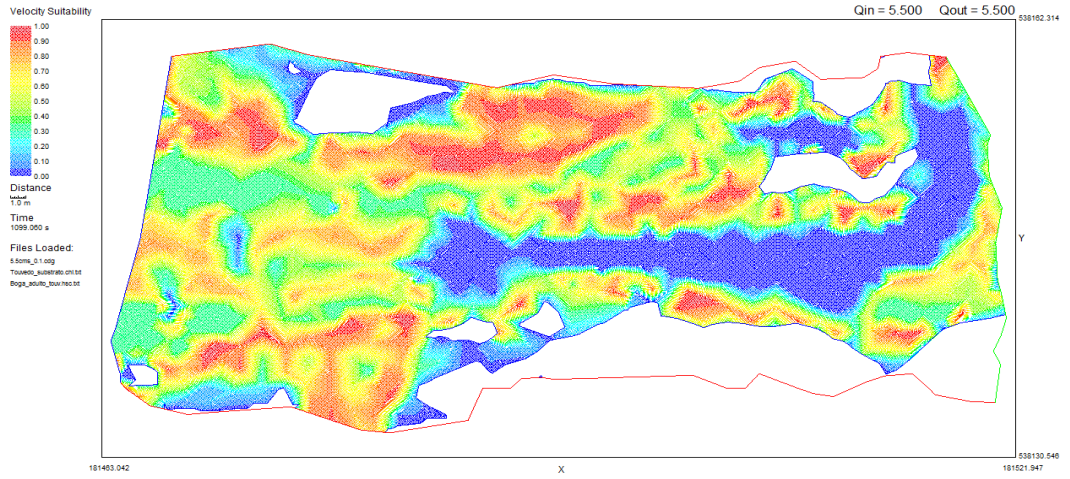


Fig. B. 40: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

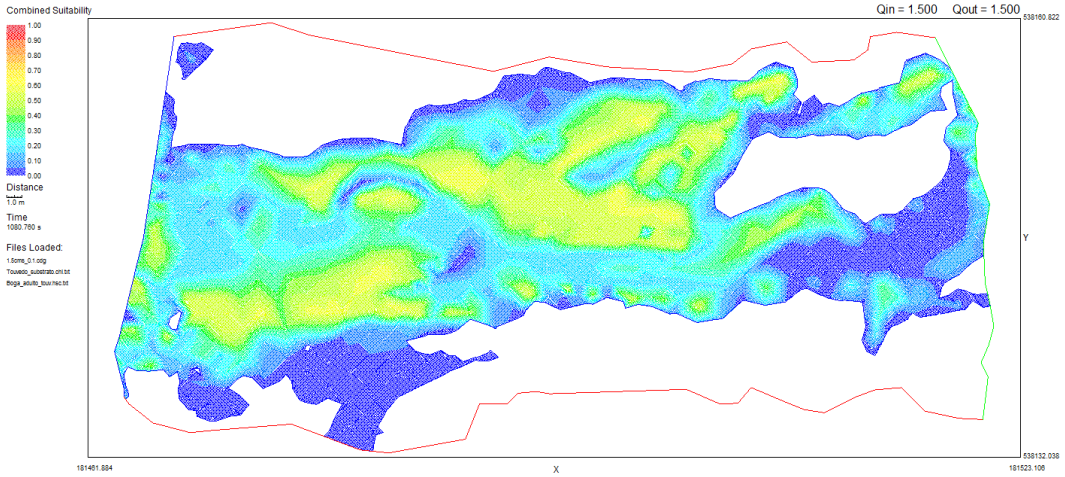


Fig. B. 41: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

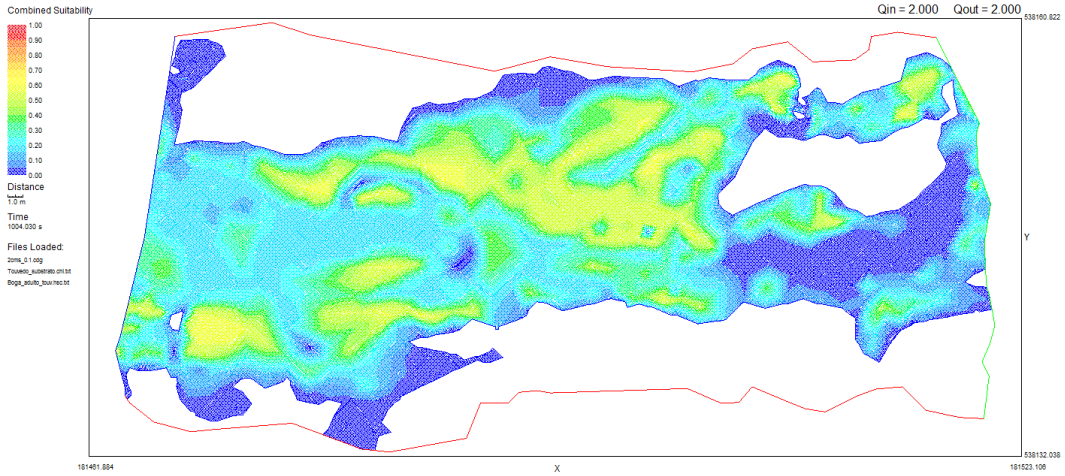


Fig. B. 42: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

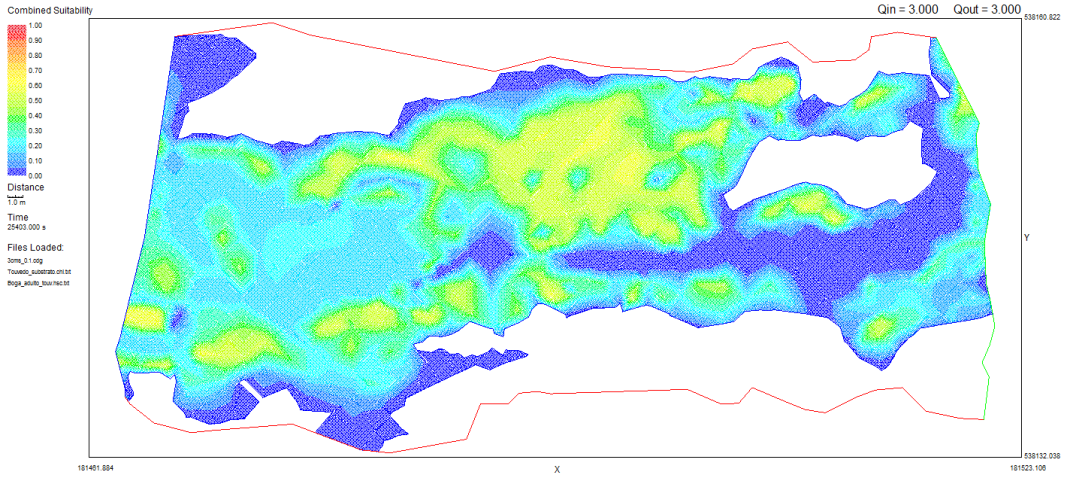


Fig. B. 43: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

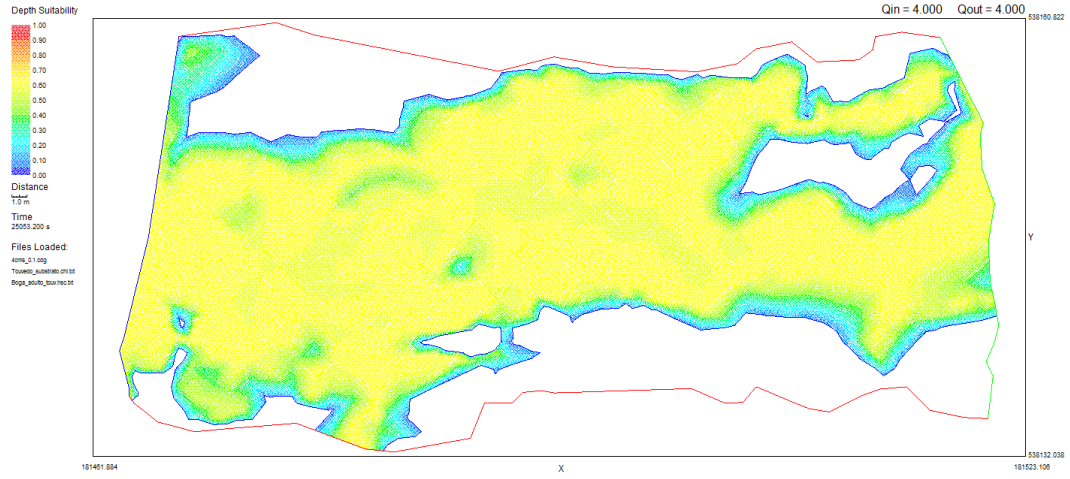


Fig. B. 44: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

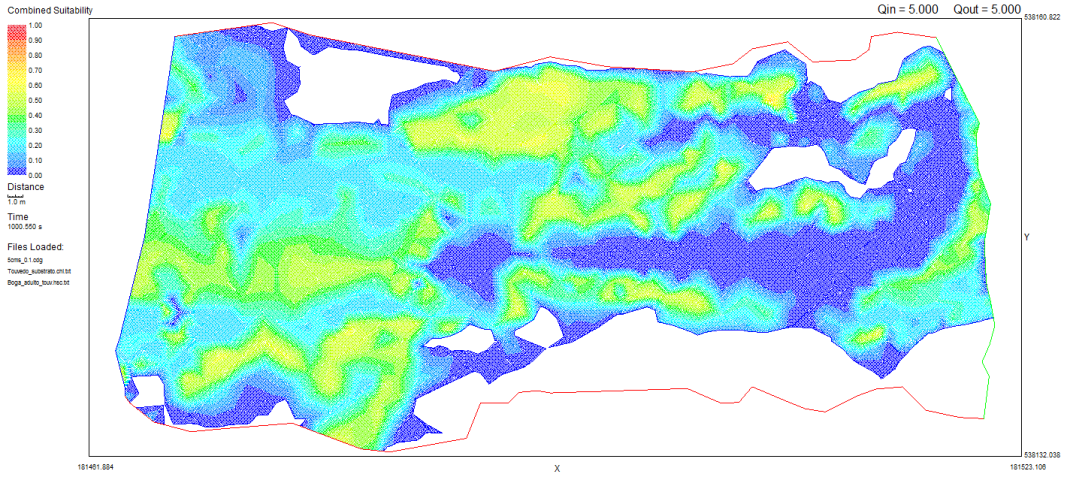


Fig. B. 45: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$

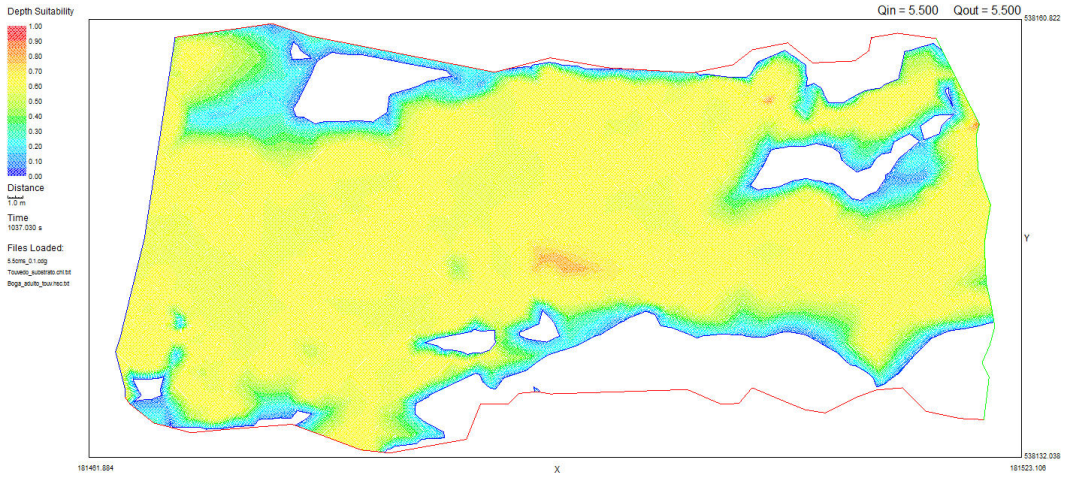


Fig. B. 46: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

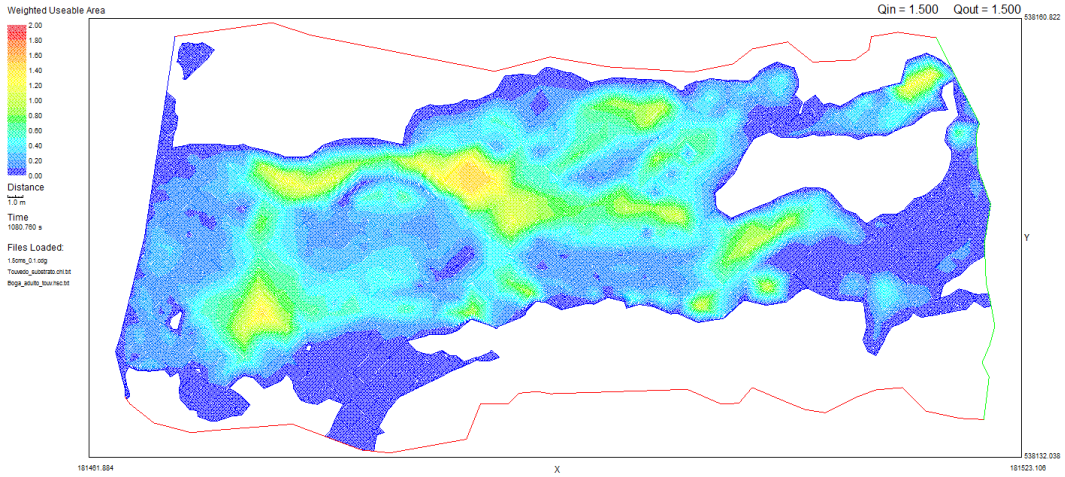


Fig. B. 47: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

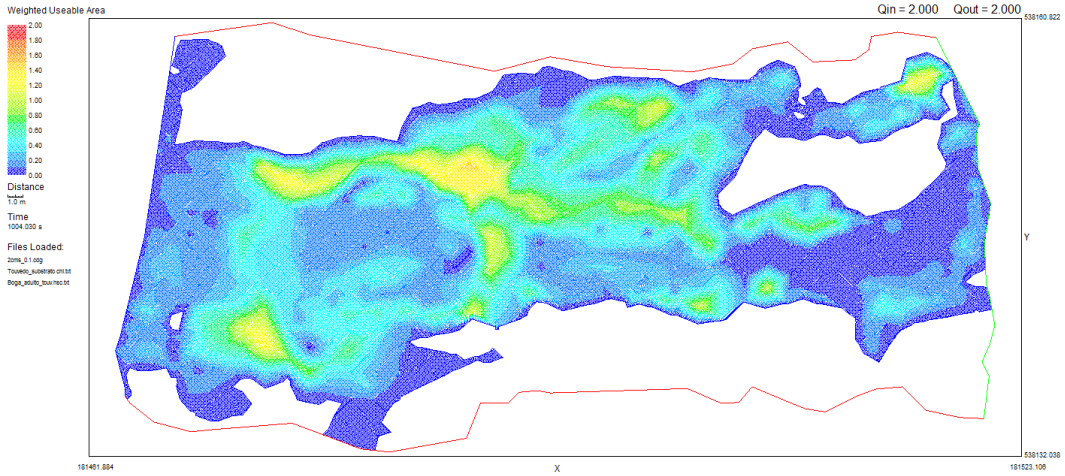


Fig. B. 48: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

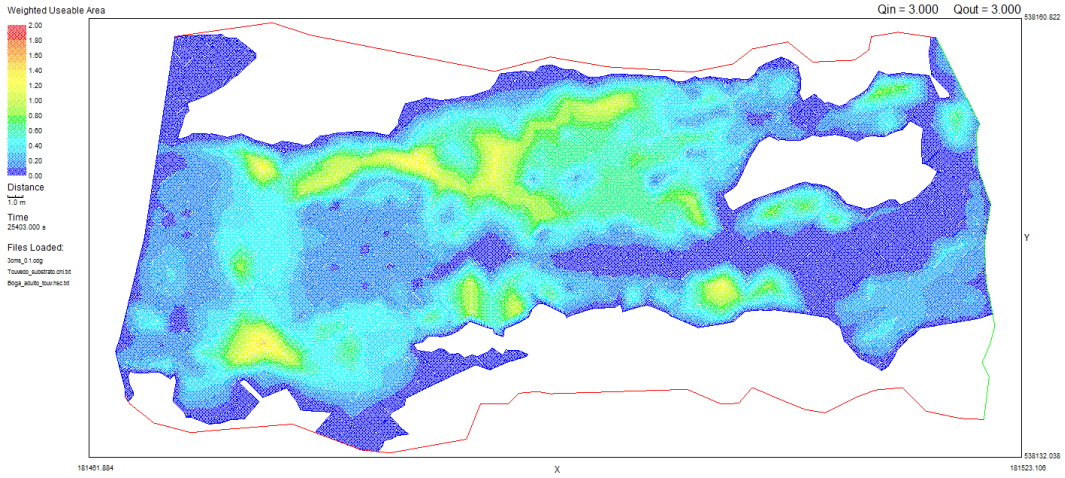


Fig. B. 49: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

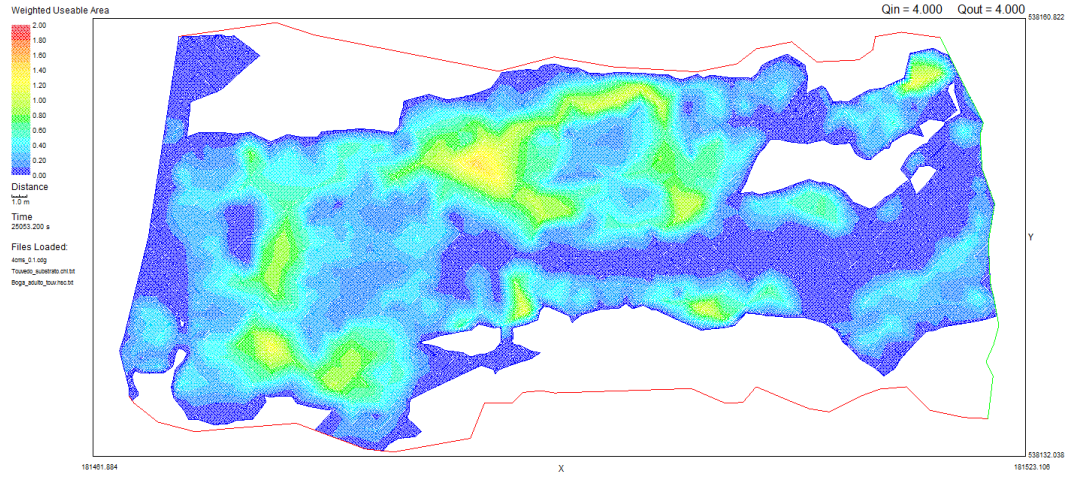


Fig. B. 50: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

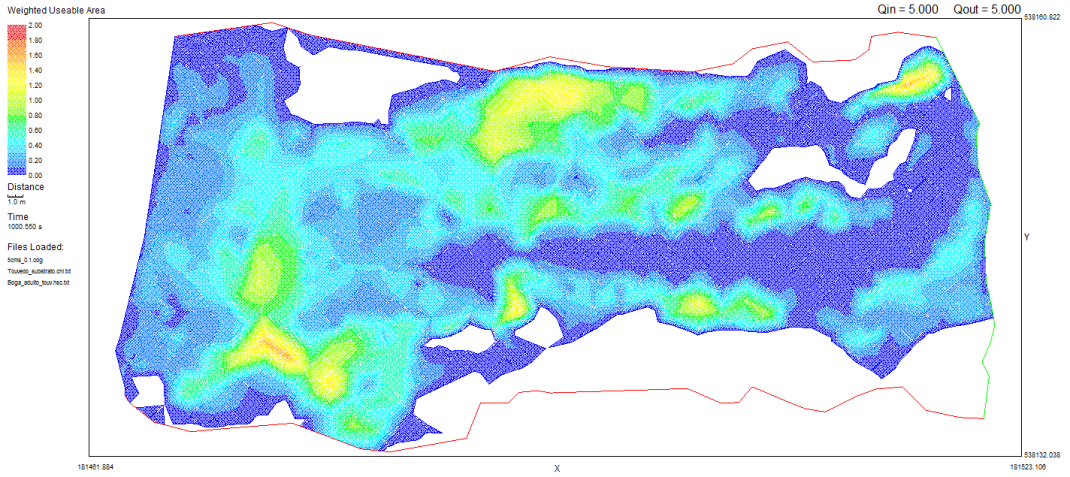


Fig. B. 51: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 5m^3/s$

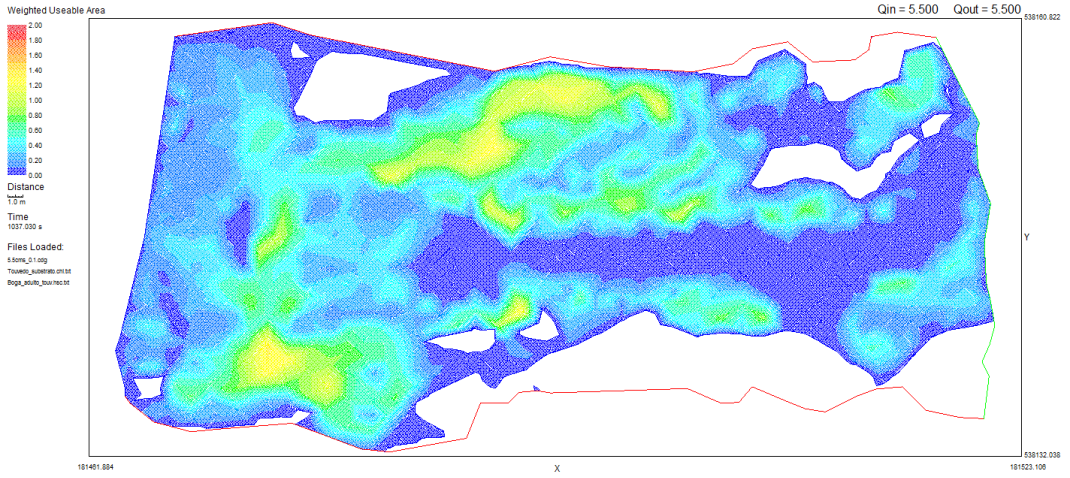


Fig. B. 52: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

B.7.2. RESULTADOS OBTIDOS PARA A BOGA-COMUM (JUVENIL)

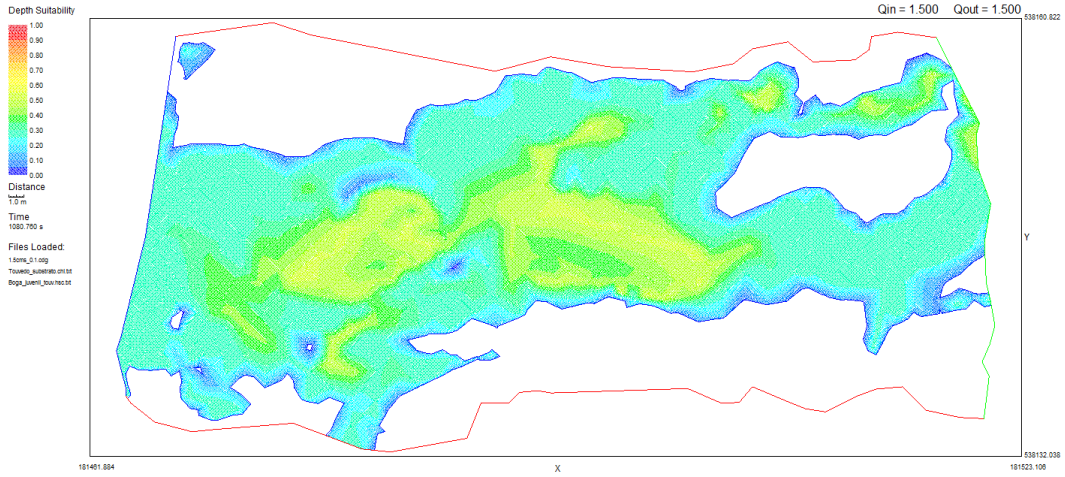


Fig. B. 53: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

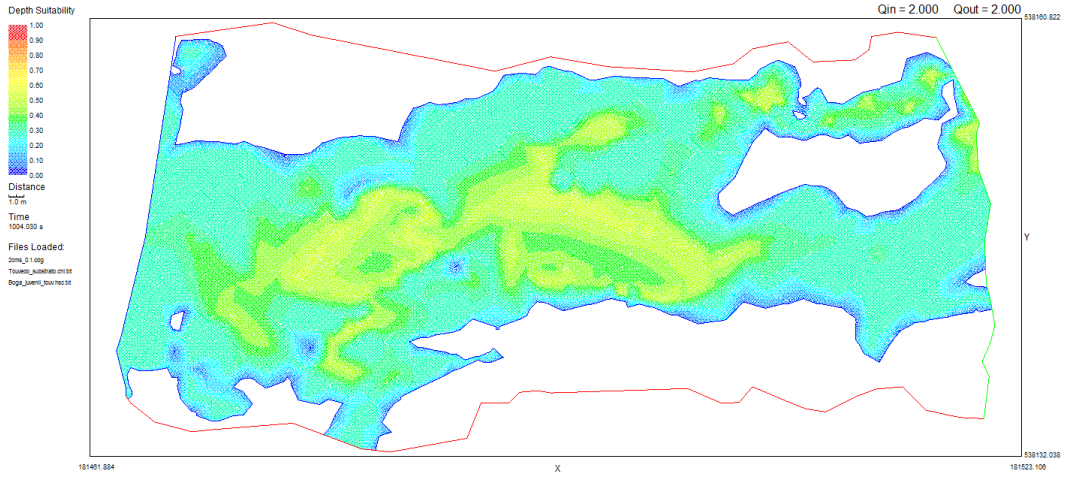


Fig. B. 54: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

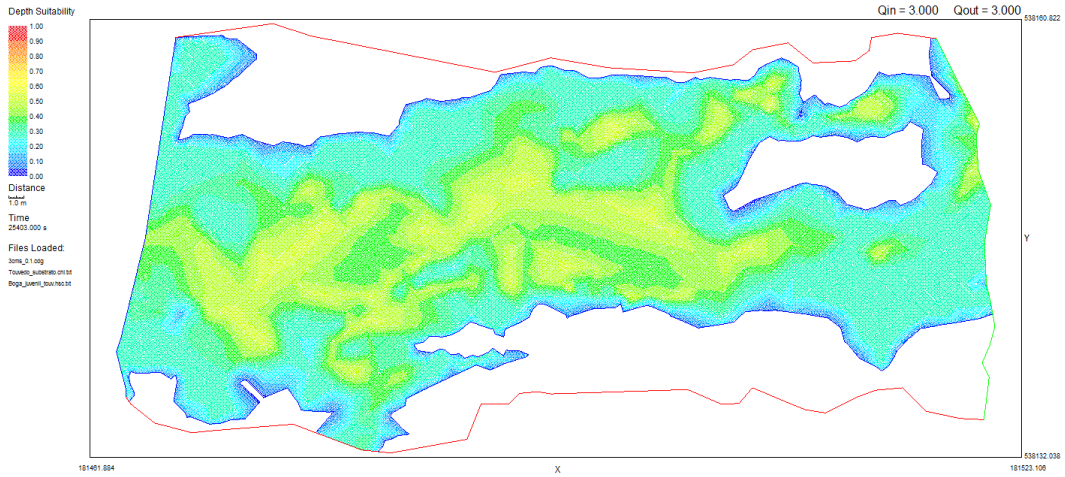


Fig. B. 55: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

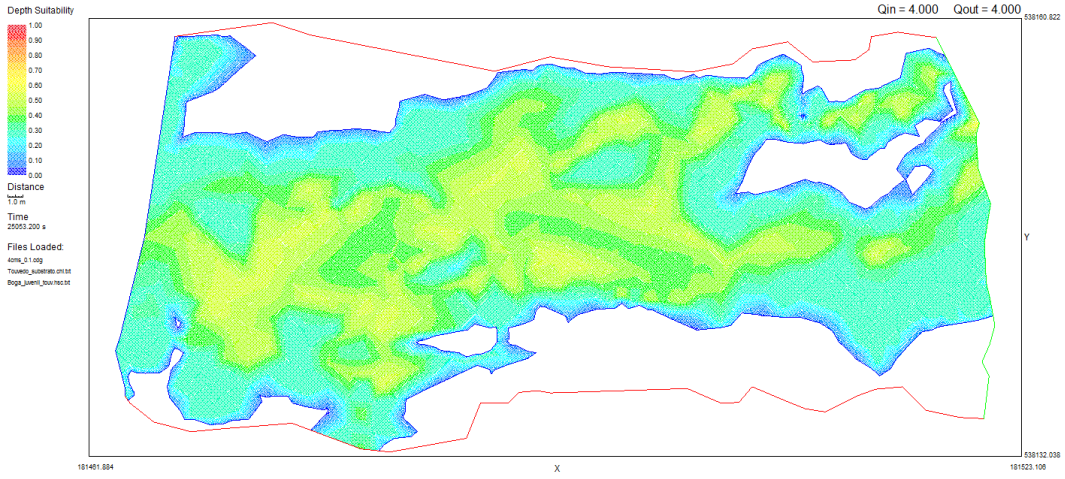


Fig. B. 56: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

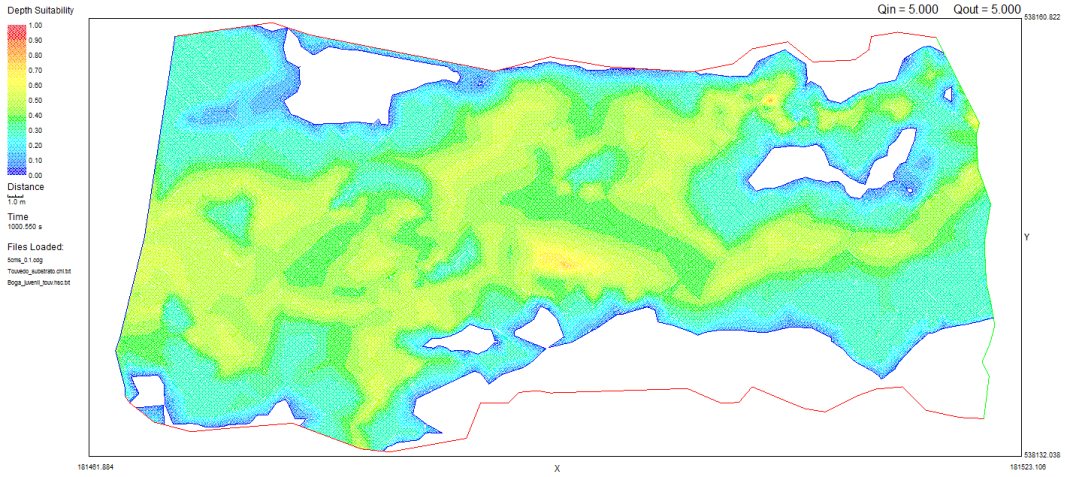


Fig. B. 57: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$

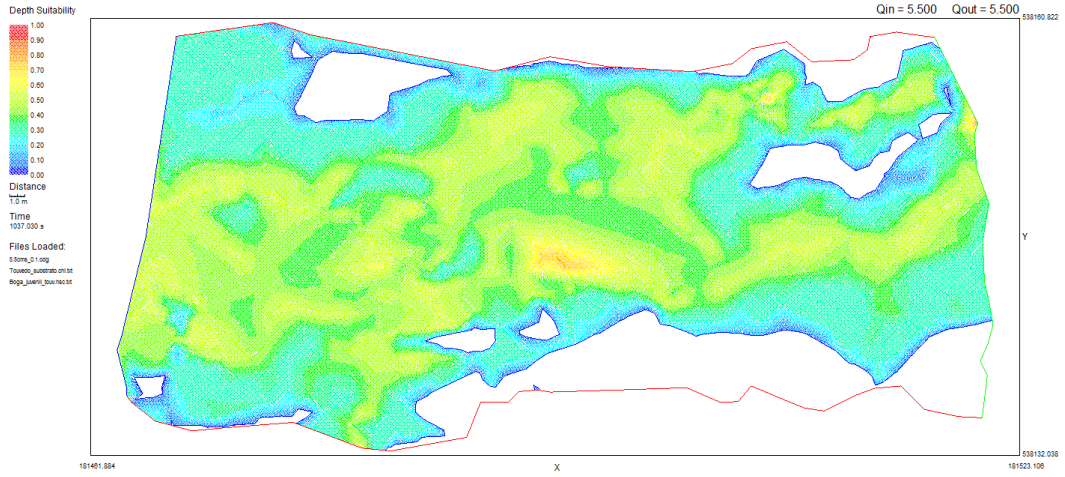


Fig. B. 58: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

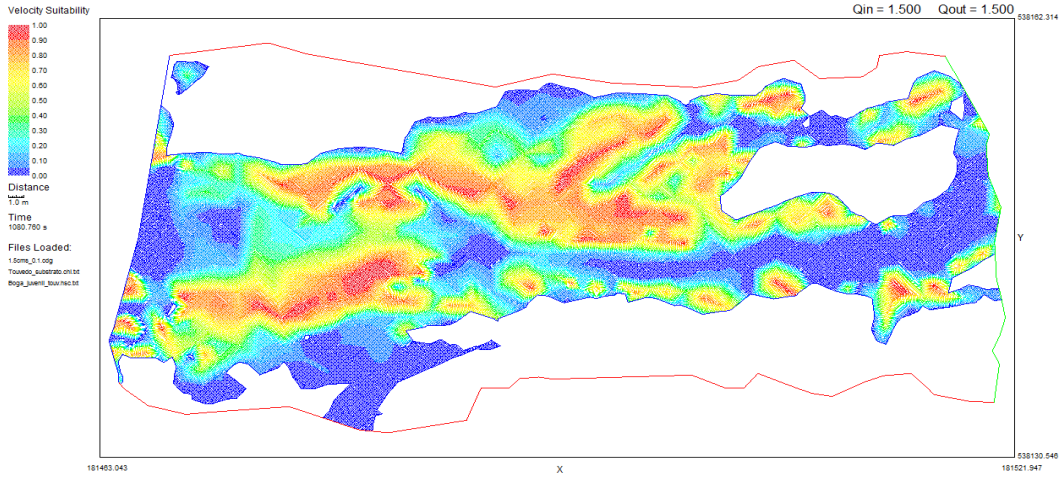


Fig. B. 59: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

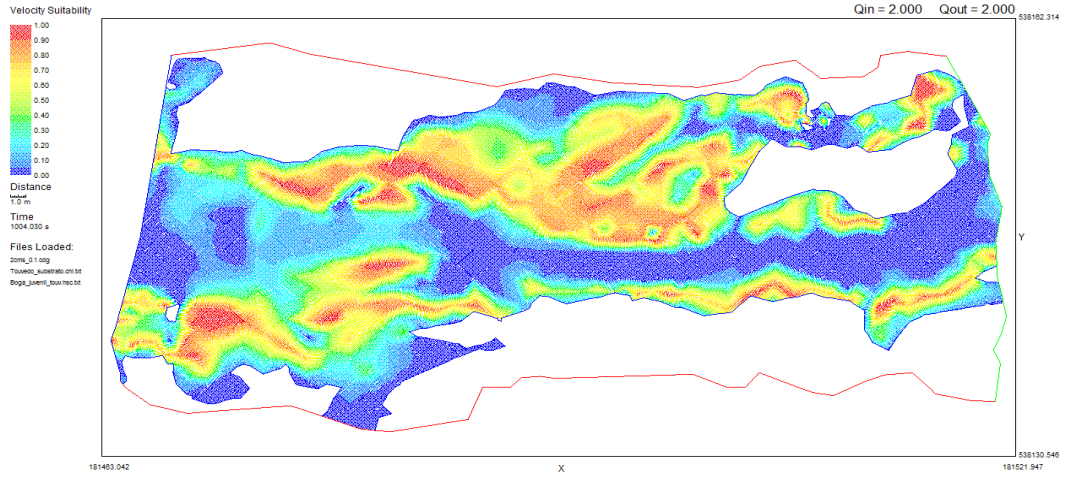


Fig. B. 60: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

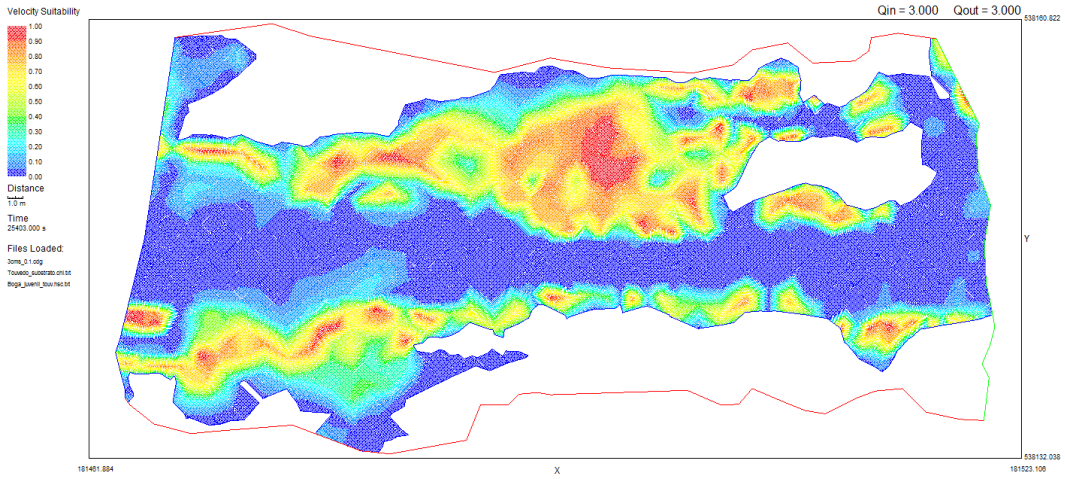


Fig. B. 61: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

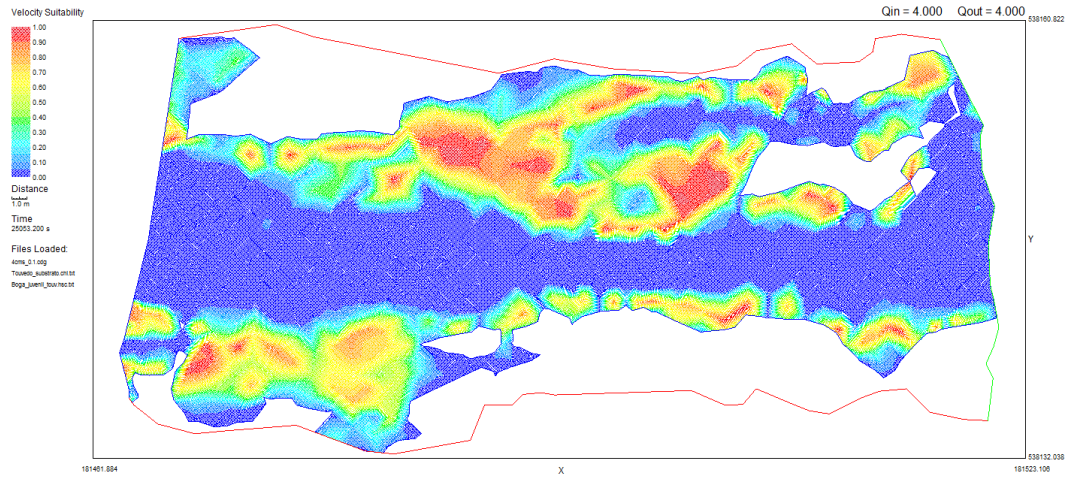


Fig. B. 62: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

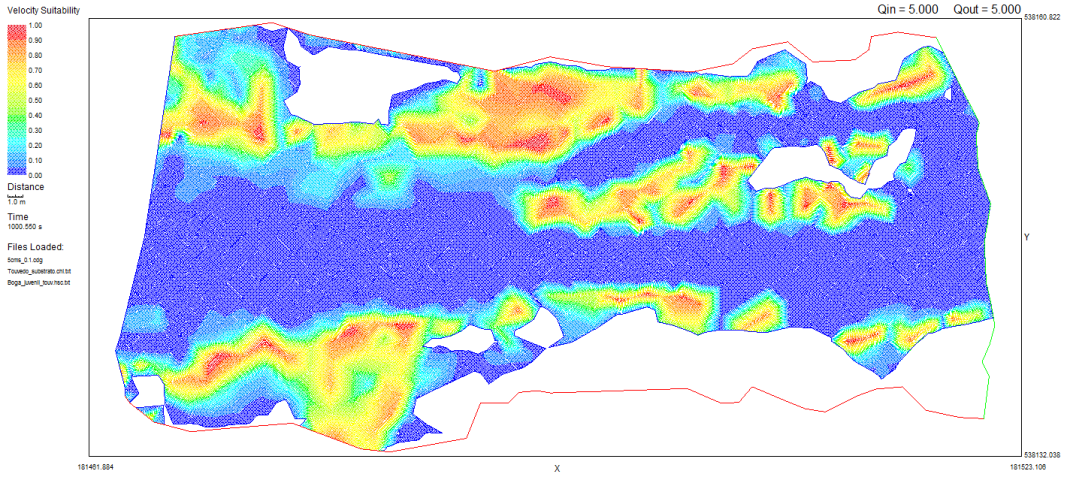


Fig. B. 63: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$

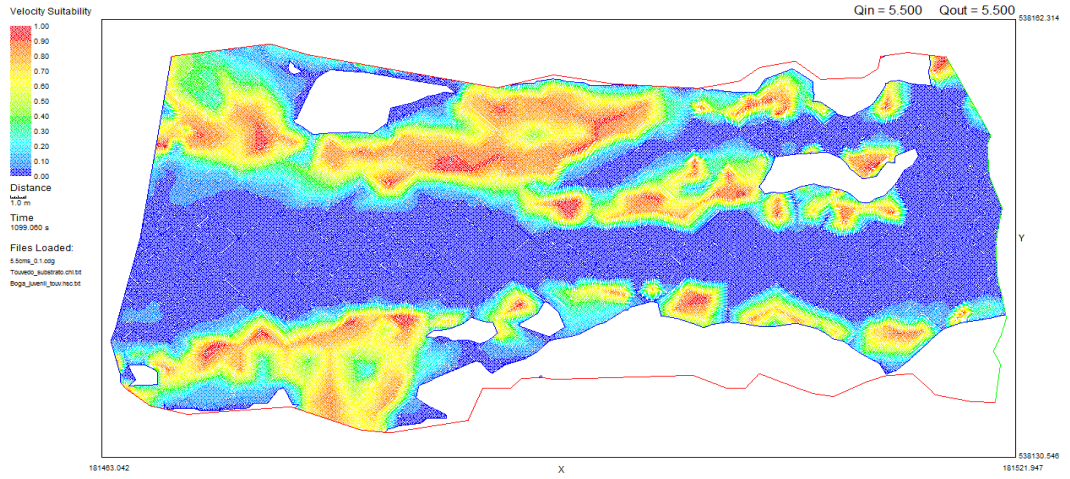


Fig. B. 64: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

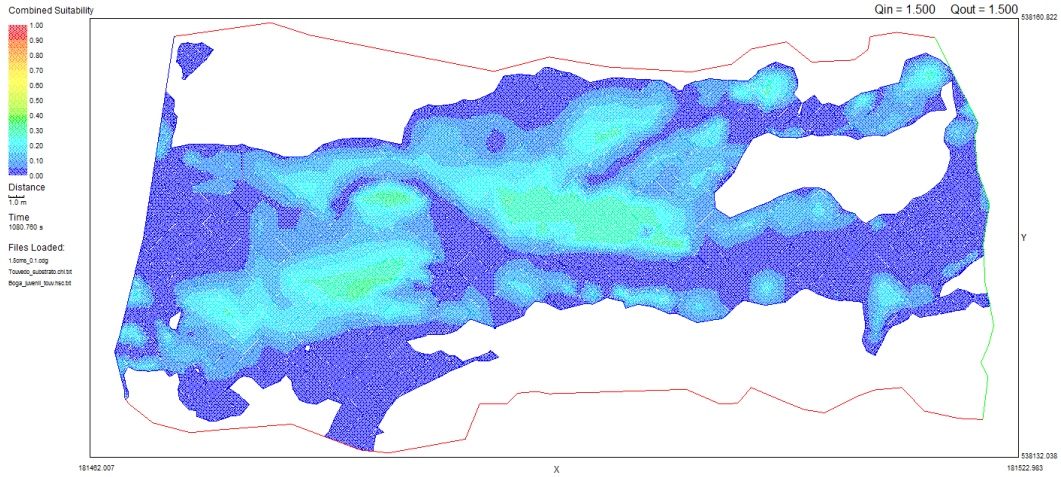


Fig. B. 65: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

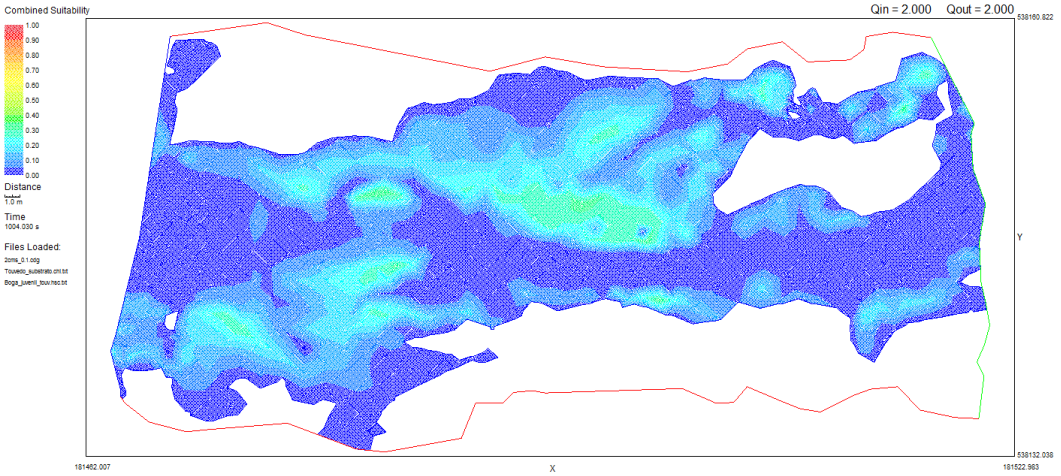


Fig. B. 66: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

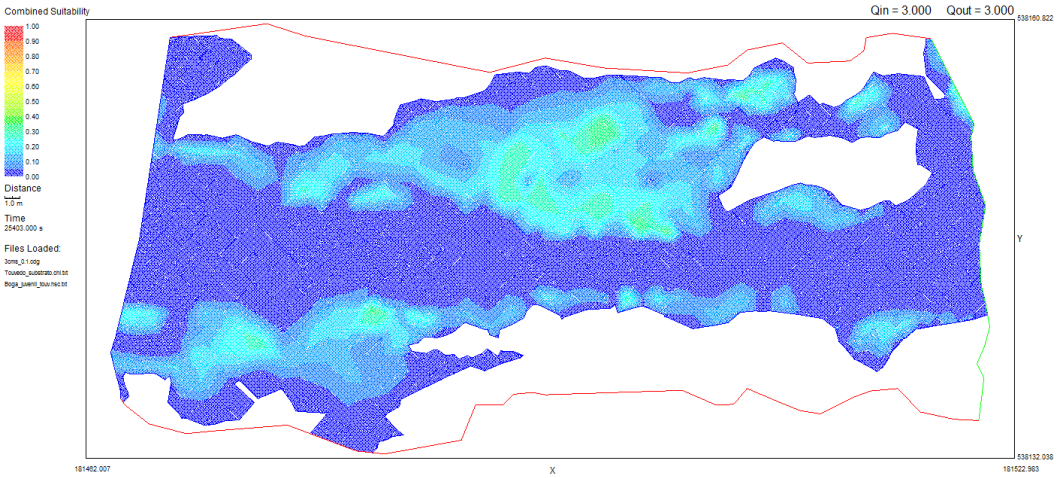


Fig. B. 67: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

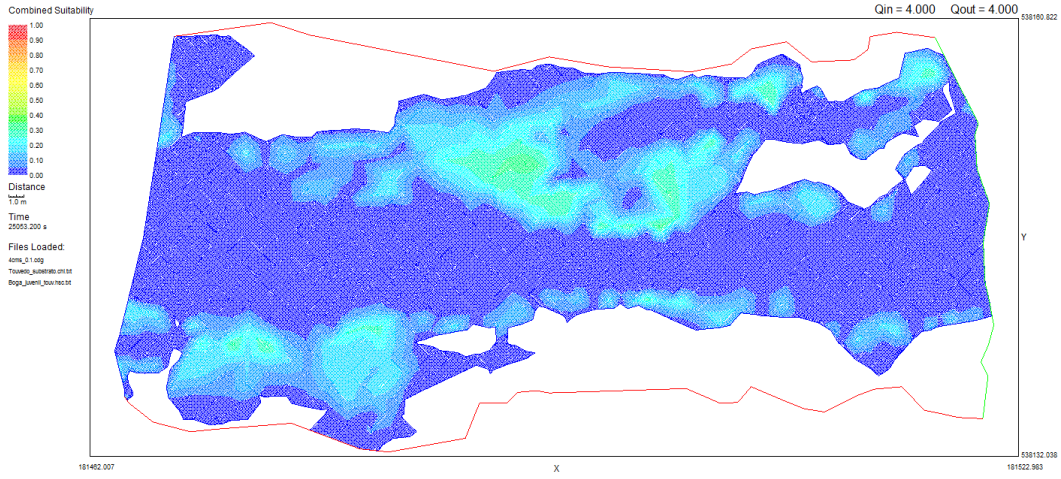


Fig. B. 68: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

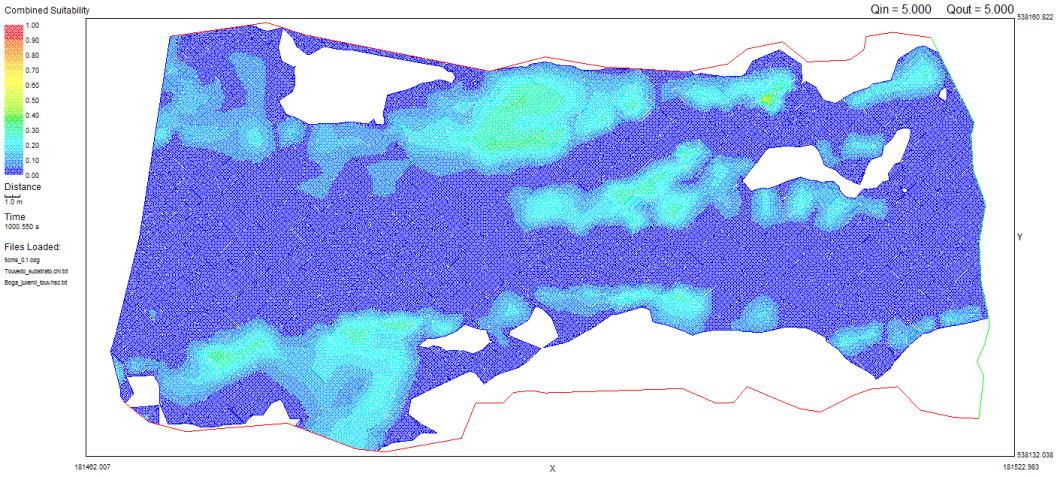


Fig. B. 69: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$

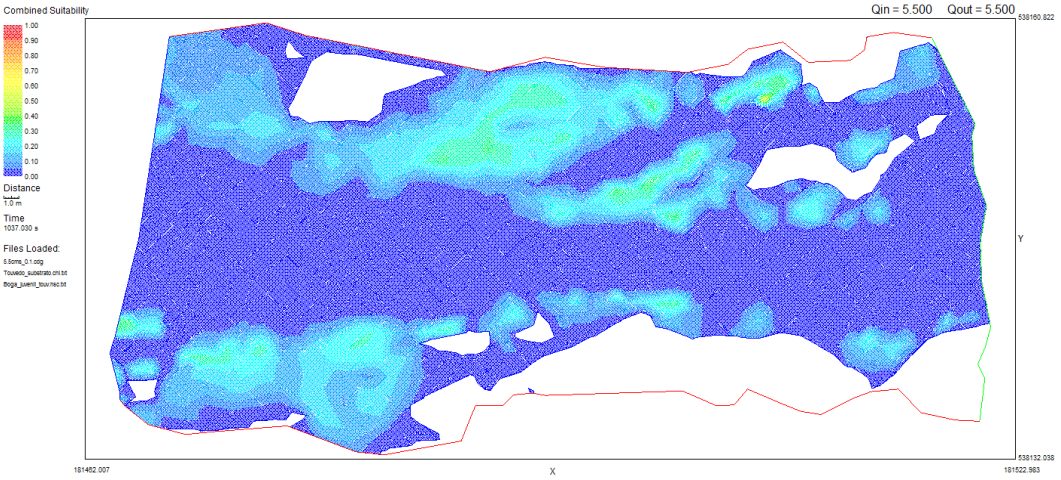


Fig. B. 70: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

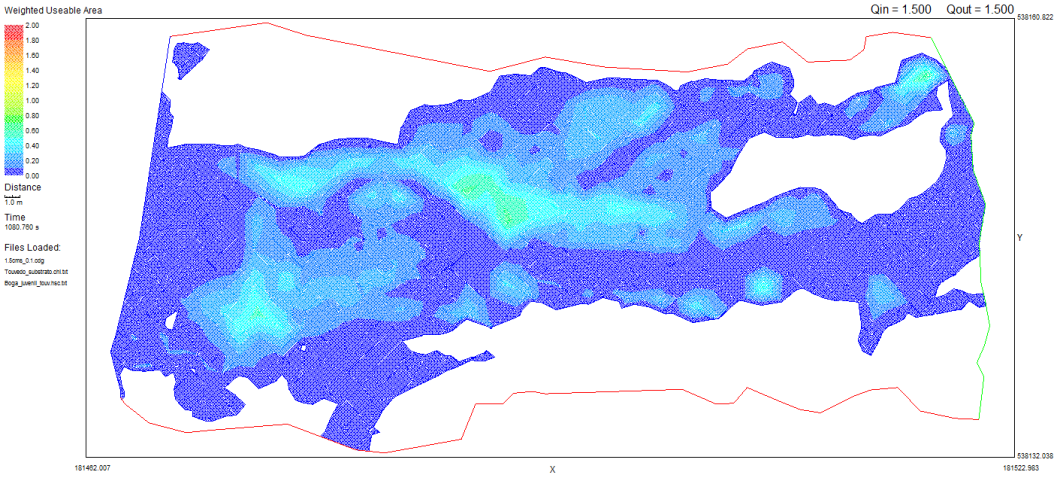


Fig. B. 71: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

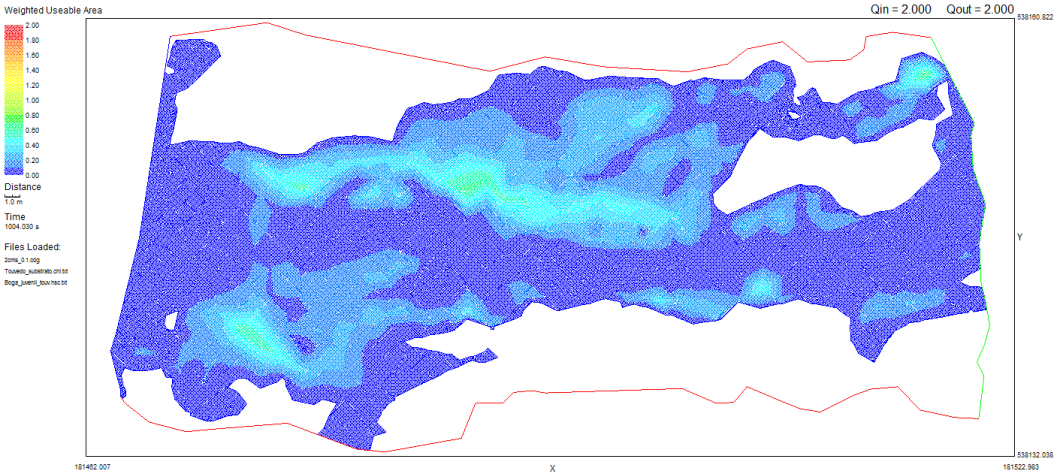


Fig. B. 72: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

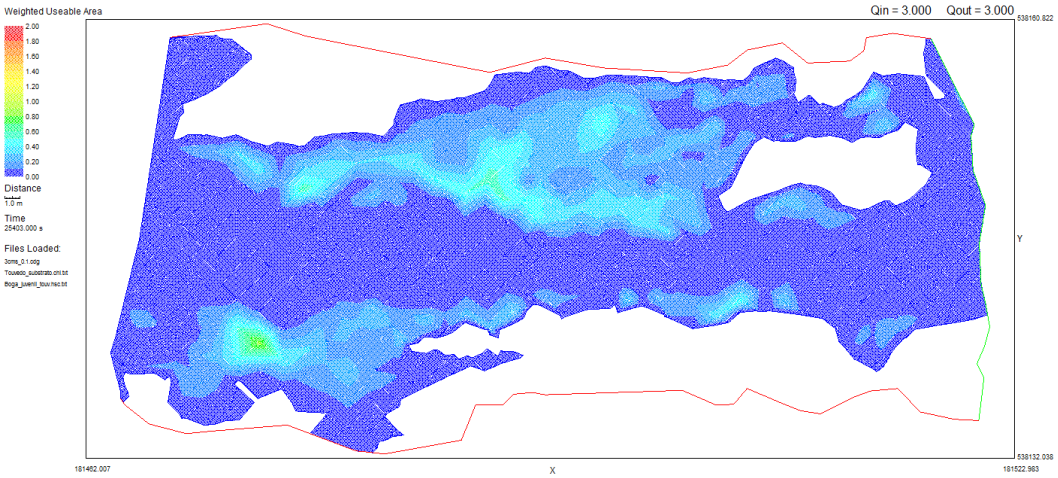


Fig. B. 73: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

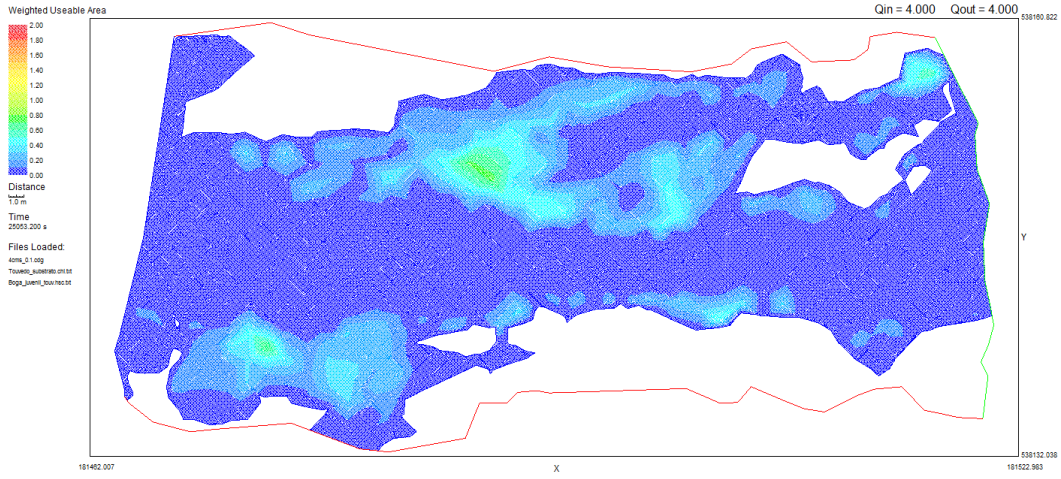


Fig. B. 74: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

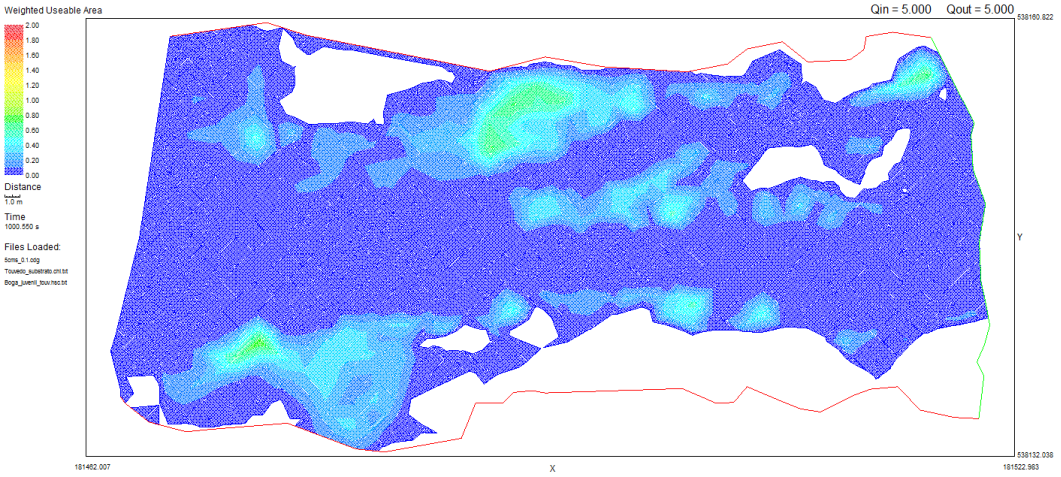


Fig. B. 75: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5m^3/s$

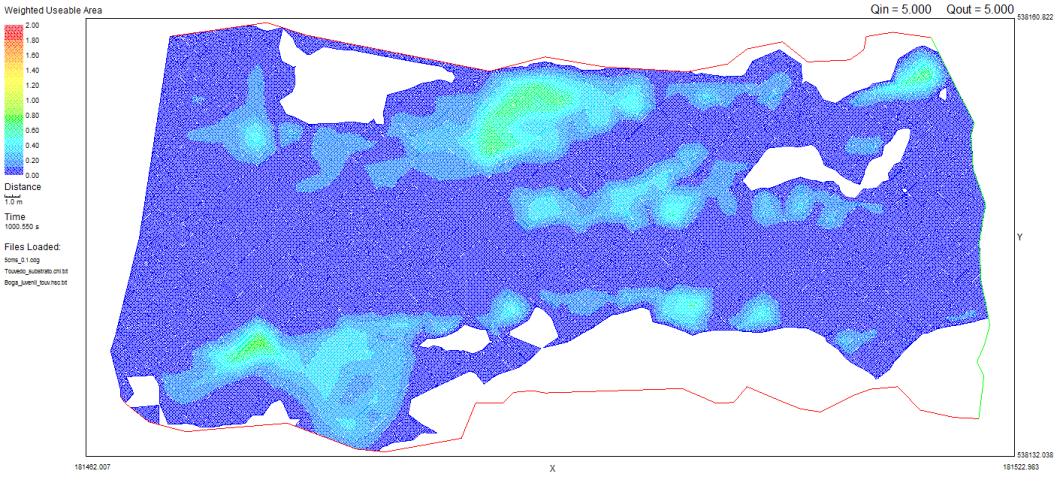


Fig. B. 76: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

B.7.3. RESULTADOS OBTIDOS PARA O ESCALO-DO-NORTE (ADULTO)

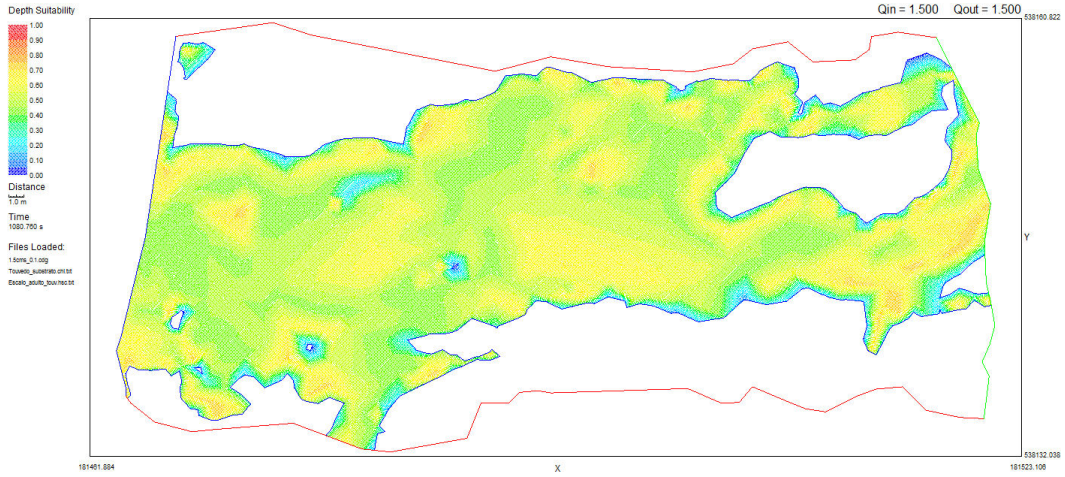


Fig. B. 77: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

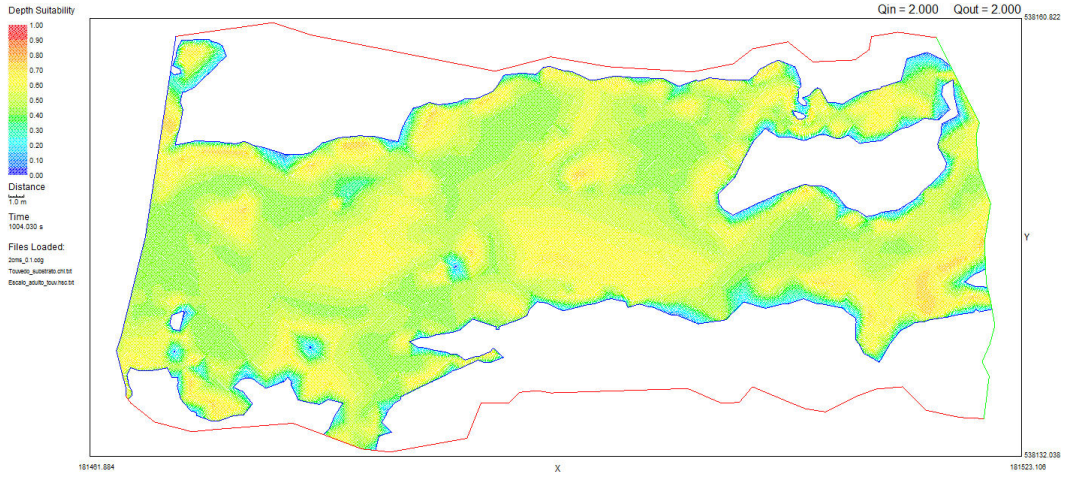


Fig. B. 78: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

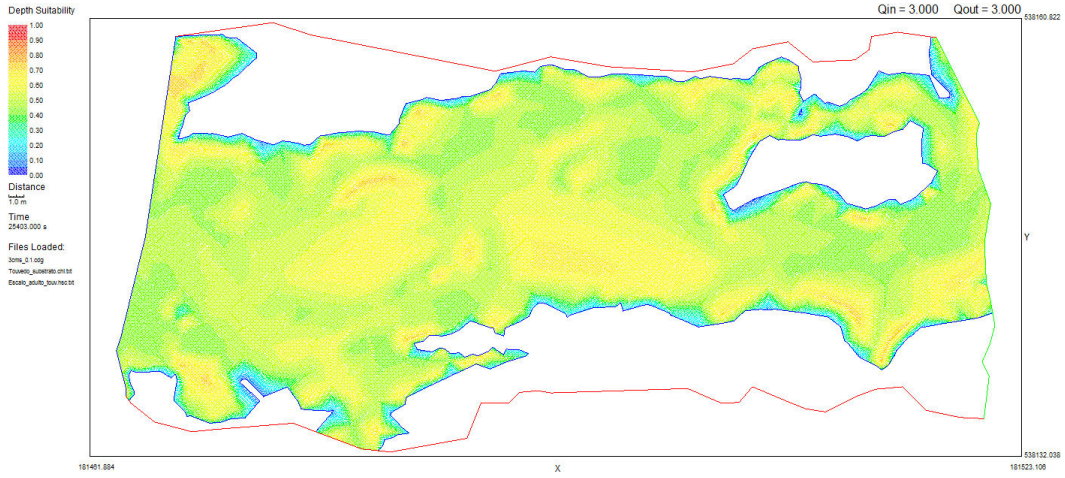


Fig. B. 79: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

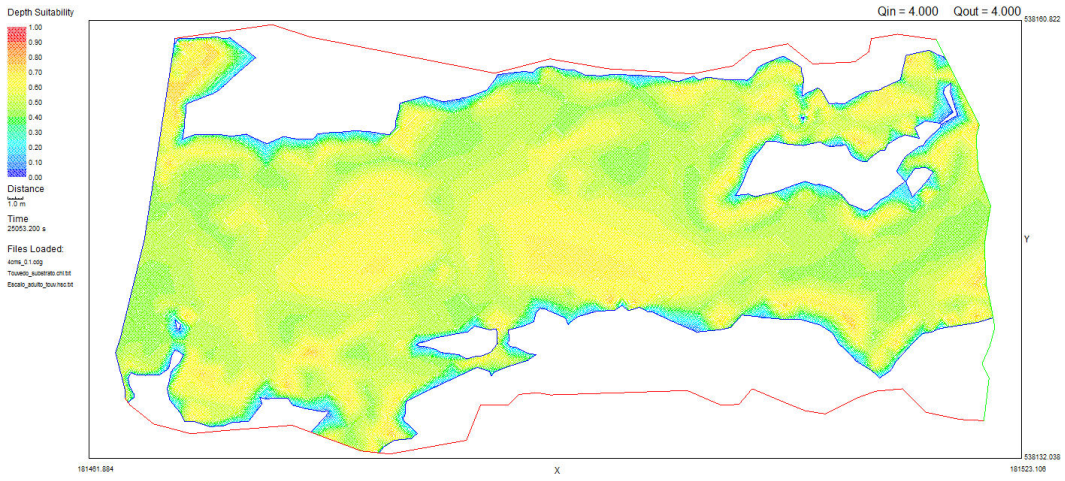


Fig. B. 80: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

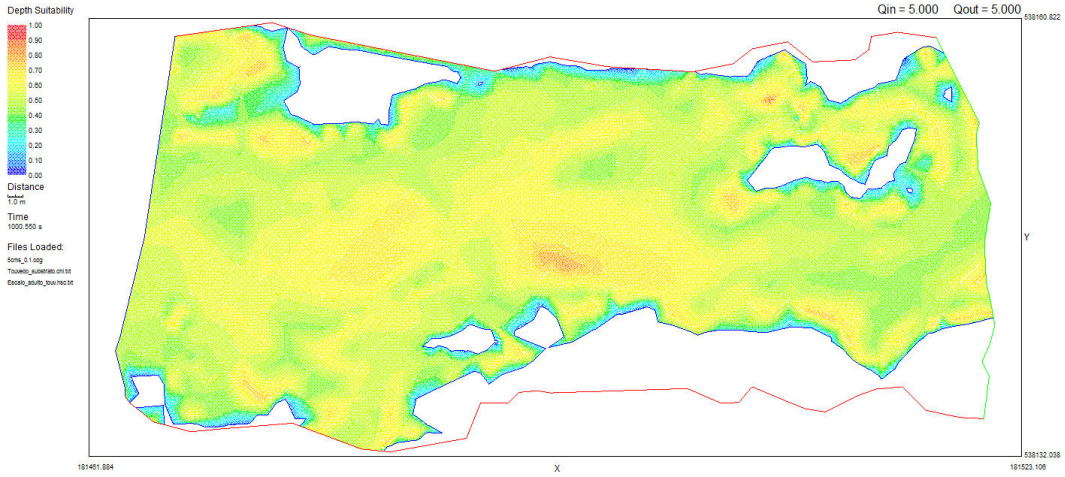


Fig. B. 81: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$

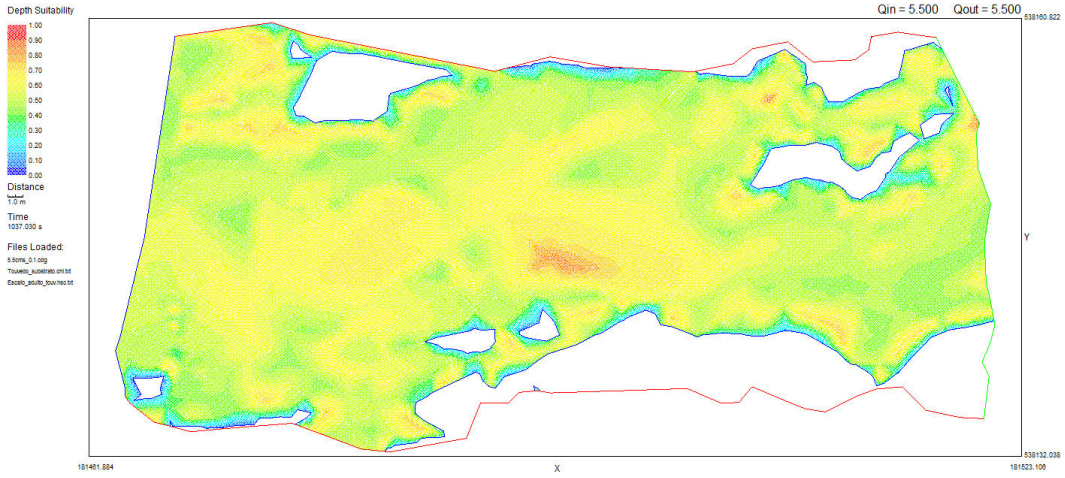


Fig. B. 82: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

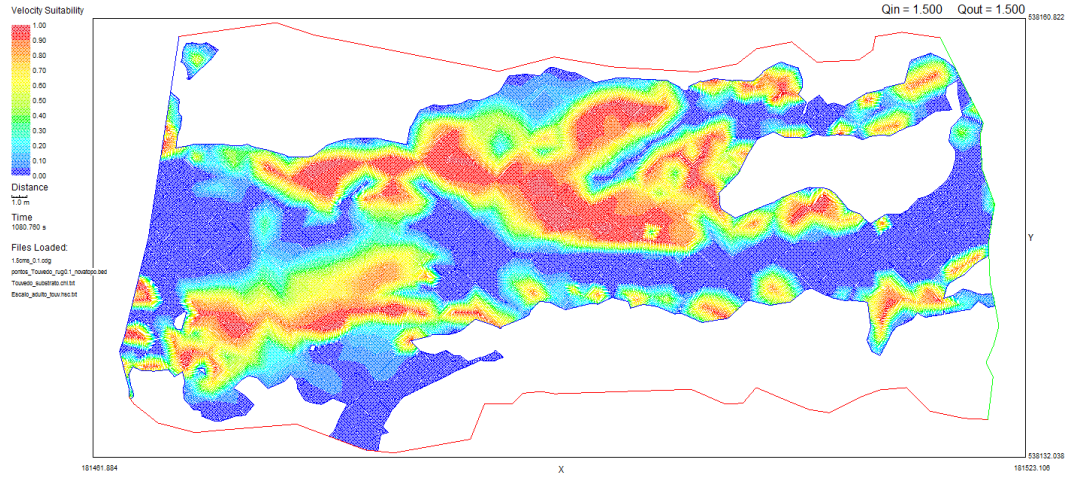


Fig. B. 83: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

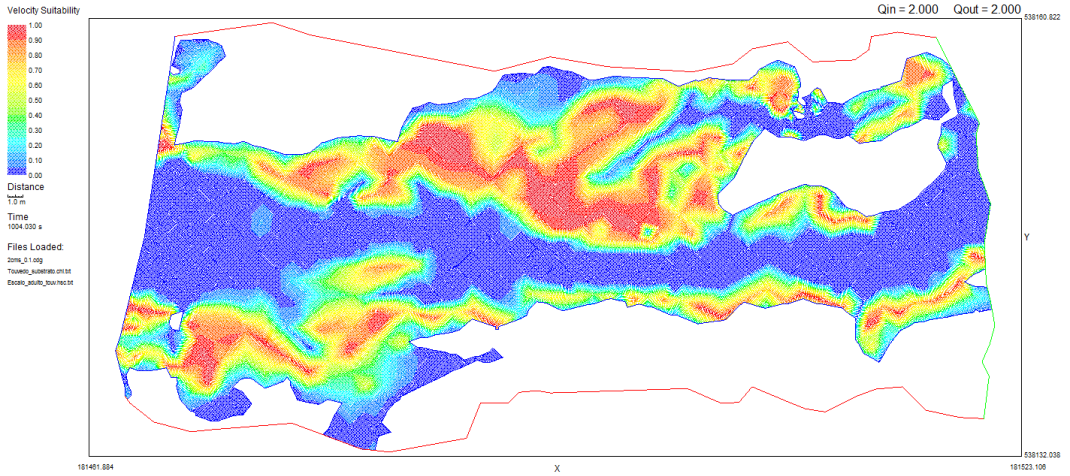


Fig. B. 84: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

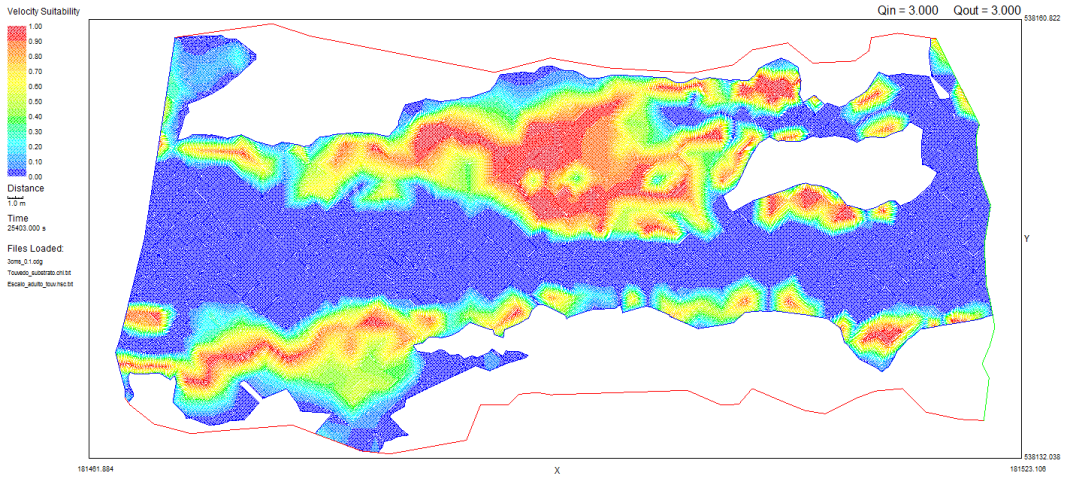


Fig. B. 85: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

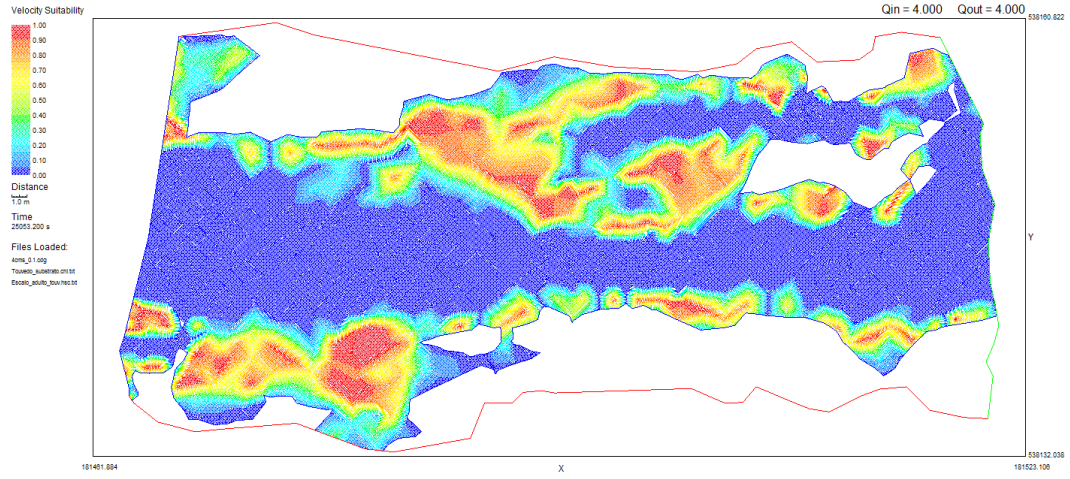


Fig. B. 86: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

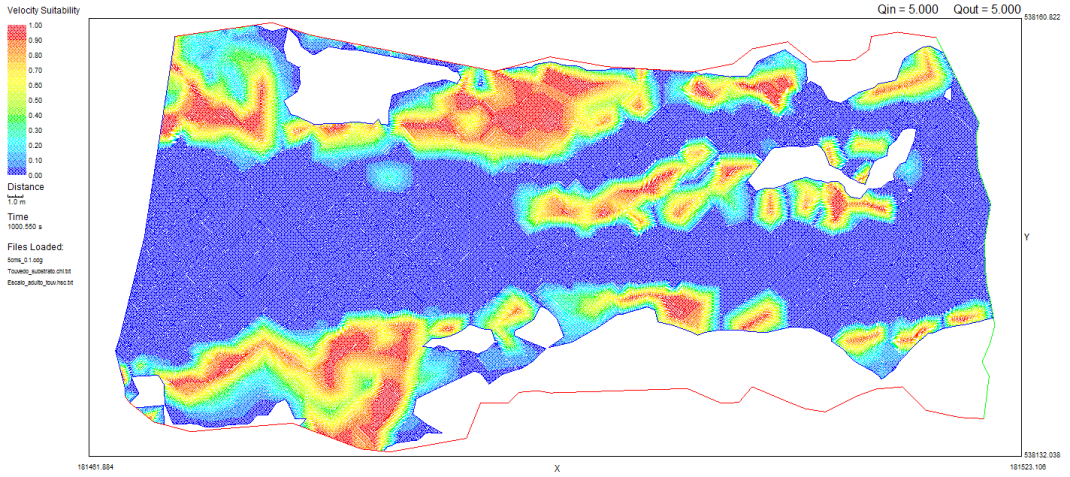


Fig. B. 87: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$

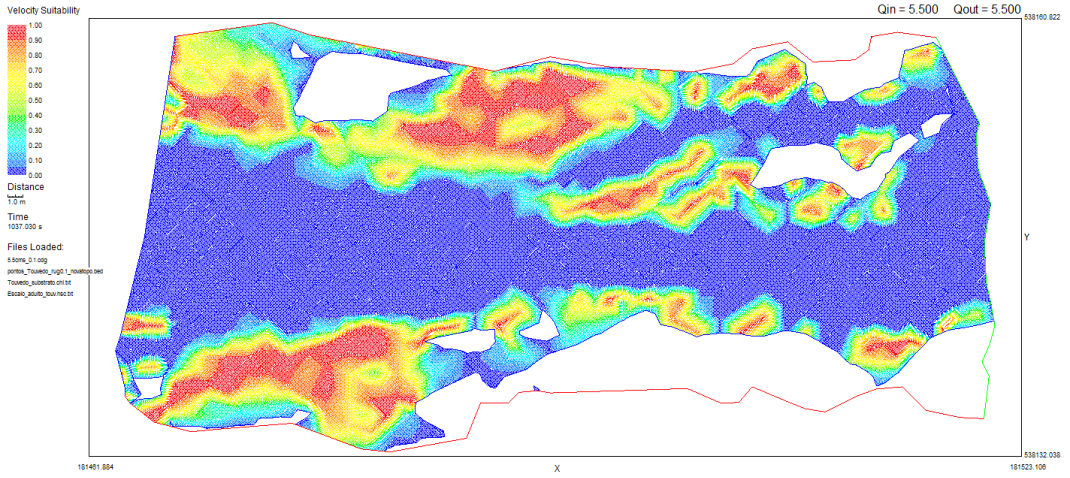


Fig. B. 88: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

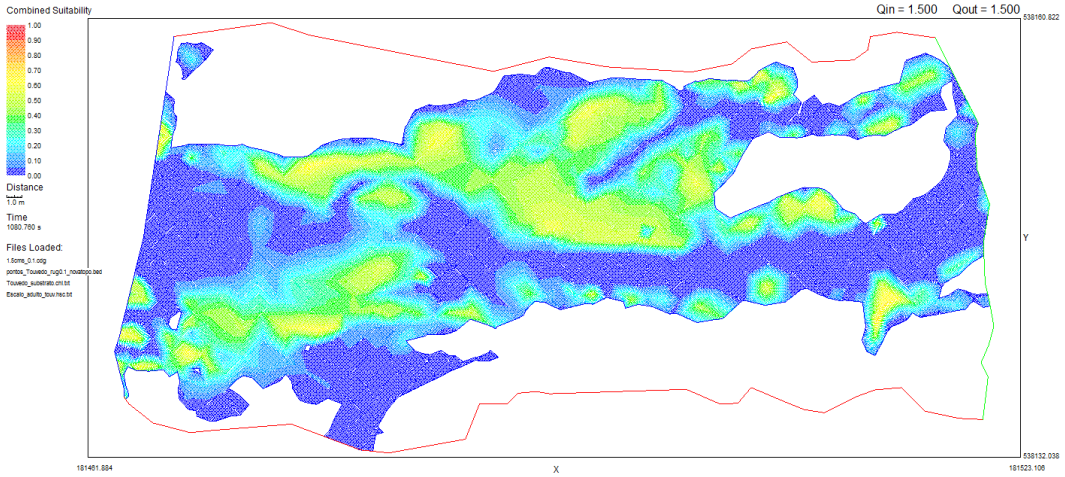


Fig. B. 89: Aptidão **combinada** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

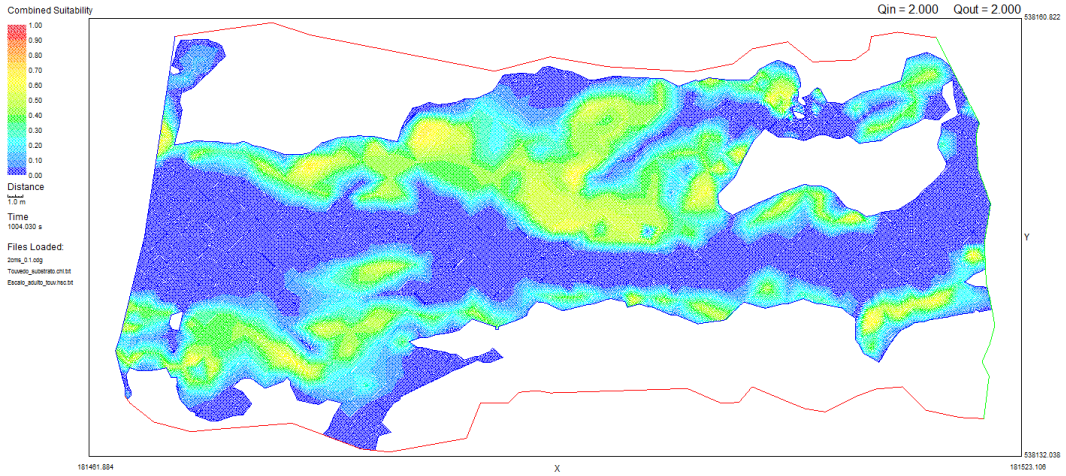


Fig. B. 90: Aptidão **combinada** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

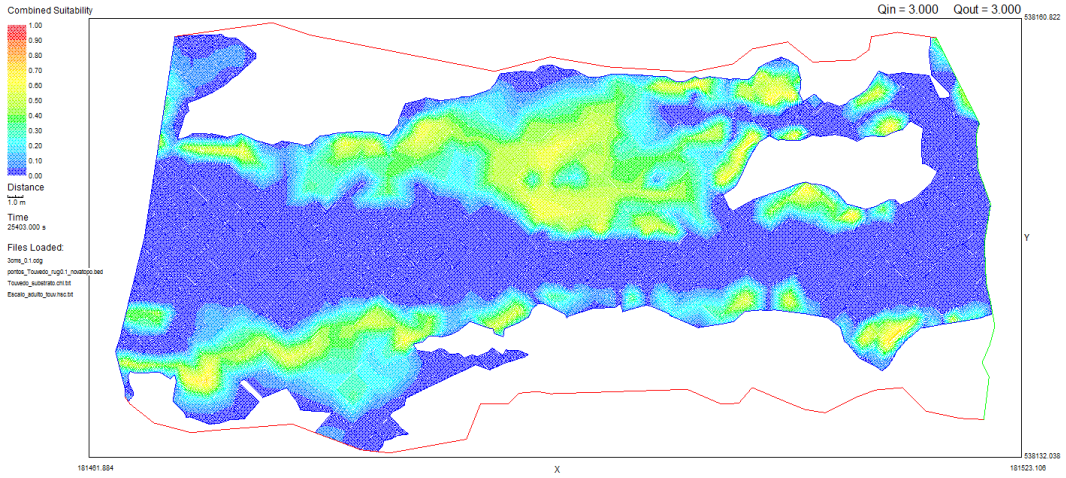


Fig. B. 91: Aptidão **combinada** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

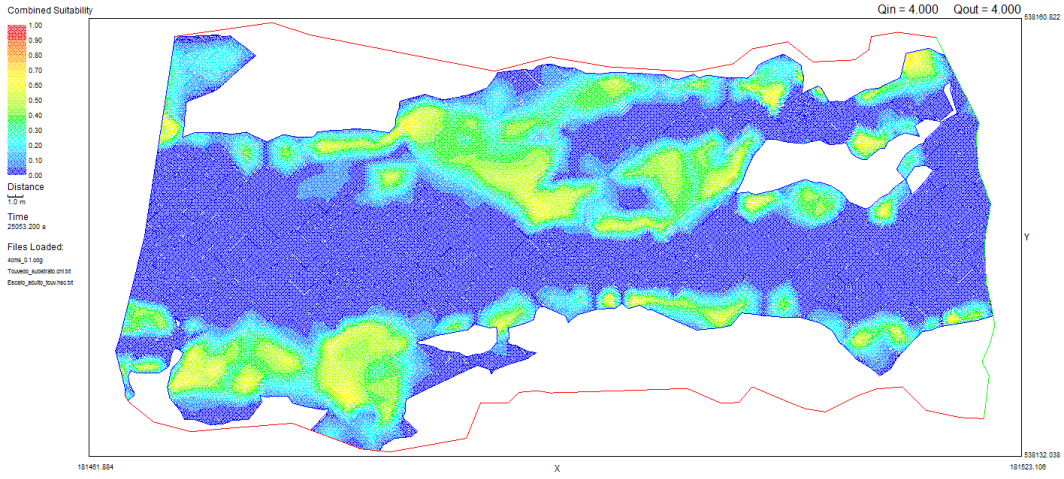


Fig. B. 92: Aptidão **combinada** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

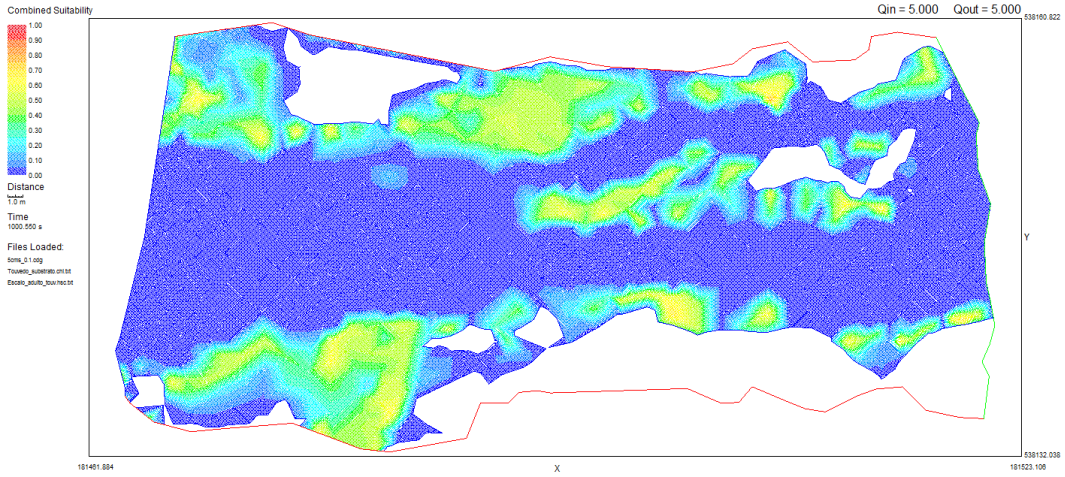


Fig. B. 93: Aptidão **combinada** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5\ m^3/s$

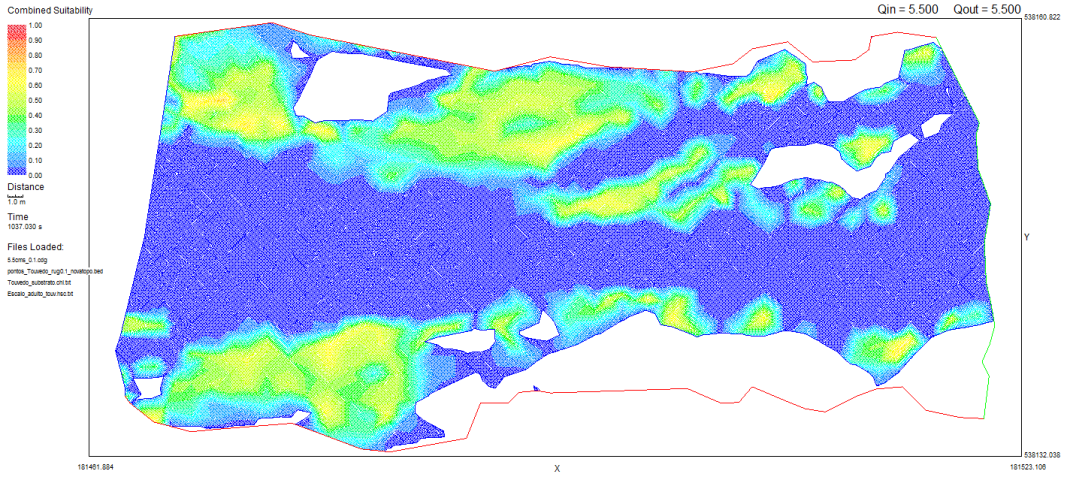


Fig. B. 94: Aptidão **combinada** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

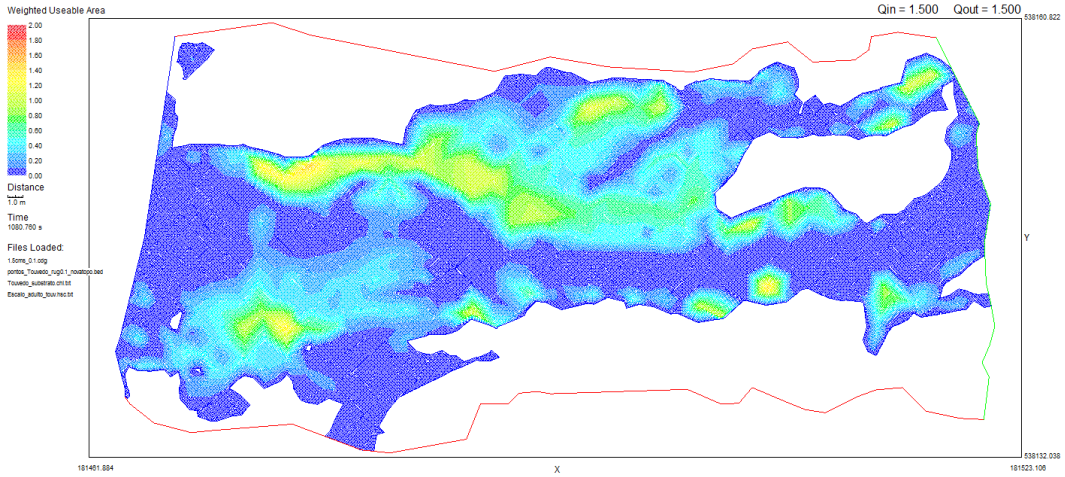


Fig. B. 95: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

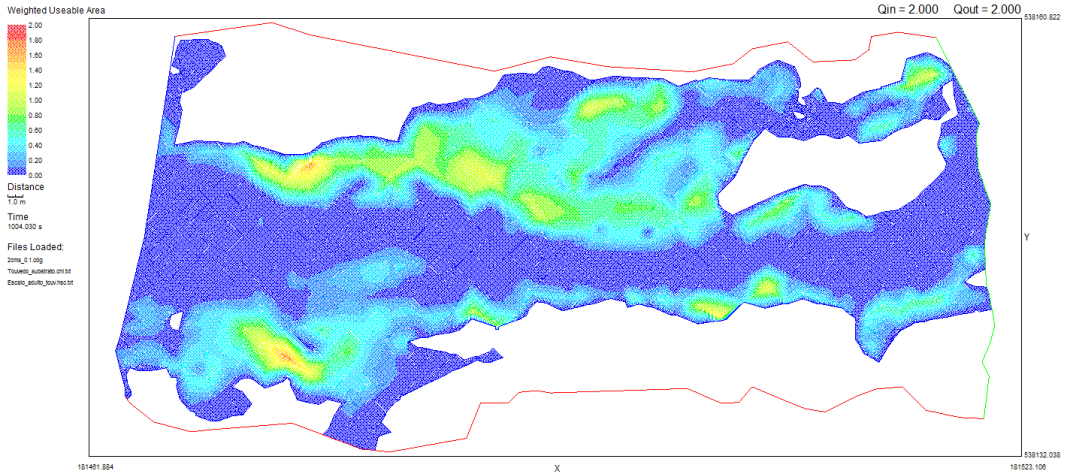


Fig. B. 96: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 2\ m^3/s$

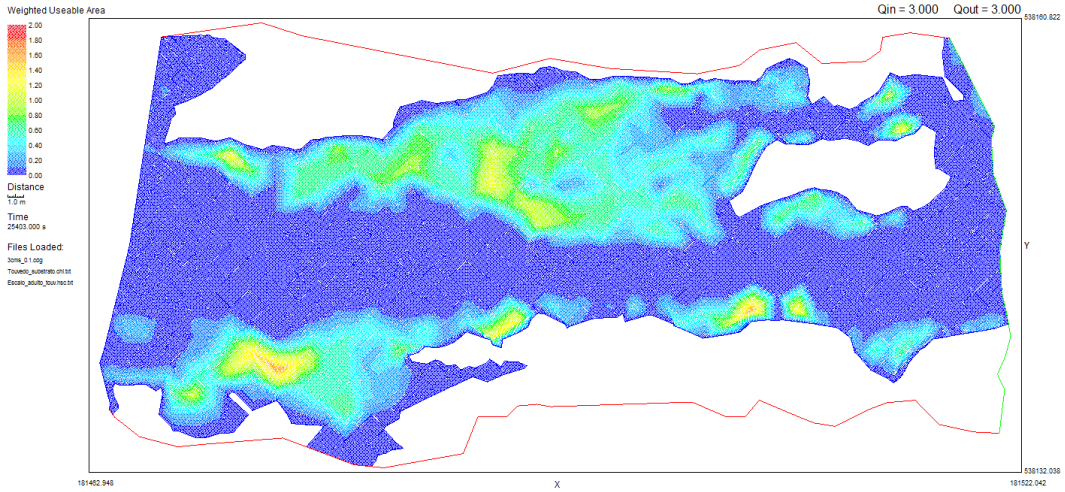


Fig. B. 97: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

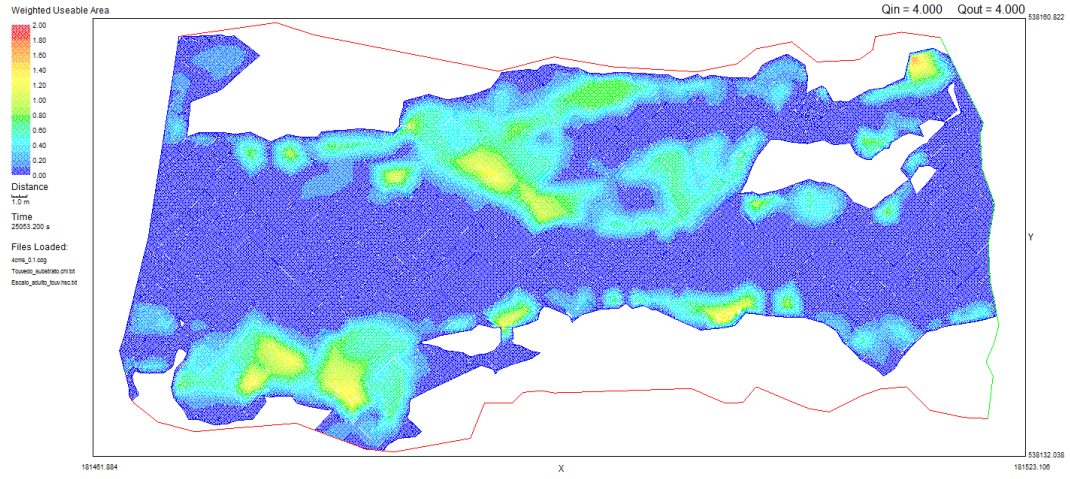


Fig. B. 98: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 4\ m^3/s$

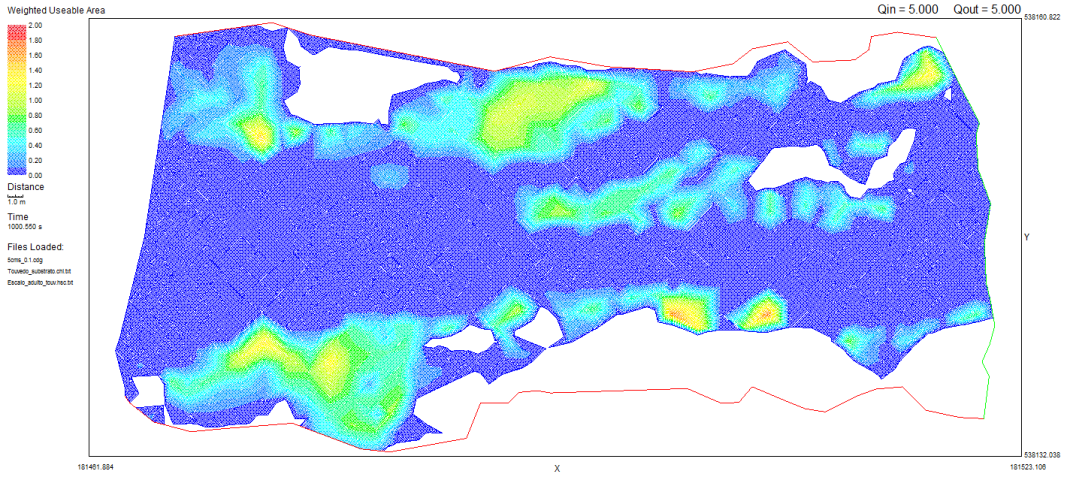


Fig. B. 99: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5m^3/s$

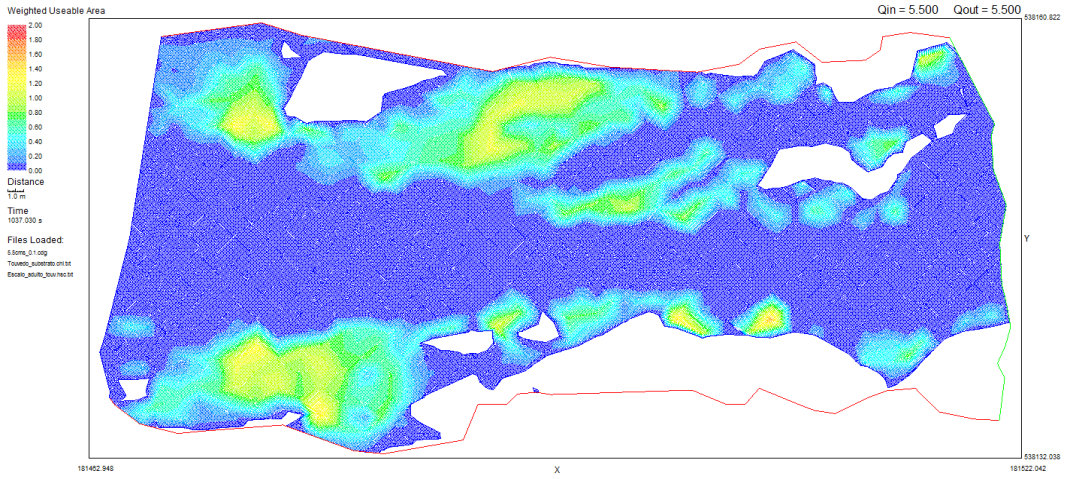


Fig. B. 100: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Adulto) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

B.7.4. RESULTADOS OBTIDOS PARA O ESCALO-DO-NORTE (JUVENIL)

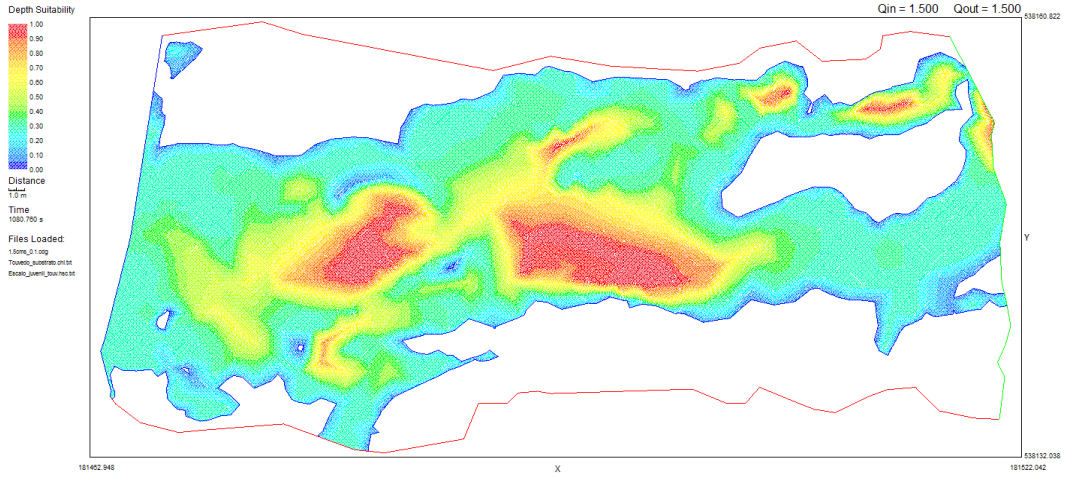


Fig. B. 101: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

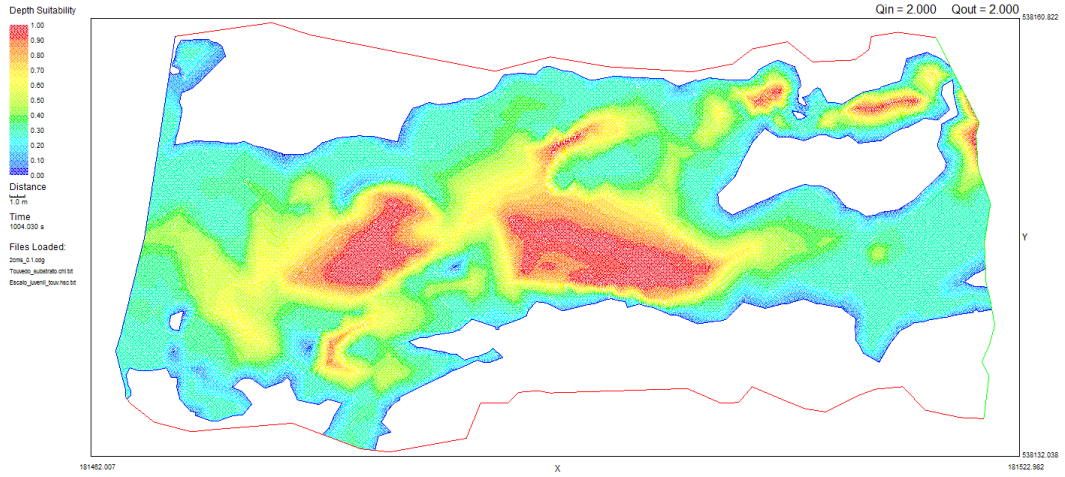


Fig. B. 102: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

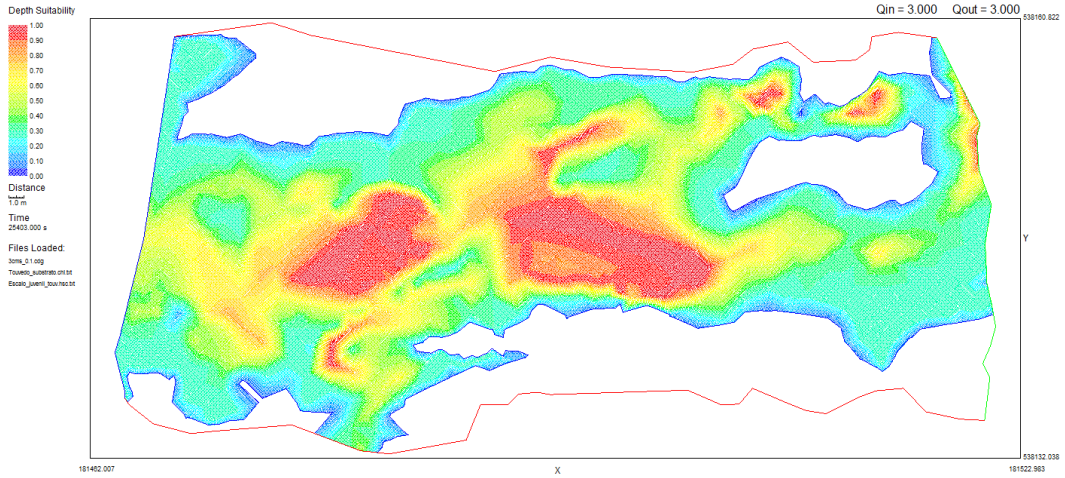


Fig. B. 103: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

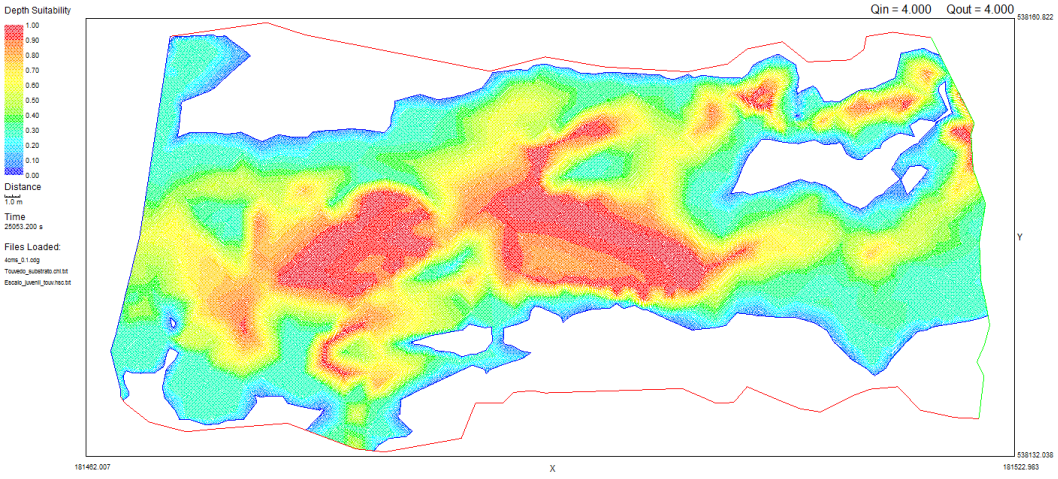


Fig. B. 104: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

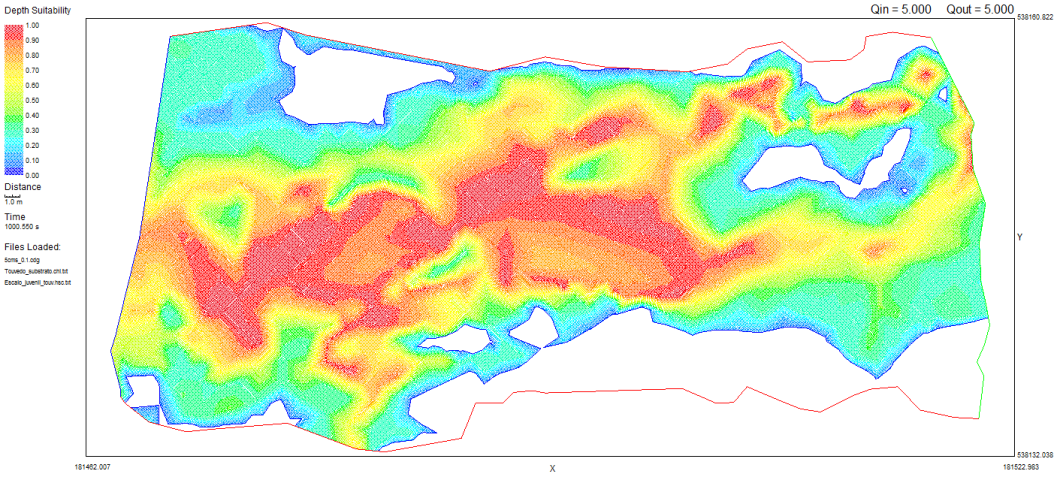


Fig. B. 105: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$

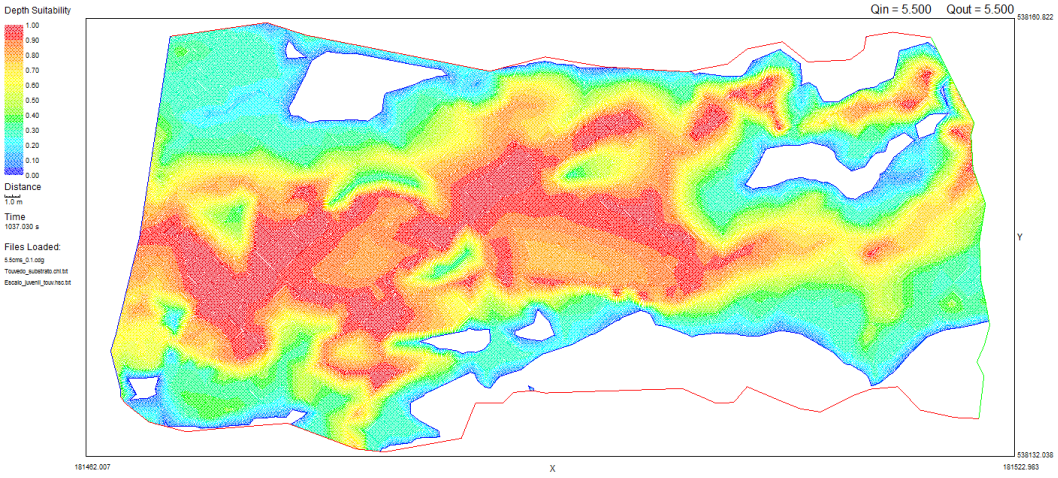


Fig. B. 106: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

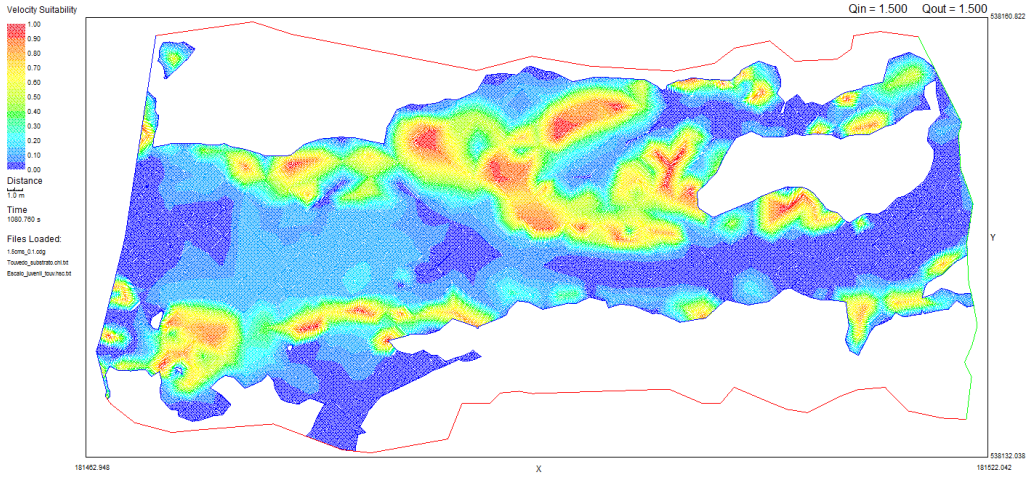


Fig. B. 107: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

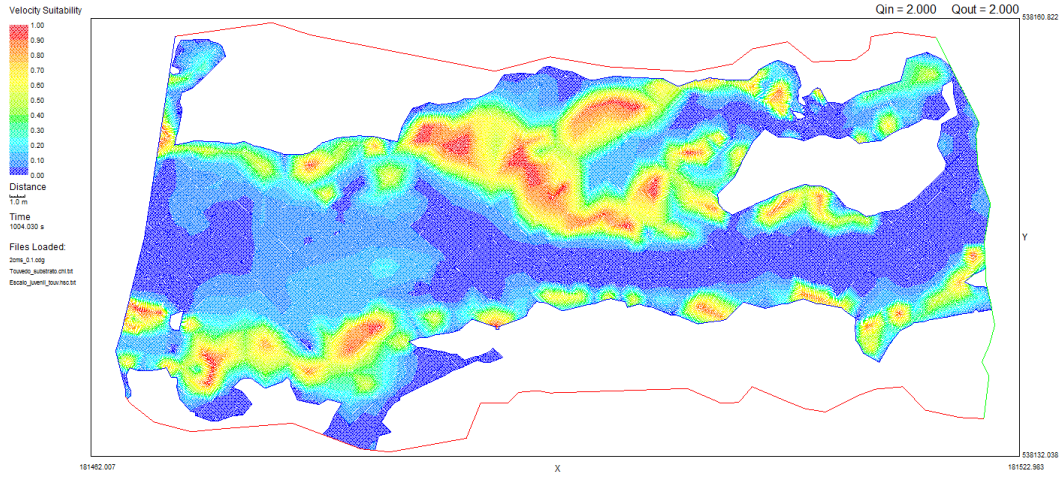


Fig. B. 108: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

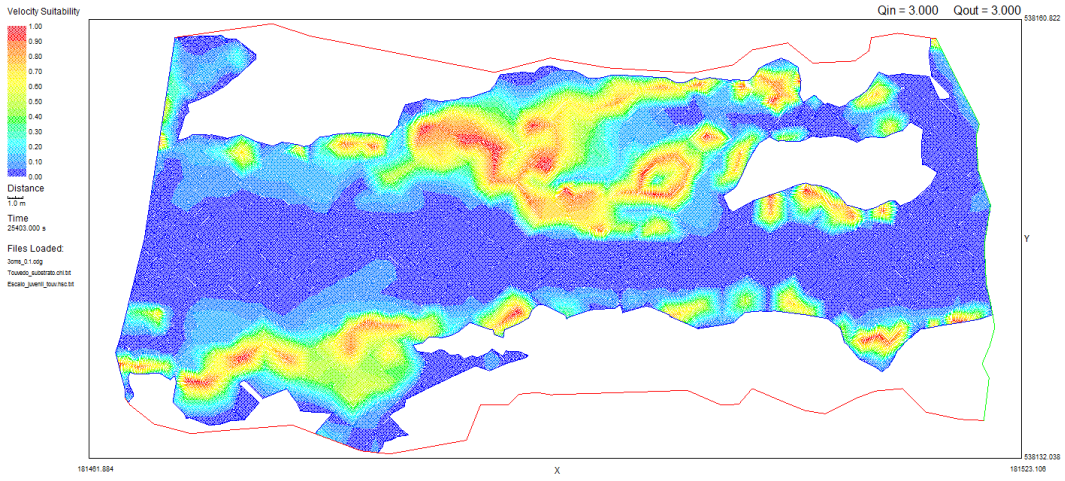


Fig. B. 109: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

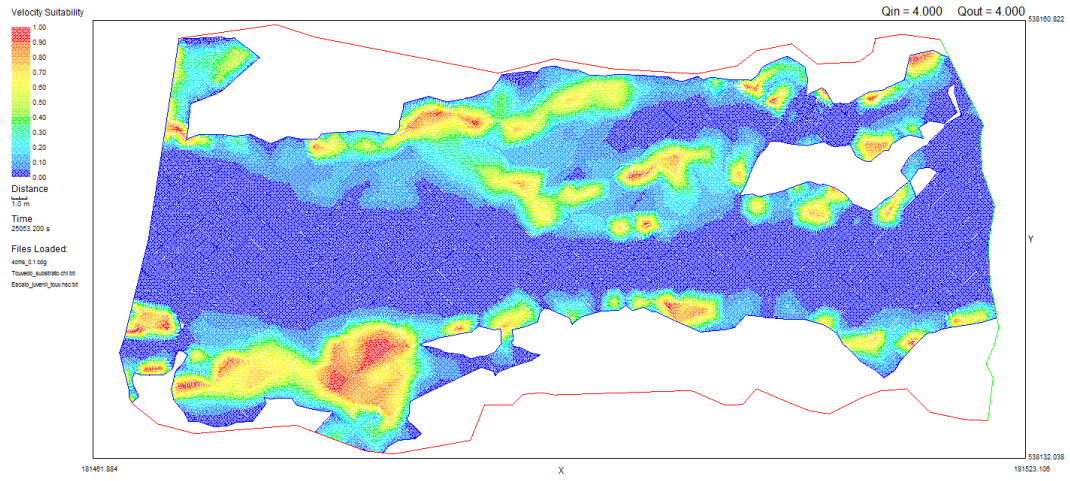


Fig. B. 110: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

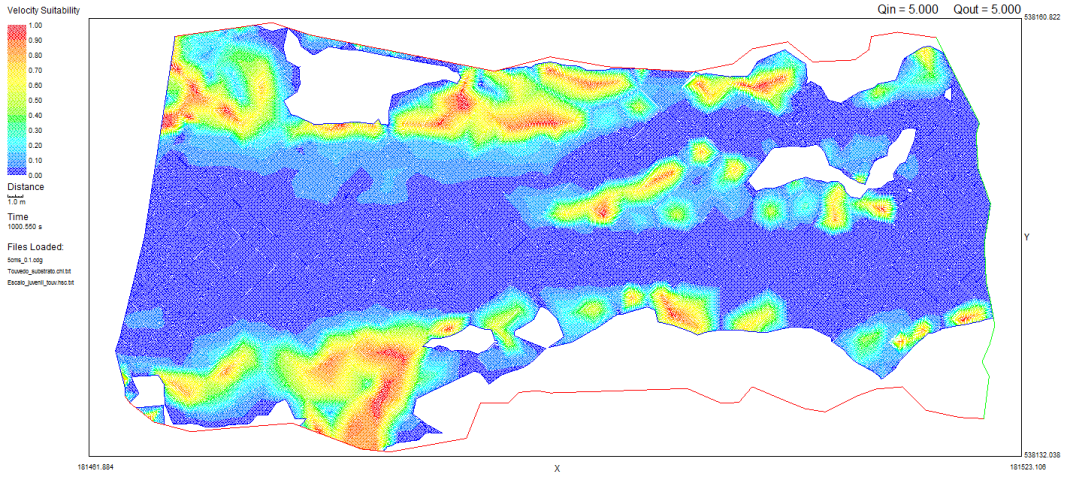


Fig. B. 111: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$

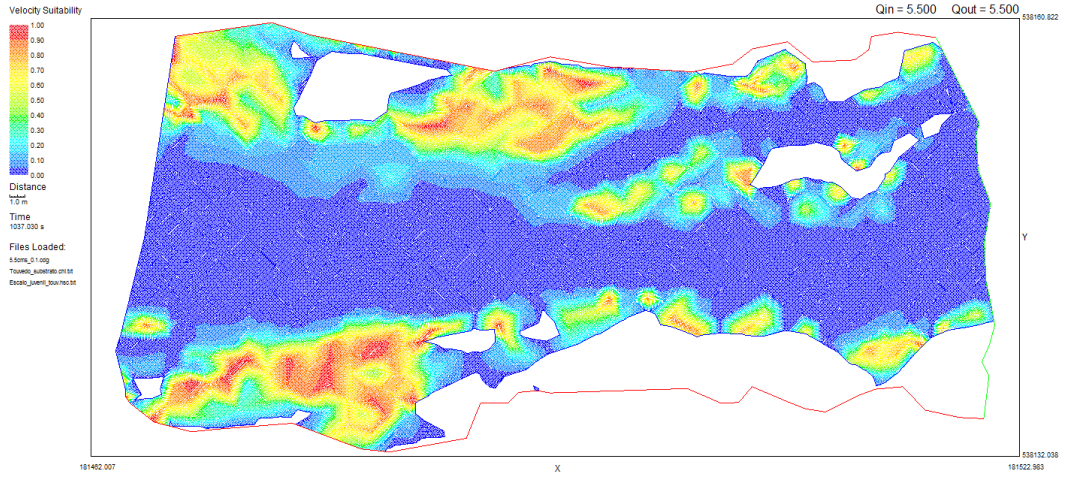


Fig. B. 112: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

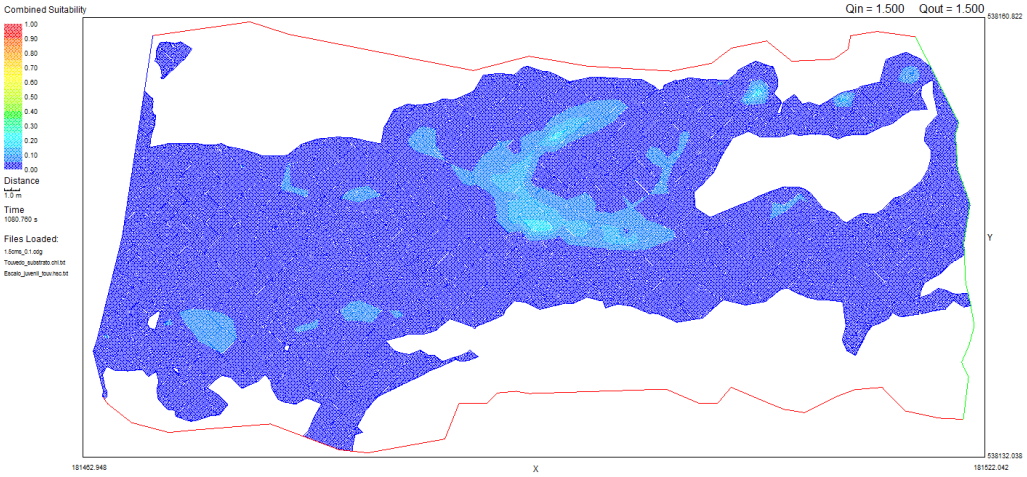


Fig. B. 113: Aptidão **combinada** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

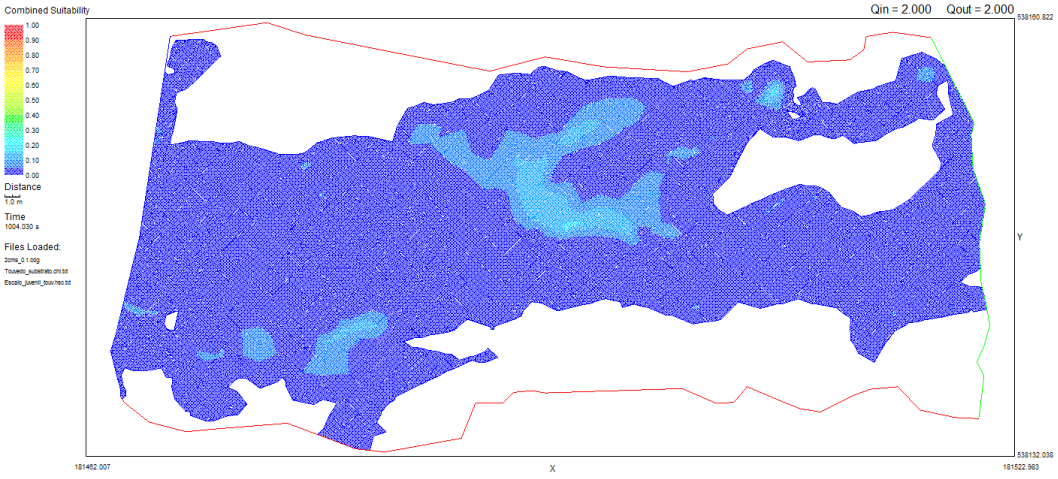


Fig. B. 114: Aptidão **combinada** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

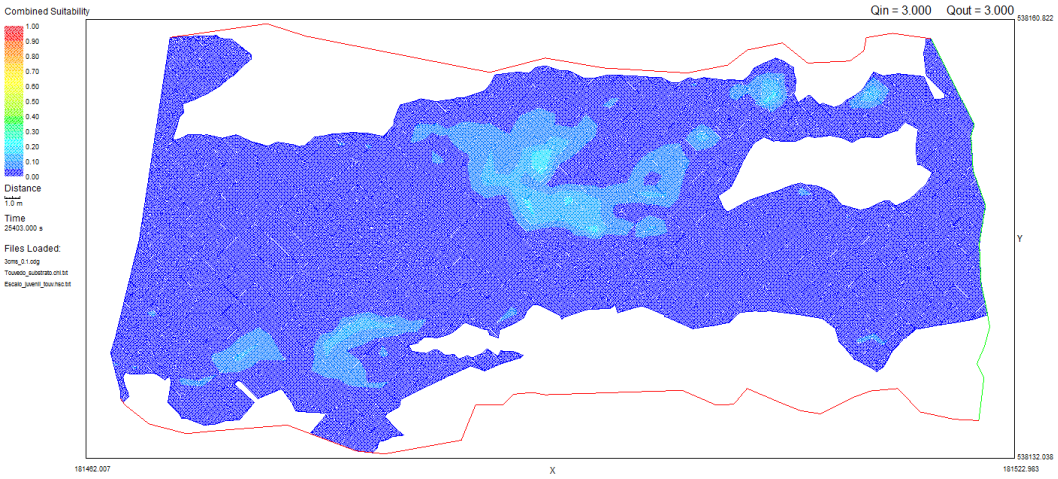


Fig. B. 115: Aptidão **combinada** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

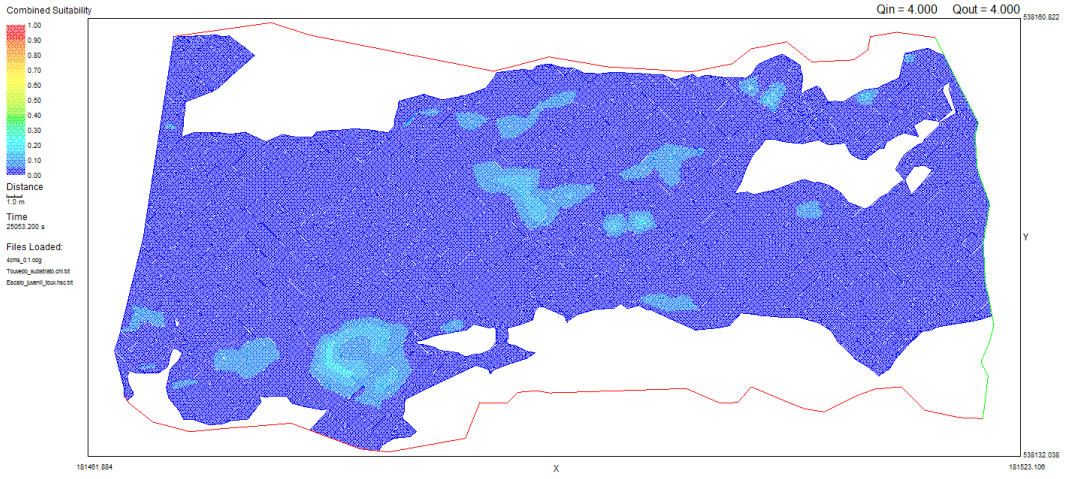


Fig. B. 116: Aptidão **combinada** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

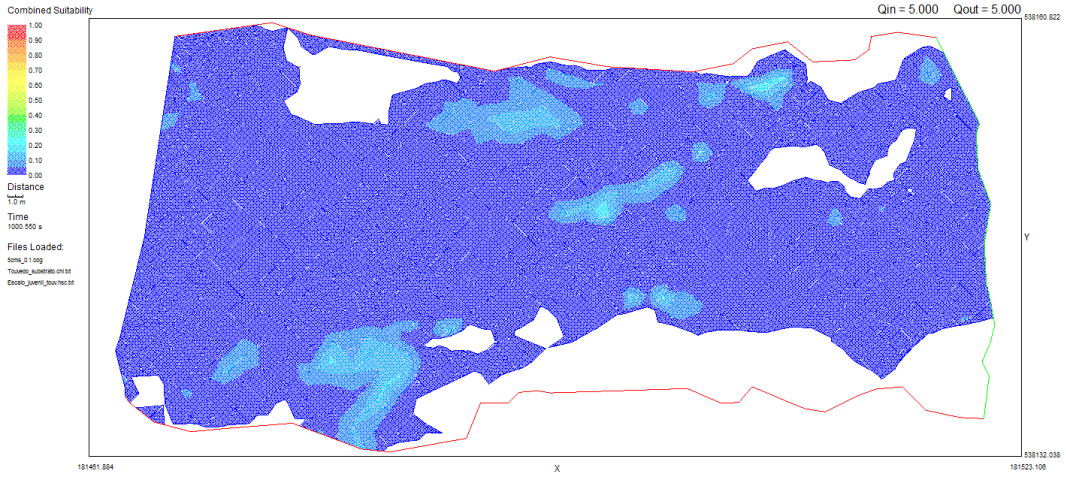


Fig. B. 117: Aptidão **combinada** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5\ m^3/s$

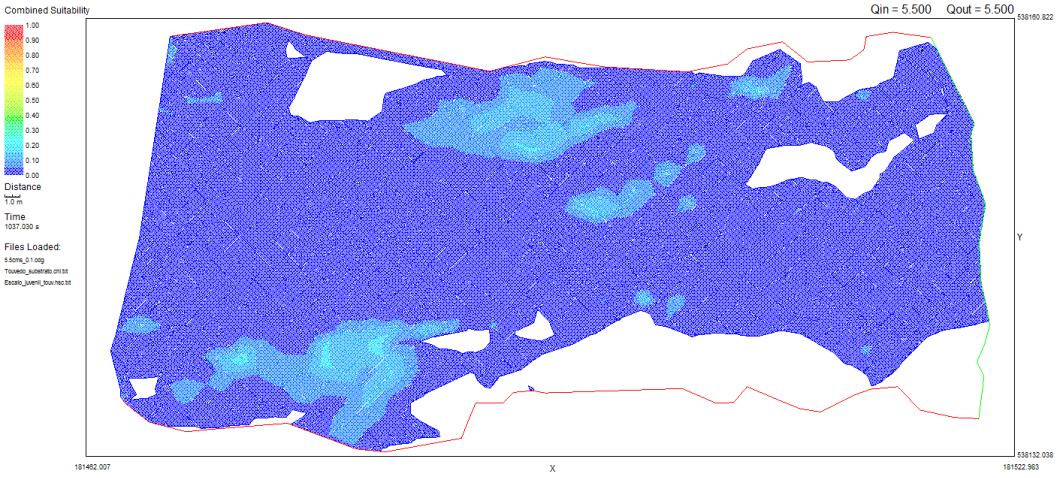


Fig. B. 118: Aptidão **combinada** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

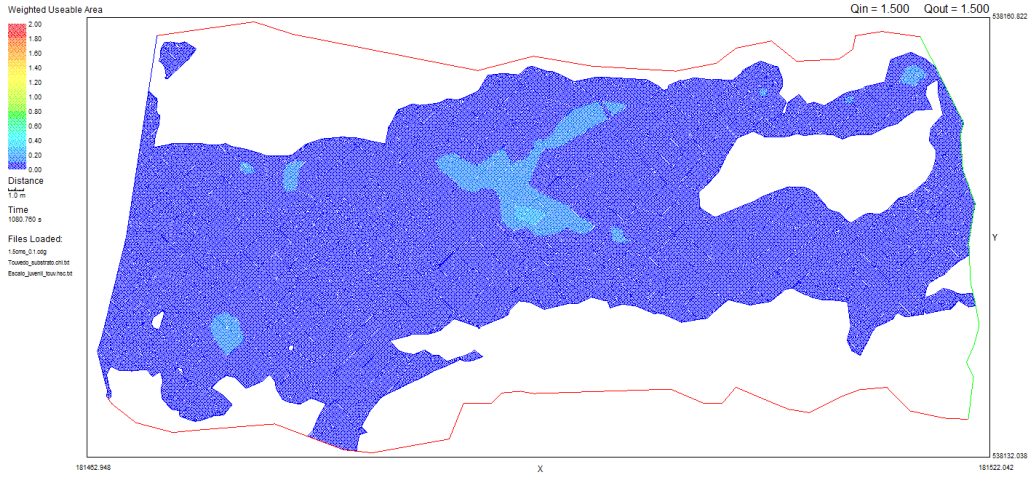


Fig. B. 119: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

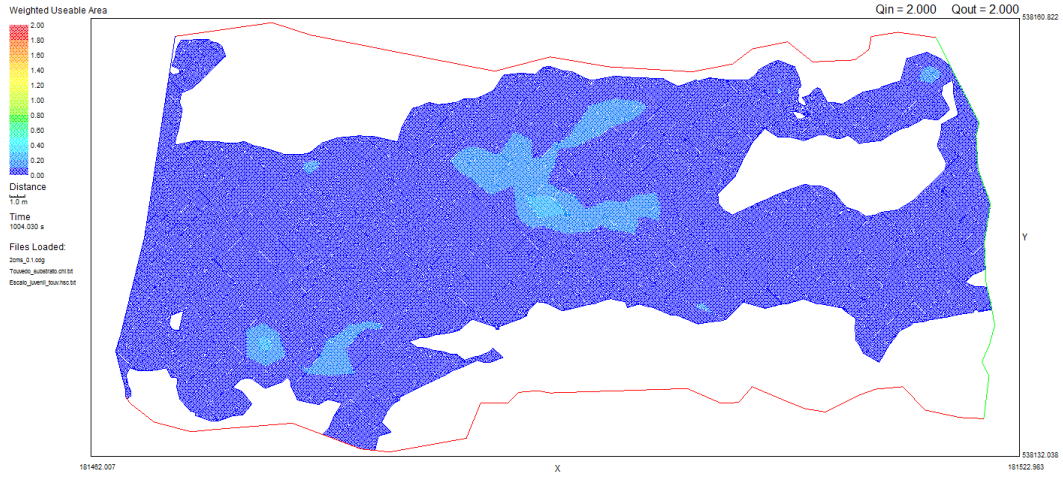


Fig. B. 120: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 2\ m^3/s$

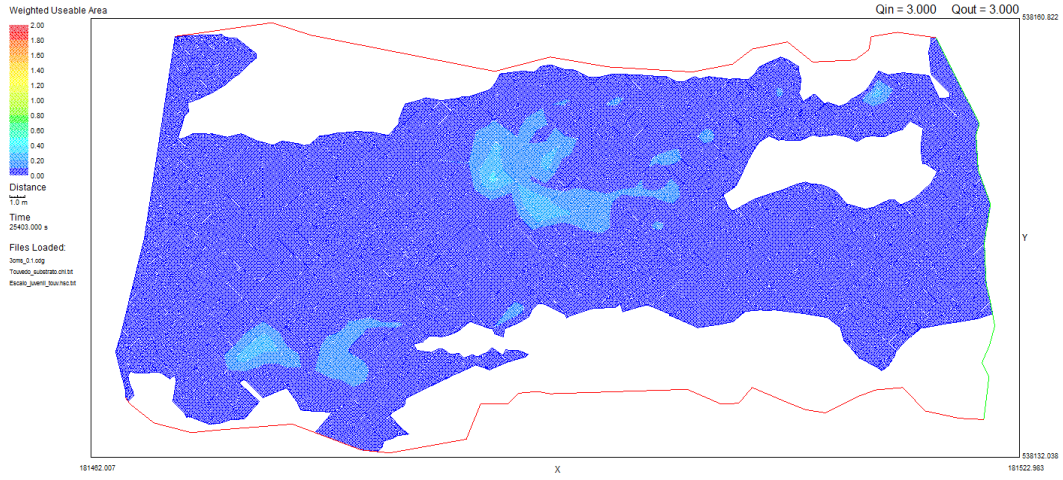


Fig. B. 121: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

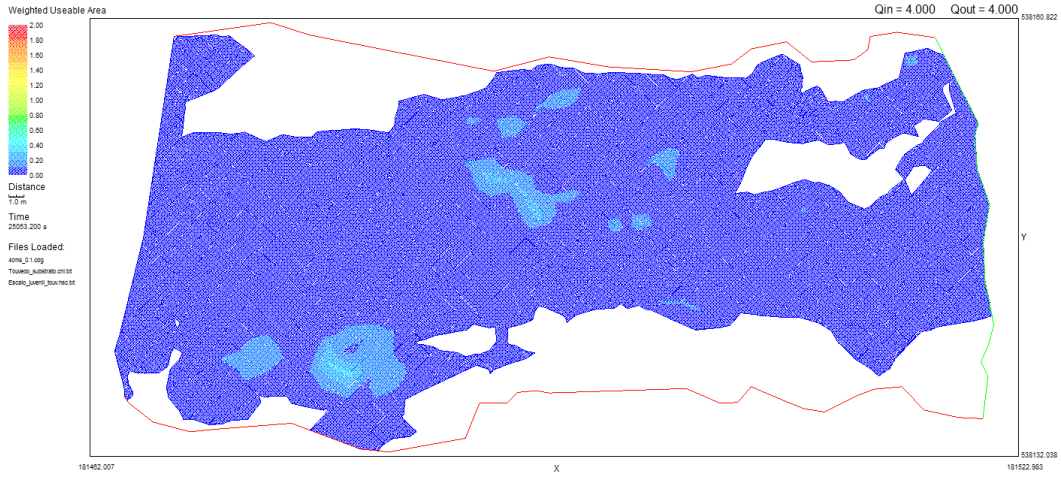


Fig. B. 122: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 4\ m^3/s$

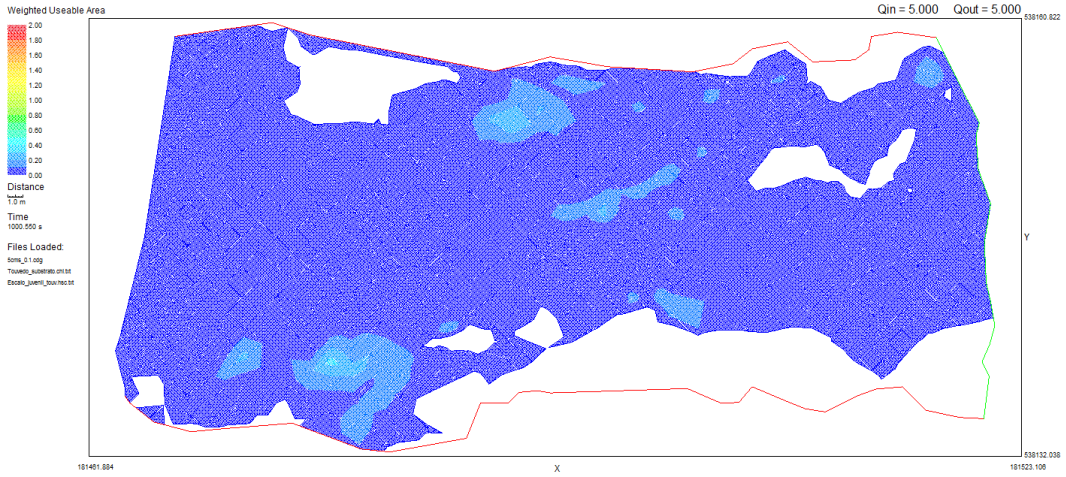


Fig. B. 123: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5m^3/s$

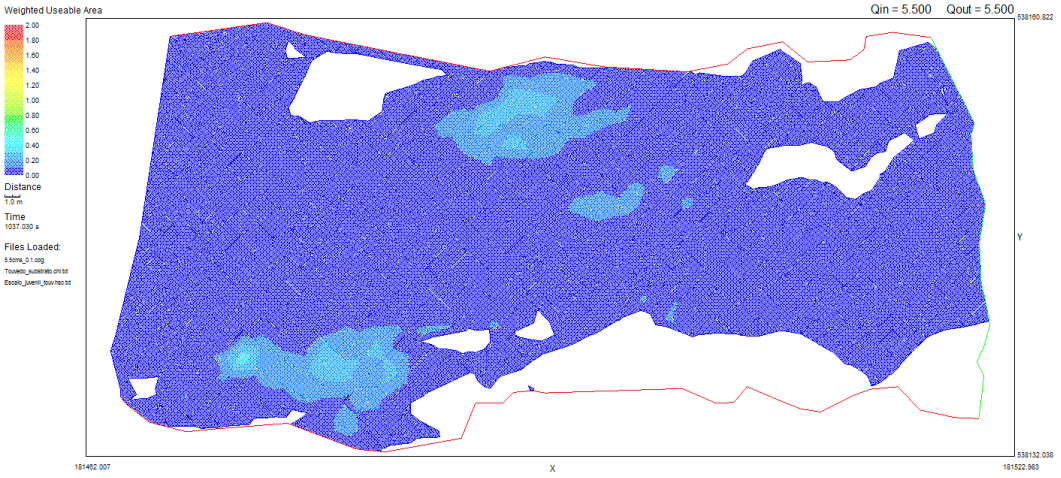


Fig. B. 124: **Superfície Ponderada Útil** para a Escalo (Juvenil) para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

B.7.5. RESULTADOS OBTIDOS PARA A PANJORCA

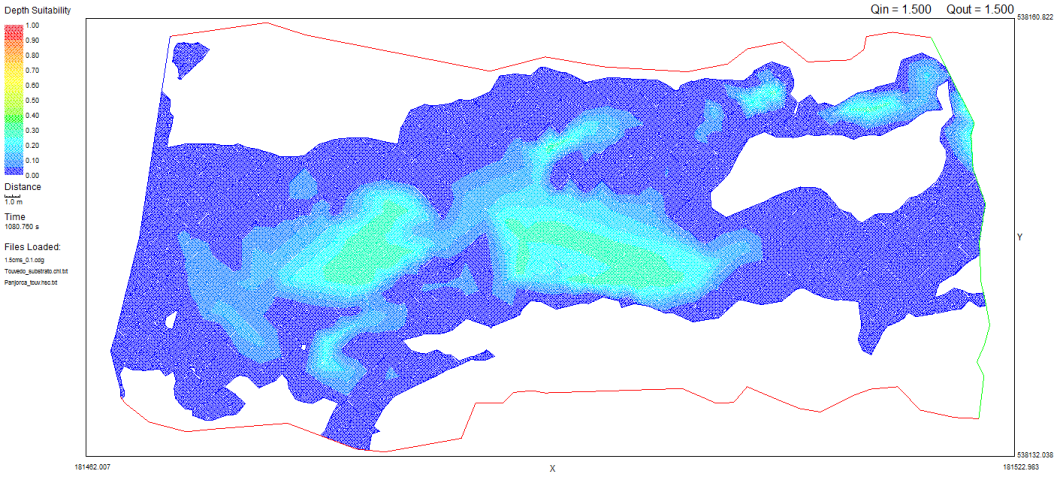


Fig. B. 125: Aptidão da **profundidade** à Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

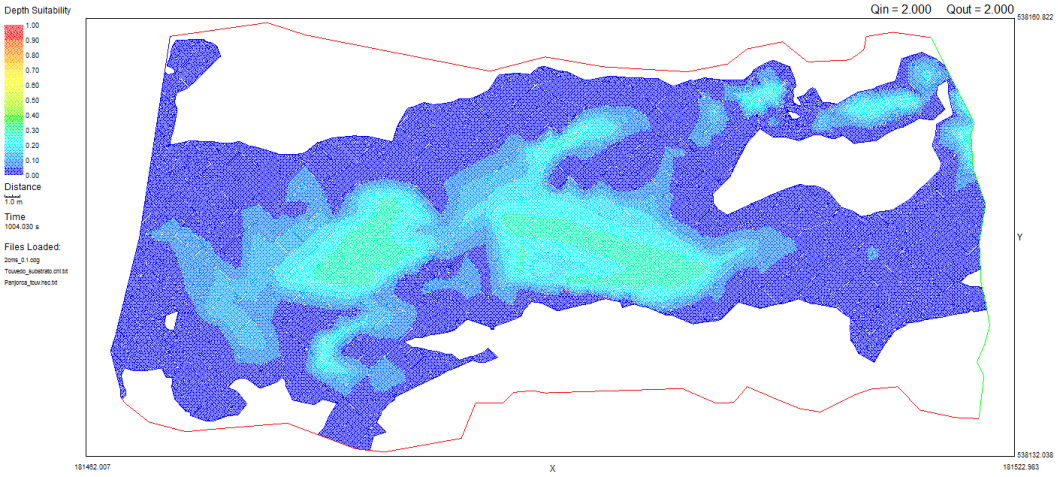


Fig. B. 126: Aptidão da **profundidade** à Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$

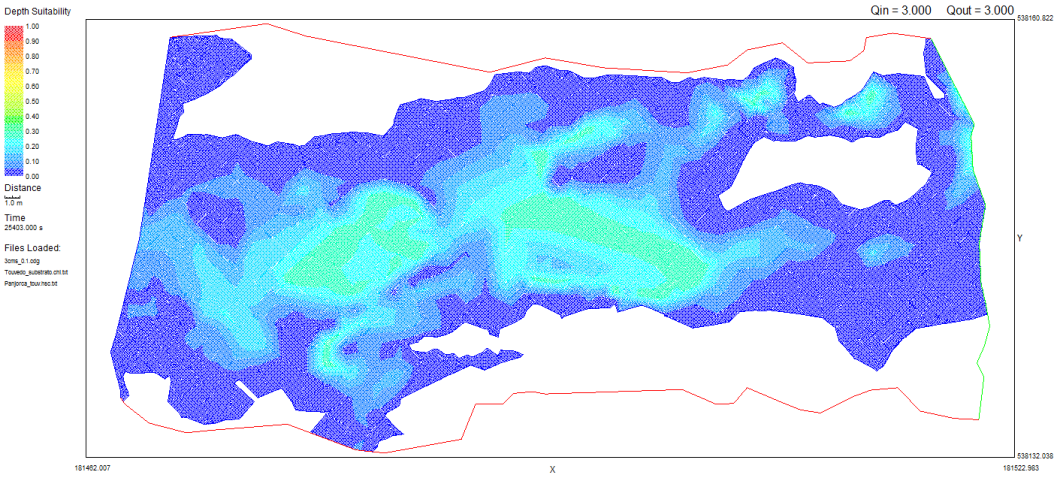


Fig. B. 127: Aptidão da **profundidade** à Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$

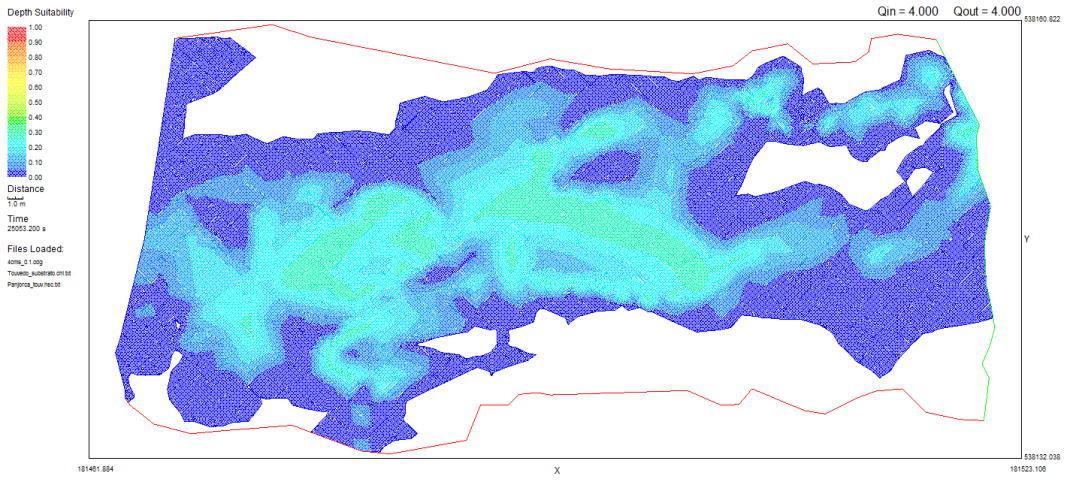


Fig. B. 128: Aptidão da **profundidade** à Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$

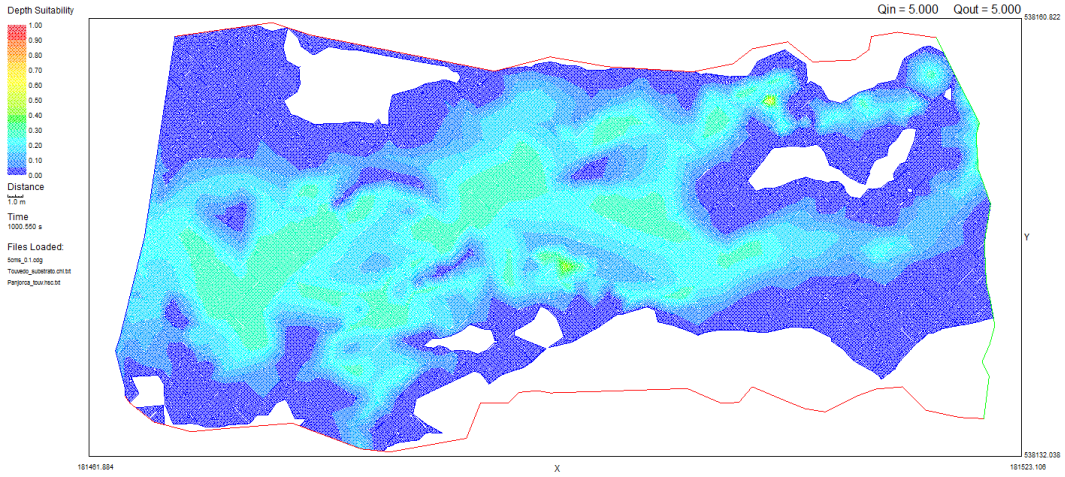


Fig. B. 129: Aptidão da **profundidade** à Panjorca para um $Q = 5\ m^3/s$

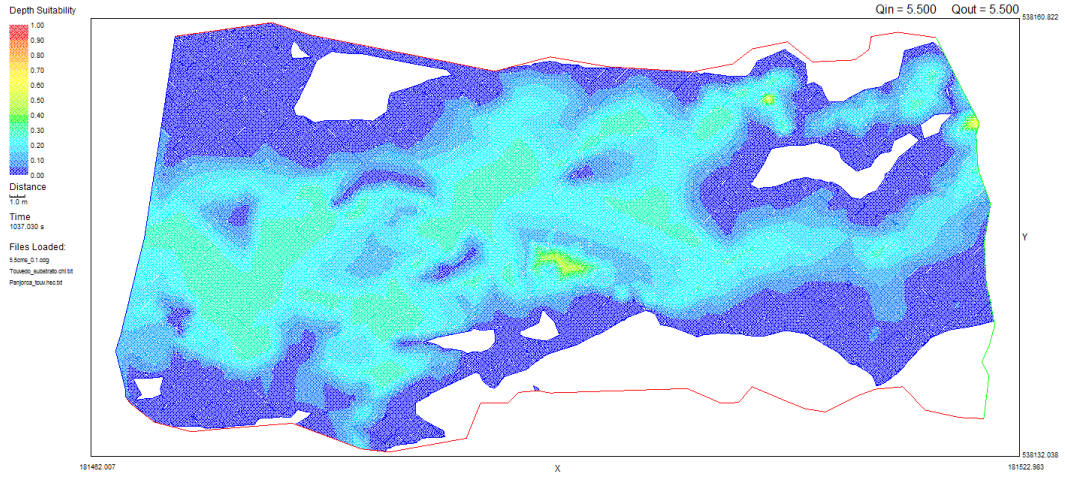


Fig. B. 130: Aptidão da **profundidade** à Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

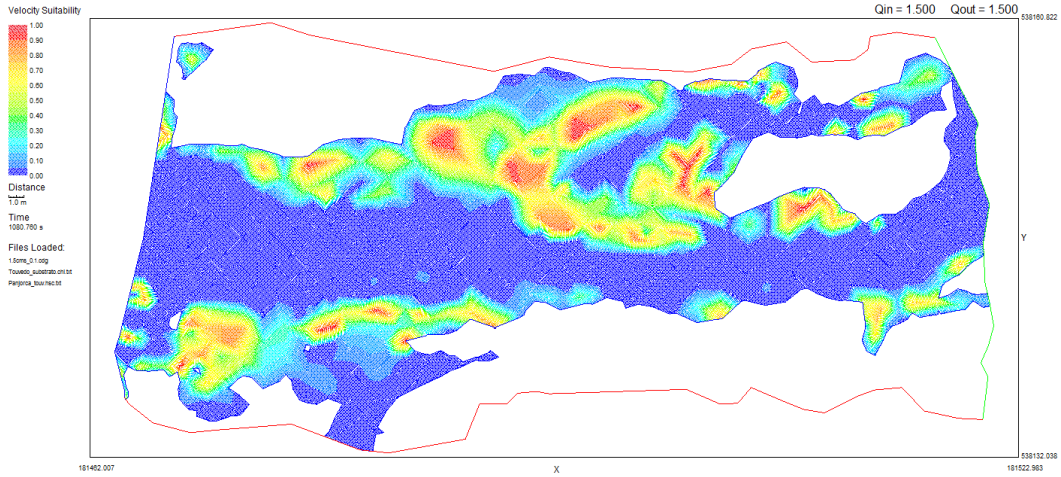


Fig. B. 131: Aptidão da **velocidade** à Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

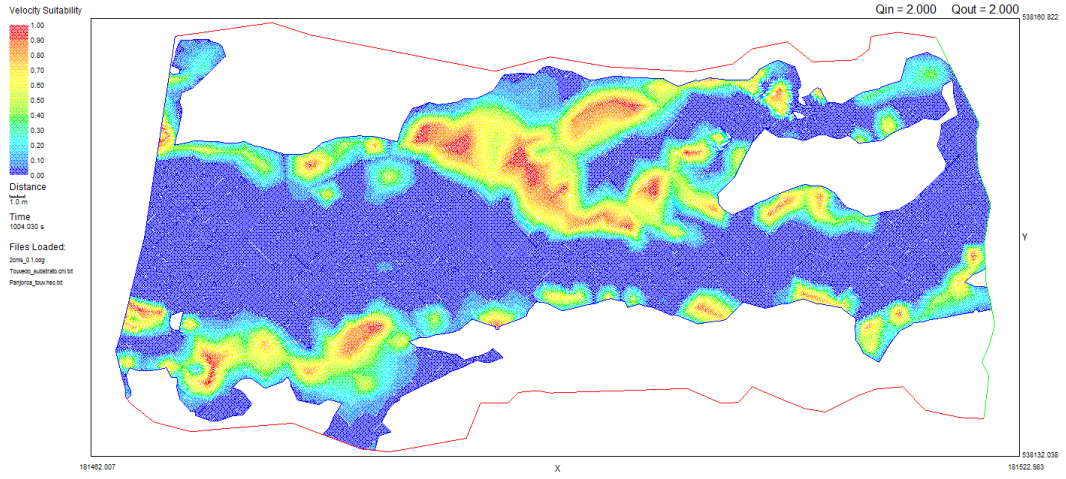


Fig. B. 132: Aptidão da **velocidade** à Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$

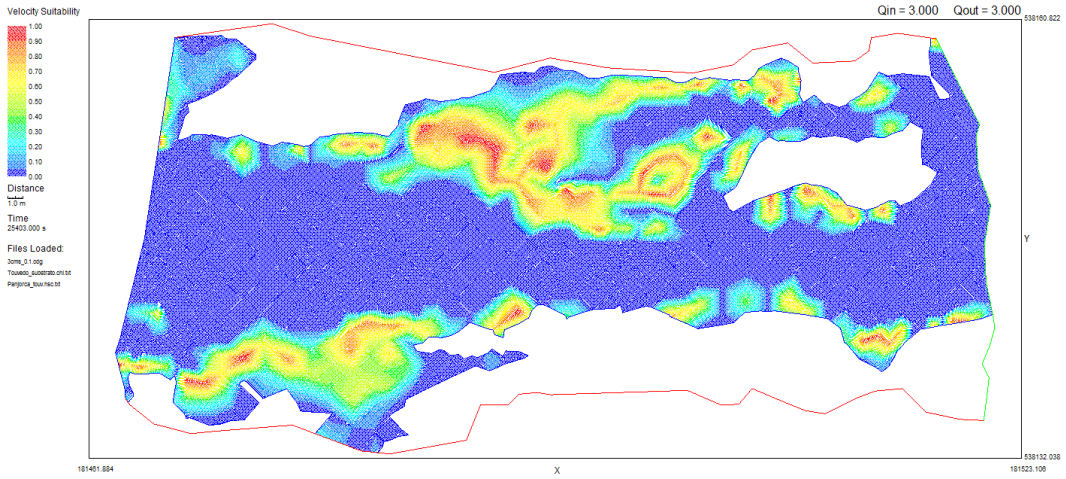


Fig. B. 133: Aptidão da **velocidade** à Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$

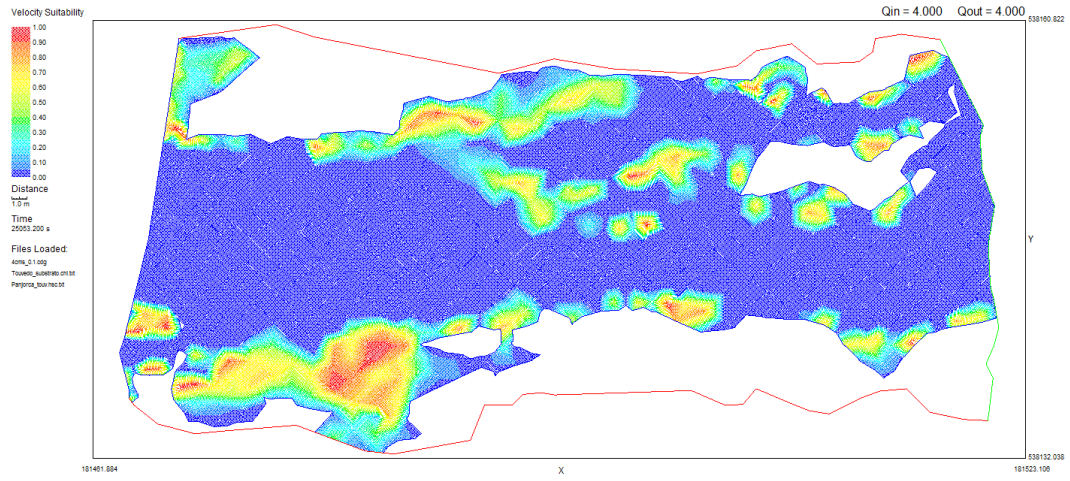


Fig. B. 134: Aptidão da **velocidade** à Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$

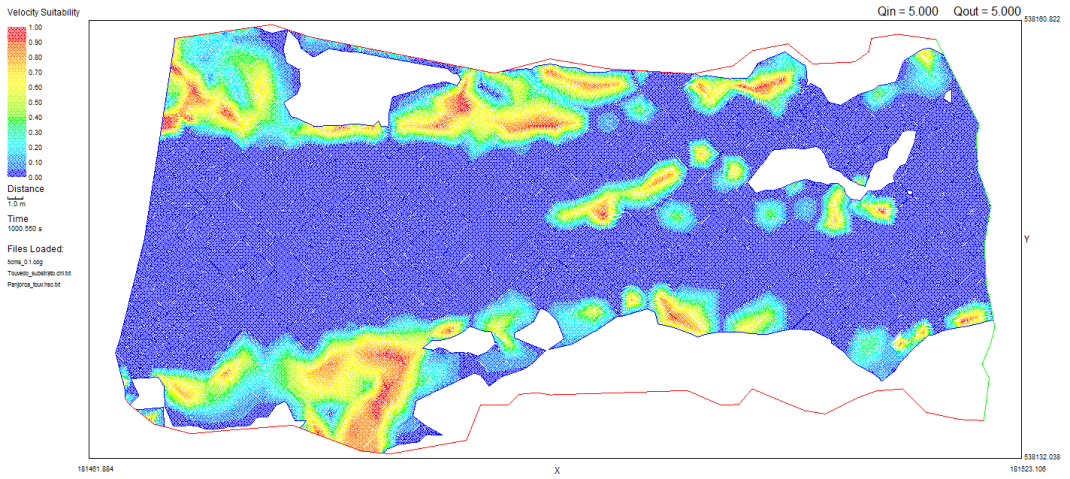


Fig. B. 135: Aptidão da **velocidade** à Panjorca para um $Q = 5\ m^3/s$

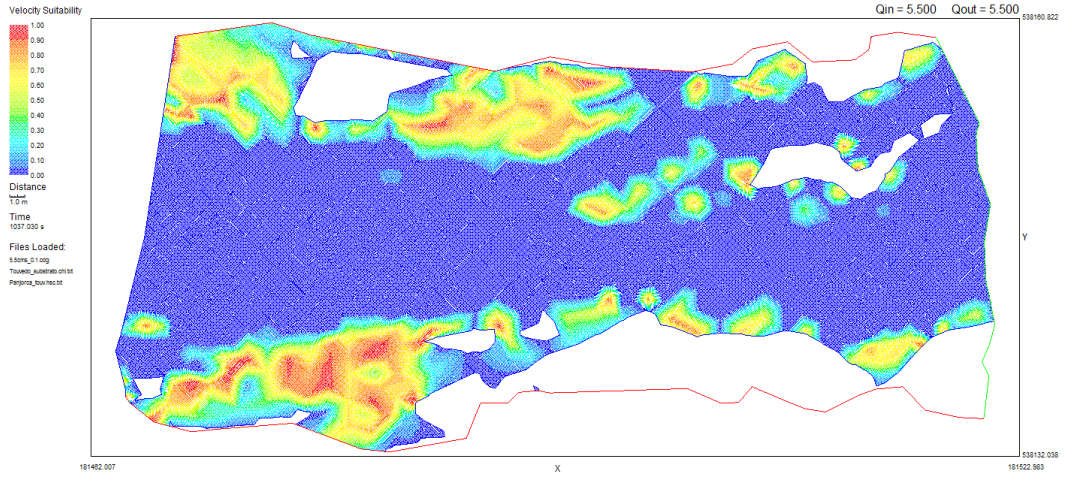


Fig. B. 136: Aptidão da **velocidade** à Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

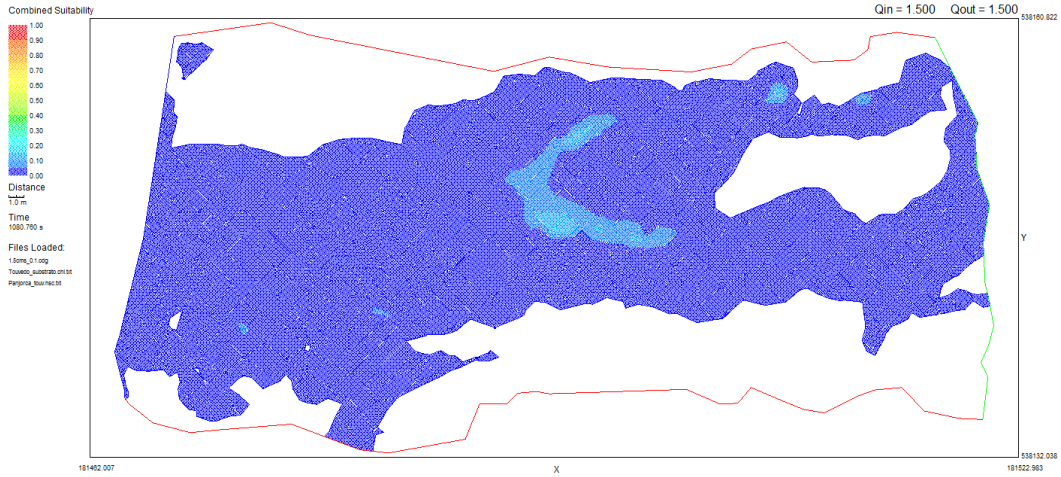


Fig. B. 137: Aptidão **combinada** para a Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

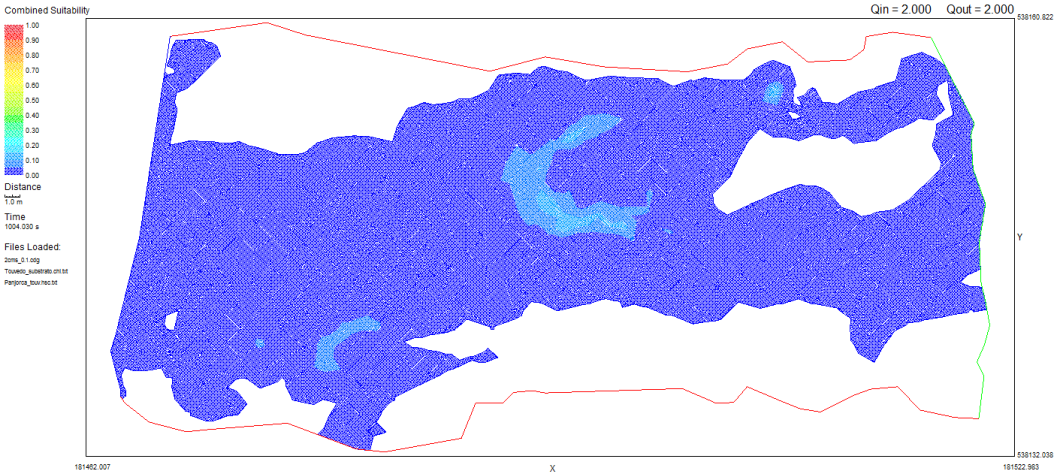


Fig. B. 138: Aptidão **combinada** para a Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$

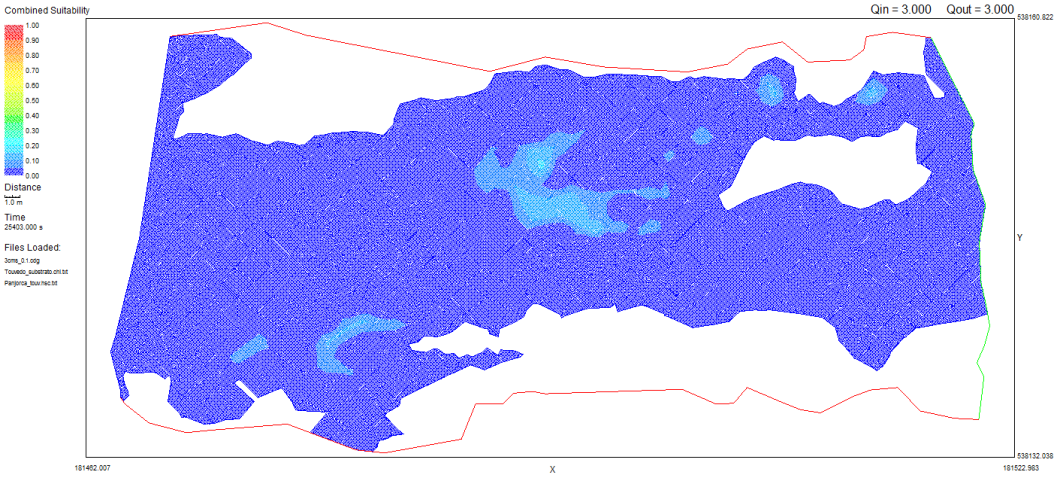


Fig. B. 139: Aptidão **combinada** para a Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$

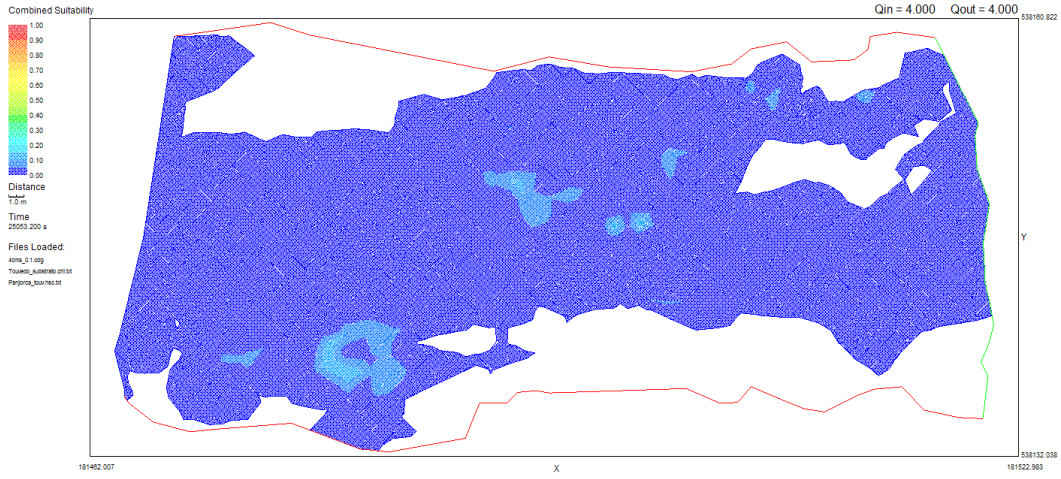


Fig. B. 140: Aptidão **combinada** para a Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$

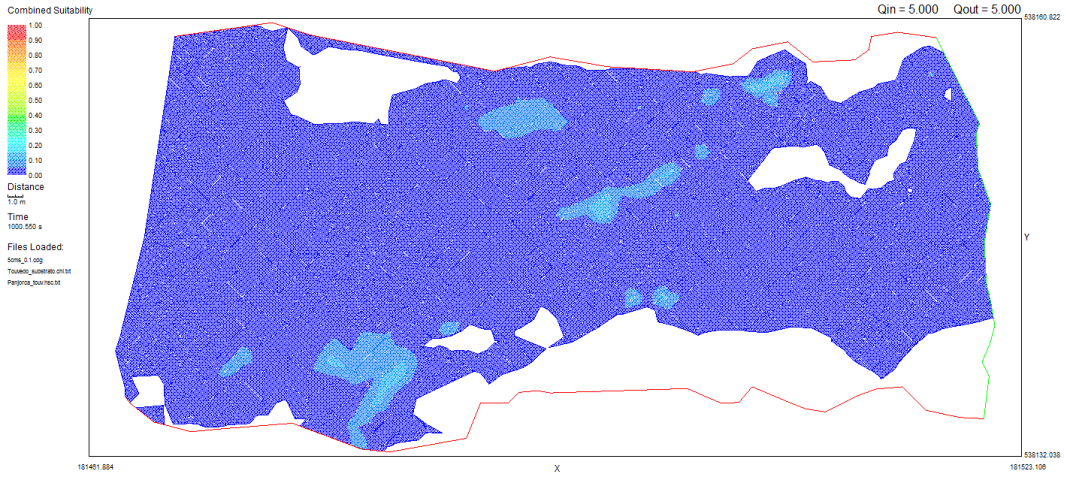


Fig. B. 141: Aptidão **combinada** para a Panjorca para um $Q = 5\ m^3/s$

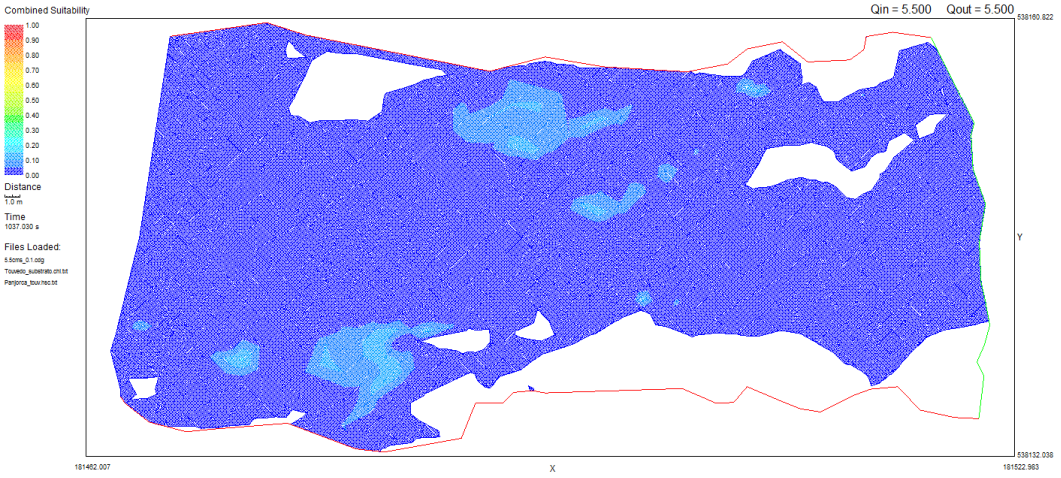


Fig. B. 142: Aptidão **combinada** para a Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

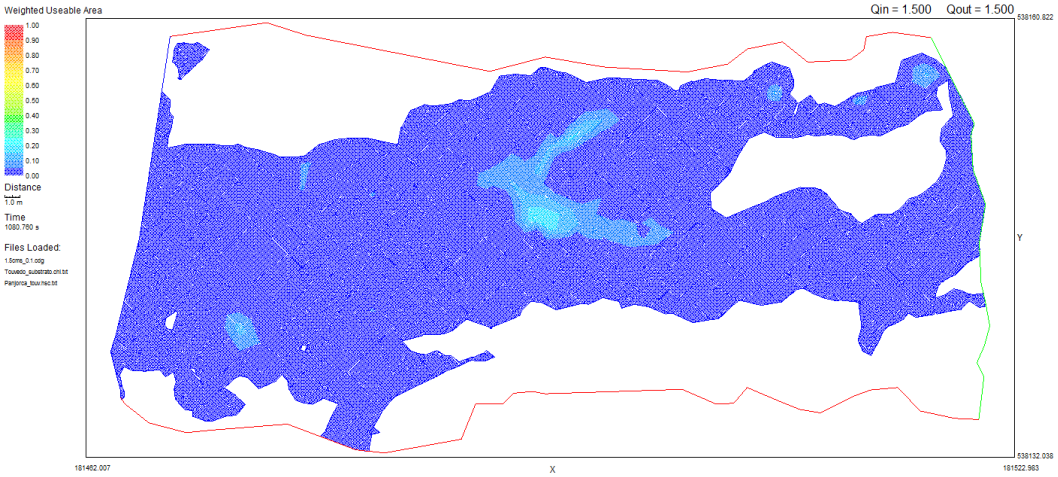


Fig. B. 143: **Superfície Ponderada Útil** para a Panjorca para um $Q = 1{,}5\ m^3/s$

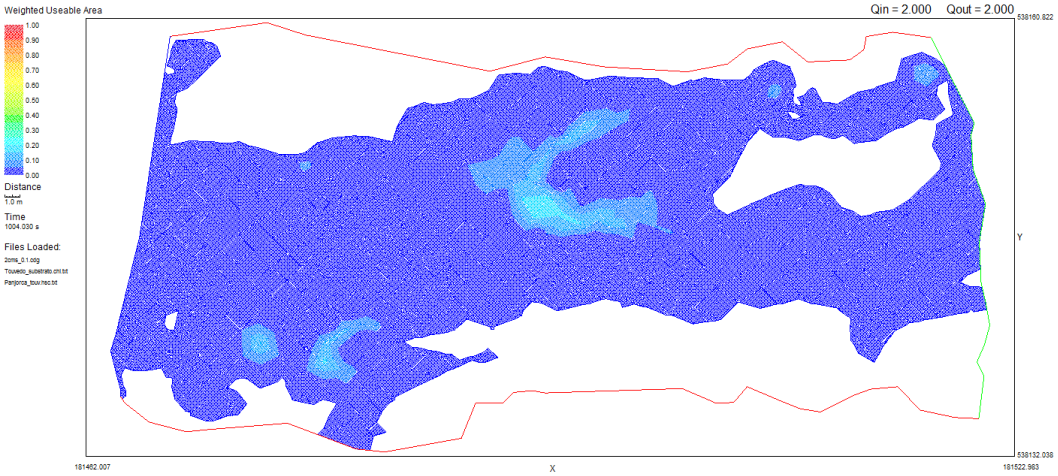


Fig. B. 144: **Superfície Ponderada Útil** para a Panjorca para um $Q = 2\ m^3/s$

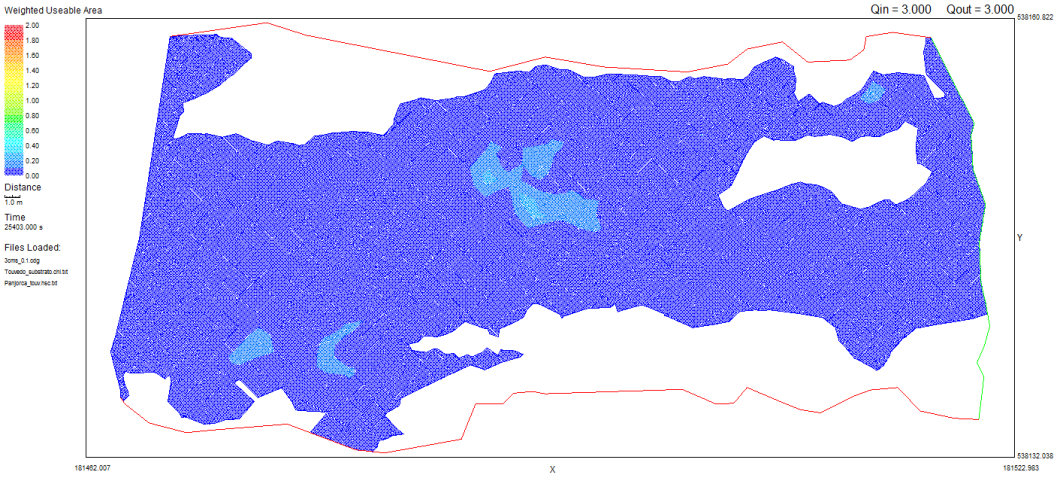


Fig. B. 145: **Superfície Ponderada Útil** para a Panjorca para um $Q = 3\ m^3/s$

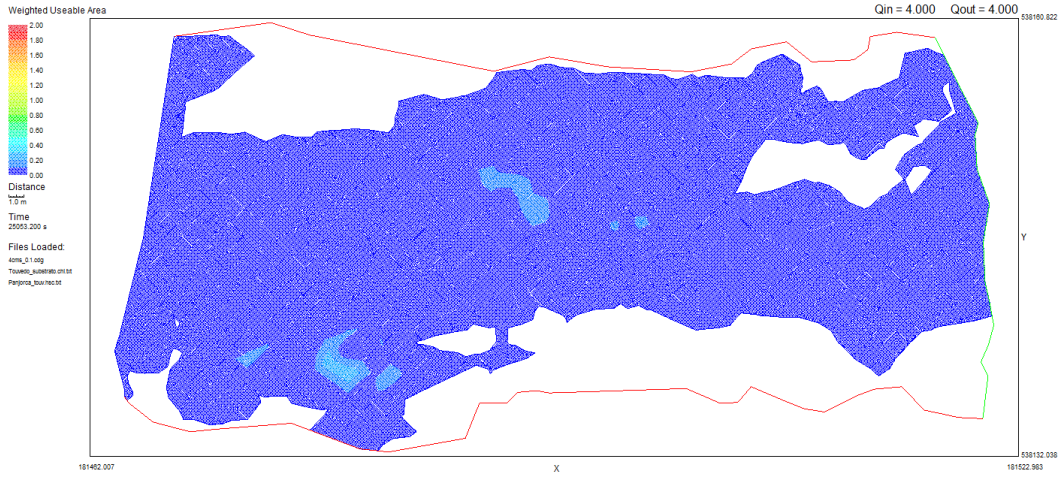


Fig. B. 146: **Superfície Ponderada Útil** para a Panjorca para um $Q = 4\ m^3/s$

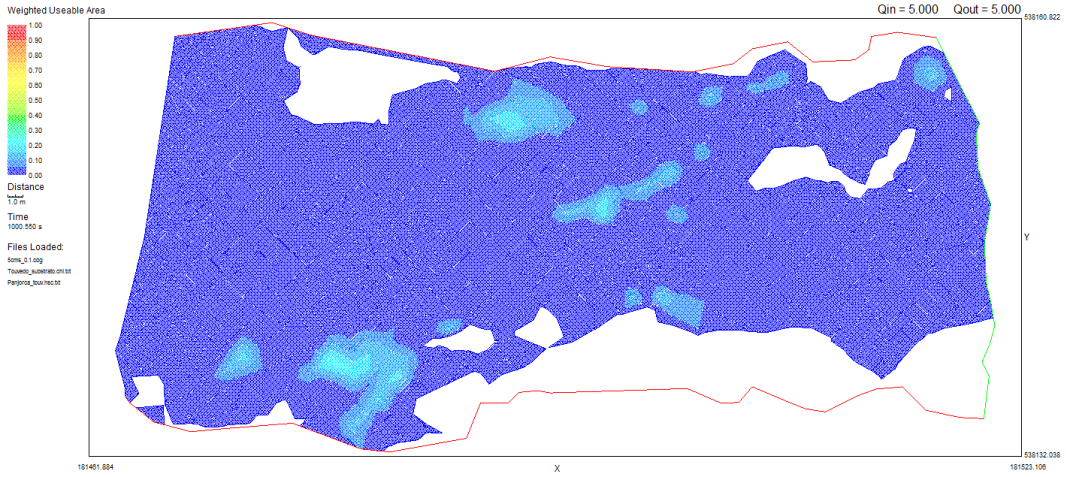


Fig. B. 147: **Superfície Ponderada Útil** para a Panjorca para um $Q = 5m^3/s$

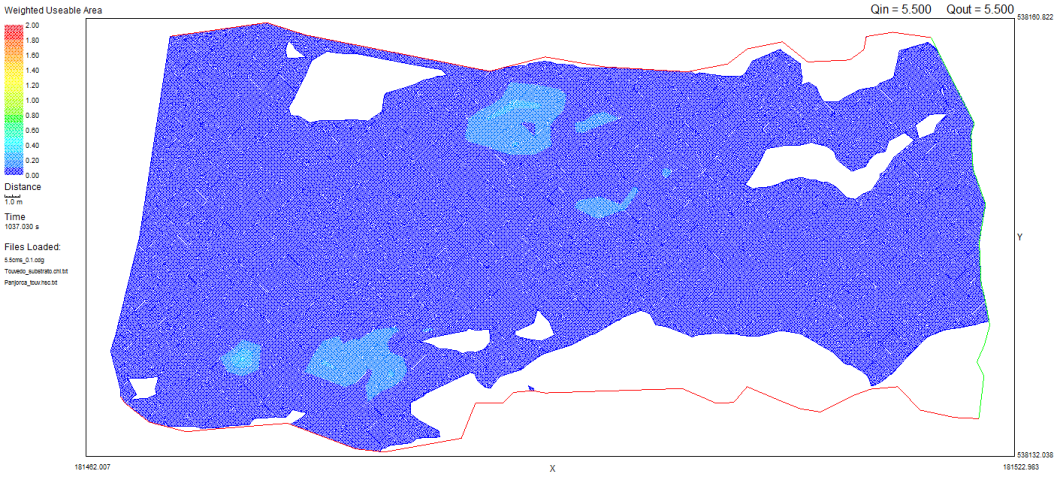


Fig. B. 148: **Superfície Ponderada Útil** para a Panjorca para um $Q = 5{,}5\ m^3/s$

ANEXO C

CASO DE ESTUDO: AH RIBEIRADIO E ERMIDA

ANEXO C 1

C.1. Visitas de reconhecimento 11
C.1.1. Planeamento prévio 11
C.1.2. Fichas da Visita de Reconhecimento 12

C.2. Recolha de dados 19
C.2.1. Planeamento prévio 19
C.2.2. Simulação para verificação do tempo disponível para realização da recolha de dados 20
C.2.3. Dados Recolhidos no Levantamento topográfico 22
C.2.4. Dados recolhidos através do MF pro 23
C.2.5. Dados recolhidos através do RiverRay 23

C.3. Curvas de preferência das espécies-alvo 28

C.4. Estimativa da Rugosidade e condições Fronteira 33

C.5. Calibração do Modelo 34
C.5.1.Resultados para q = 6 m^3/s na secção central 34
C.5.2.Resultados para q = 17 m^3/s na secção central 35

C.6. Simulação Hidrodinâmica 36
C.6.1. Resultados obtidos para Q = 0,1 m^3/s 36
C.6.2. Resultados obtidos para Q = 1 m^3/s 37
C.6.3. Resultados obtidos para Q =3 m^3/s 38
C.6.4. Resultados obtidos para Q = 6 m^3/s 39
C.6.6. Resultados obtidos para Q = 12 m^3/s 41
C.6.7. Resultados obtidos para Q = 15 m^3/s 42
C.6.8. Resultados obtidos para Q =17 m^3/s 43

C.7. Simulação de Habitat 44
C.7.1. Resultados obtidos para a Boga-Comum (Adulto) 44
C.7.2. Resultados obtidos para a Boga-Comum (Juvenil) 56
C.7.3. Resultados obtidos para a Escalo-do-Norte (Adulto) 68
C.7.4. Resultados obtidos para o Escalo-do-Norte (Juvenil) 80
C.7.5. Resultados obtidos para a Truta-de-rio (Adulto) 92
C.7.6. Resultados obtidos para a Truta-do-rio (Juvenil) 104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela C. 1: Curva de vazão para descarregador de fundo parcialmente aberto 20
Tabela C. 2: Curva de cap. da albufeira de Ribeiradio 21
Tabela C. 3: Simulação do tempo disponível 21
Tabela C. 4: Dados recolhidos através do MF pro para um Q=6m^3/s 23
Tabela C. 5: Dados recolhidos através do RiverRay para um Q=17m3/s 23
Tabela C. 6: Aplicação da fórmula de *Manning*: 33

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. C.1: Mapa dos locais a visitar. 11
Fig. C. 2: Enquadramento da secção a modelar 19
Fig. C. 3: Secção de Montante e de Jusante 19
Fig. C. 4: Planeamento recolha de dados hidráulicos 20
Fig. C. 5: Curva de cap. da albufeira de Ribeiradio 21
Fig. C. 6: Pontos levantados com recurso ao Trimble R8 22
Fig. C. 7: Curva de preferência da velocidade para o Escalo do Norte (Rio Vouga). Baseado em: [27] 28
Fig. C. 8: Curva de preferência da velocidade para a Truta-do-rio (Rio Vouga) Baseado em: [27] 28
Fig. C. 9: Curva de preferência da velocidade para a Boga (Rio Vouga). Baseado em: [66] 29
Fig. C. 10: Curva de preferência da profundidade para o Escalo do Norte (Rio Vouga). Baseado em: [27] 29
Fig. C. 11: Curva de preferência da profundidade para a Truta-do-rio (Rio Vouga). Baseado em: [27] 30
Fig. C. 12: Curva de preferência da profundidade para a Boga (Rio Vouga). Baseado em: [66] 30
Fig. C. 13 Curva de preferência de substrato para o Escalo do Norte (Rio Vouga). Baseado em: [27] 31
Fig. C. 14: Curva de preferência de substrato para a Truta-do-rio (Rio Vouga). Baseado em: [27] 31
Fig. C. 15: Curva de preferência do substrato para a Boga (Rio Vouga). Baseado em: [66] 32
Fig. C. 16: Parâmetros medidos no local e simplificação da secção considerada 33
Fig. C. 17: Resultados finais da calibração do modelo para o perfil da velocidade na secção central 34
Fig. C. 18: Resultados finais da calibração do modelo para a profundidade de escoamento na secção central 34
Fig. C. 17: Resultados finais da calibração do modelo para o perfil da velocidade na secção central 35
Fig. C. 18: Resultados finais da calibração do modelo para a profundidade de escoamento na secção central 35
Fig. C. 18: Distribuição da profundidade para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 36
Fig. C. 19:Distribuição da velocidade para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 36
Fig. C. 20:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 36
Fig. C. 21: Distribuição da profundidade para um $Q = 1\ m^3/s$ 37
Fig. C. 22:Distribuição da velocidade para um $Q = 1\ m^3/s$ 37
Fig. C. 23:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 1\ m^3/s$ 37
Fig. C. 24: Distribuição da profundidade para um $Q = 3\ m^3/s$ 38
Fig. C. 25:Distribuição da velocidade para um $Q = 3 m^3/s$ 38
Fig. C. 26:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 3\ m^3/s$ 38
Fig. C. 27: Distribuição da profundidade para um $Q = 6\ m^3/s$ 39
Fig. C. 28:Distribuição da velocidade para um $Q = 6\ m^3/s$ 39
Fig. C. 29:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 6\ m^3/s$ 39
Fig. C. 30: Distribuição da profundidade para um $Q = 9\ m^3/s$ 40

Fig. C. 31:Distribuição da velocidade para um $Q = 9\ m^3/s$ 40
Fig. C. 32:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 9\ m^3/s$ 40
Fig. C. 33: Distribuição da profundidade para um $Q = 12\ m^3/s$ 41
Fig. C. 34:Distribuição da velocidade para um $Q = 12\ m^3/s$ 41
Fig. C. 35:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 12\ m^3/s$ 41
Fig. C. 36: Distribuição da profundidade para um $Q = 15\ m^3/s$ 42
Fig. C. 37:Distribuição da velocidade para um $Q = 15\ m^3/s$ 42
Fig. C. 38:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 15\ m^3/s$ 42
Fig. C. 39: Distribuição da profundidade para um $Q = 17\ m^3/s$ 43
Fig. C. 40:Distribuição da velocidade para um $Q = 17m^3/s$ 43
Fig. C. 41:Distribuição do Número de Froude para um $Q = 17\ m^3/s$ 43
Fig. C. 42: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 44
Fig. C. 43: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 44
Fig. C. 44: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 44
Fig. C. 45: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 45
Fig. C. 46: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 45
Fig. C. 47: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 45
Fig. C. 48: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 46
Fig. C. 49: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 46
Fig. C. 50: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 47
Fig. C. 51: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 47
Fig. C. 52: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 47
Fig. C. 53: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 48
Fig. C. 54: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 48
Fig. C. 55: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 48
Fig. C. 56: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 49
Fig. C. 57: Aptidão da velocidade à Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 49
Fig. C. 58: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 50
Fig. C. 59: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 50
Fig. C. 60: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 50
Fig. C. 61: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 51
Fig. C. 62: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 51
Fig. C. 63: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 51
Fig. C. 64: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 52
Fig. C. 65: Aptidão combinada para a Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 52
Fig. C. 66: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 53
Fig. C. 67: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 53
Fig. C. 68: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 53
Fig. C. 69: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 54
Fig. C. 70: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 54
Fig. C. 71: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 54
Fig. C. 72: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 55

Fig. C. 73: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 55
Fig. C. 74: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 56
Fig. C. 75: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 56
Fig. C. 76: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 56
Fig. C. 77: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 57
Fig. C. 78: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 57
Fig. C. 79: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 57
Fig. C. 80: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 58
Fig. C. 81: Aptidão da profundidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 58
Fig. C. 82: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 59
Fig. C. 83: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 59
Fig. C. 84: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 59
Fig. C. 85: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 60
Fig. C. 86: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 60
Fig. C. 87: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 60
Fig. C. 88: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 61
Fig. C. 89: Aptidão da velocidade à Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 61
Fig. C. 90: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 62
Fig. C. 91: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 62
Fig. C. 92: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 62
Fig. C. 93: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 63
Fig. C. 94: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 63
Fig. C. 95: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 63
Fig. C. 96: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 64
Fig. C. 97: Aptidão combinada para a Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 64
Fig. C. 98: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 65
Fig. C. 99: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 65
Fig. C. 100: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 65
Fig. C. 101: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 66
Fig. C. 102: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 66
Fig. C. 103: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 66
Fig. C. 104: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 67
Fig. C. 105: Superfície Ponderada Útil para a Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 67
Fig. C. 106: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 68
Fig. C. 107: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 68
Fig. C. 108: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 68
Fig. C. 109: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 69
Fig. C. 110: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 69
Fig. C. 111: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 69
Fig. C. 112: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 70
Fig. C. 113: Aptidão da profundidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 70
Fig. C. 114: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 71

Fig. C. 115: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 71
Fig. C. 116: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 71
Fig. C. 117: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 72
Fig. C. 118: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 72
Fig. C. 119: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 72
Fig. C. 120: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 73
Fig. C. 121: Aptidão da velocidade ao Escalo (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 73
Fig. C. 122: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 74
Fig. C. 123: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 74
Fig. C. 124: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 74
Fig. C. 125: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 75
Fig. C. 126: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 75
Fig. C. 127: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 75
Fig. C. 128: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 76
Fig. C. 129: Aptidão combinada para o Escalo (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 76
Fig. C. 130: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 77
Fig. C. 131: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 77
Fig. C. 132: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 77
Fig. C. 133: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 78
Fig. C. 134: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 78
Fig. C. 135: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 78
Fig. C. 136: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 79
Fig. C. 137: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 79
Fig. C. 138: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 80
Fig. C. 139: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 80
Fig. C. 140: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 80
Fig. C. 141: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 81
Fig. C. 142: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 81
Fig. C. 143: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 81
Fig. C. 144: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 82
Fig. C. 145: Aptidão da profundidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 82
Fig. C. 146: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 83
Fig. C. 147: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 83
Fig. C. 148: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 83
Fig. C. 149: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 84
Fig. C. 150: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 84
Fig. C. 151: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 84
Fig. C. 152: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 85
Fig. C. 153: Aptidão da velocidade ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 85
Fig. C. 154: Aptidão combinada para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 86
Fig. C. 155: Aptidão combinada para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 86

Fig. C. 156: Aptidão combinada para o Escalo(Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 86
Fig. C. 157: Aptidão combinada para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 87
Fig. C. 158: Aptidão combinada para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 87
Fig. C. 159: Aptidão combinada para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 87
Fig. C. 160: Aptidão combinada para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 88
Fig. C. 161: Aptidão combinada para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 88
Fig. C. 162: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 89
Fig. C. 163: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 89
Fig. C. 164: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 89
Fig. C. 165: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 90
Fig. C. 166: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 90
Fig. C. 167: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 90
Fig. C. 168: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 91
Fig. C. 169: Superfície Ponderada Útil para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 91
Fig. C. 170: Aptidão da profundidade à Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 92
Fig. C. 171: Aptidão da profundidade à Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 92
Fig. C. 172: Aptidão da profundidade à Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 92
Fig. C. 173: Aptidão da profundidade à Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 93
Fig. C. 174: Aptidão da profundidade à Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 93
Fig. C. 175: Aptidão da profundidade à Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 93
Fig. C. 176: Aptidão da profundidade à Truta (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 94
Fig. C. 177: Aptidão da profundidade à Truta (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 94
Fig. C. 178: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 95
Fig. C. 179: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 95
Fig. C. 180: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 95
Fig. C. 181: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 96
Fig. C. 182: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 96
Fig. C. 183: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 96
Fig. C. 184: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 97
Fig. C. 185: Aptidão da velocidade à Truta (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 97
Fig. C. 186: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 98
Fig. C. 187: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 98
Fig. C. 188: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 98
Fig. C. 189: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 99
Fig. C. 190: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 99
Fig. C. 191: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 99
Fig. C. 192: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 100
Fig. C. 193: Aptidão combinada para a Truta (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 100
Fig. C. 194: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 101
Fig. C. 195: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$ 101
Fig. C. 196: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$ 101
Fig. C. 197: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$ 102

Fig. C. 198: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$ 102
Fig. C. 199: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$ 102
Fig. C. 200: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$ 103
Fig. C. 201: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$ 103
Fig. C. 202: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 104
Fig. C. 203: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 104
Fig. C. 204: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 104
Fig. C. 205: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 105
Fig. C. 206: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 105
Fig. C. 207: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 105
Fig. C. 208: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 106
Fig. C. 209: Aptidão da profundidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 106
Fig. C. 210: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 107
Fig. C. 211: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 107
Fig. C. 212: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 107
Fig. C. 213: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 108
Fig. C. 214: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 108
Fig. C. 215: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 108
Fig. C. 216: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 109
Fig. C. 217: Aptidão da velocidade à Truta (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 109
Fig. C. 218: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 110
Fig. C. 219: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 110
Fig. C. 220: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 110
Fig. C. 221: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 111
Fig. C. 222: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 111
Fig. C. 223: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 111
Fig. C. 224: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 112
Fig. C. 225: Aptidão combinada para a Truta (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 112
Fig. C. 226: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$ 113
Fig. C. 227: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$ 113
Fig. C. 228: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$ 113
Fig. C. 229: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$ 114
Fig. C. 230: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$ 114
Fig. C. 231: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$ 114
Fig. C. 232: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$ 115
Fig. C. 233: Superfície Ponderada Útil para a Truta (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$ 115

C.1. VISITAS DE RECONHECIMENTO

C.1.1. PLANEAMENTO PRÉVIO

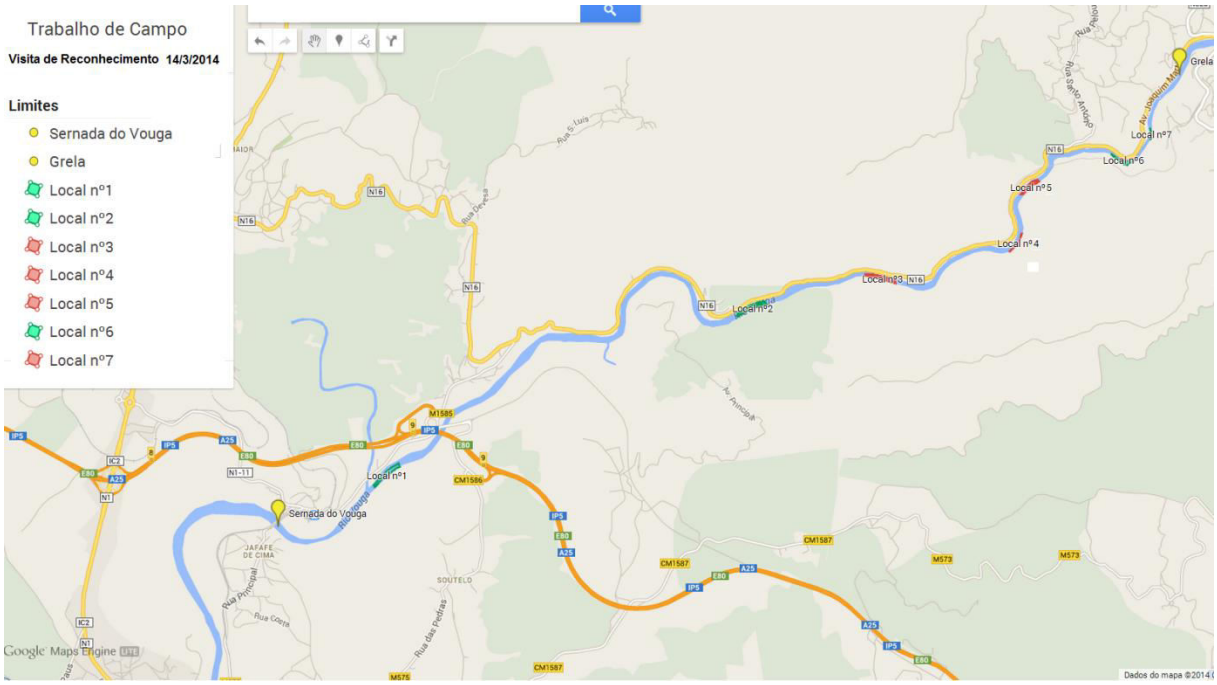
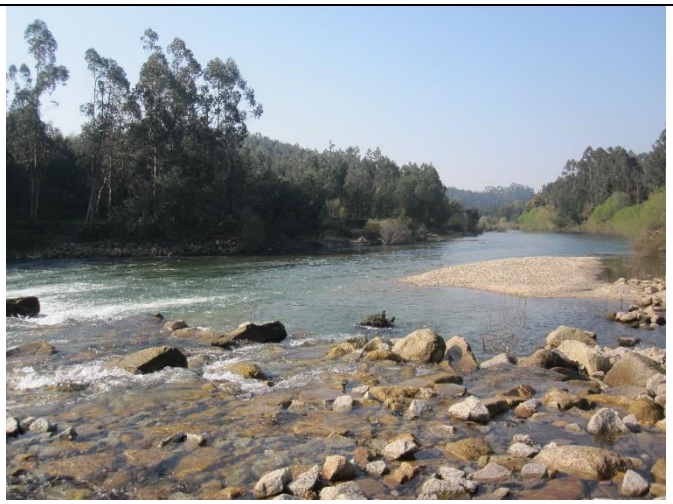


Fig. C.1: Mapa dos locais a visitar.

C.1.2. FICHAS DA VISITA DE RECONHECIMENTO

LOCAL Nº1



	Data da visita	14/03/2014
	Acessos	Acesso de carro por estrada de terra
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Rápidos, Água Parada
	Singularidades	Açude do Carvoeiro imediatamente a montante da secção observada
	Espécies Piscícolas	Nenhuma avistada
Classificação	**Velocidade**	Elevada
	Profundidade	Elevada na margem esquerda
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Levantamento parcial para testar equipamento
	Caudais	Não
	Comentários	O troço tem potencialidade para ser modelado

LOCAL Nº2



	Data da visita	14/03/2014
	Acessos	Acesso a pé por caminho de terra
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Pool
	Singularidades	Nenhuma
	Espécies Piscícolas	Nenhuma avistada
Classificação	**Velocidade**	Moderada
	Profundidade	Margem direita: Moderada Margem esquerda: Elevada
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Não
	Caudais	Não
	Comentários	A monotonia de mesohabitats torna o troço pouco apelativo para ser modelado

LOCAL Nº3



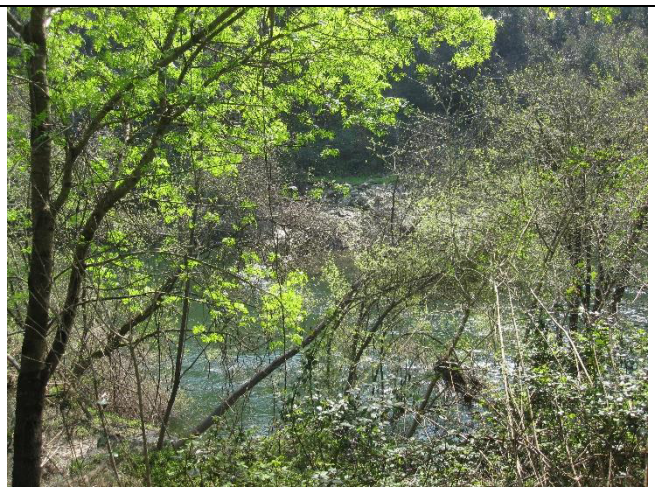
	Data da visita	14/03/2014
	Acessos	Acesso de carro por estrada de terra
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Pools, Riffles, Braço lateral
	Singularidades	Existência de uma ilha
	Espécies Piscícolas	Nenhuma avistada
Classificação	**Velocidade**	Elevada na margem esquerda Moderada na margem direita
	Profundidade	Elevada na margem esquerda Baixa na margem direita
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Levantamento parcial para testar equipamento
	Caudais	Sim, no braço direito
	Comentários	A profundidade no braço esquerdo invalida este local

LOCAL Nº4



	Data da visita	14/03/2014
	Acessos	Acesso difícil a pé, sem caminhos.
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Rápidos, Pool
	Singularidades	Existência de uma curva
	Espécies Piscícolas	Nenhuma avistada
Classificação	**Velocidade**	Muito elevada
	Profundidade	Elevada
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Não
	Caudais	Não
	Comentários	Troço interessante tendo em conta os mesohabitats

LOCAL Nº5



	Data da visita	14/03/2014
	Acessos	Sem acesso
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Riffles
	Singularidades	Obstáculo natural na margem esquerda
	Espécies Piscícolas	Nenhuma avistada
Classificação	**Velocidade**	Elevada
	Profundidade	Elevada
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Não
	Caudais	Não
	Comentários	O troço não é representativo do rio

LOCAL Nº6



	Data da visita	14/03/2014
	Acessos	Acesso de jipe por estrada de terra
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Pool, Riffles
	Singularidades	Existência de uma curva
	Espécies Piscícolas	Nenhuma avistada
Classificação	**Velocidade**	Moderada
	Profundidade	Moderada
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Não
	Caudais	Não
	Comentários	Bom candidato

LOCAL Nº7



	Data da visita	14/03/2014
	Acessos	Sem acesso
Parâmetros observados	**Mesohabitats**	Pool
	Singularidades	Nenhuma observada
	Espécies Piscícolas	Nenhuma avistada
Classificação	**Velocidade**	Elevada
	Profundidade	Muito elevada
Parâmetros Medidos	**Levantamento topográfico**	Não
	Caudais	Não
	Comentários	Profundidade invalida o troço

C.2. RECOLHA DE DADOS

C.2.1. PLANEAMENTO PRÉVIO



Fig. C. 2: Enquadramento da secção a modelar



Fig. C. 3: Secção de Montante e de Jusante



Fig. C. 4: Planeamento recolha de dados hidráulicos

Medição de Caudais: $\approx 31\ metros$

Perfil de Velocidades 1: $\approx 15\ metros$

Perfil de Velocidades 2: $\approx 12\ metros$

Perfil de Velocidades 3: $\approx 11\ metros$

C.2.2. SIMULAÇÃO PARA VERIFICAÇÃO DO TEMPO DISPONÍVEL PARA REALIZAÇÃO DA RECOLHA DE DADOS

Tabela C. 1: Curva de vazão para descarregador de fundo parcialmente aberto

Ângulo de abertura da comporta	**Nível água na albufeira (m)**							
	60	**70**	**80**	**90**	**100**	**105**	**110**	**112**
5	3,8	6	7,6	8,9	10,1	10,6	11,1	11,3
10	7,6	12,2	15,5	18,2	20,5	21,6	22,6	23
15	11,5	18,5	23,5	27,7	31,3	32,9	34,5	35,1
20	15,4	25,2	32	37,7	42,6	44,8	47	47,8
25	19,6	32,2	41,1	48,4	54,7	57,6	60,4	61,5
30	24,3	40,3	51,5	60,7	68,7	72,3	75,8	77,1
35	30	50,2	64,4	75,9	85,9	90,5	94,9	96,6
40,2	39	65,9	84,6	99,9	113,2	119,2	1250	127,3

Tabela C. 2: Curva de cap. da albufeira de Ribeiradio

A (km²)	V (hm³)	Z (m)
0,01	0,02	45
0,11	0,33	50
0,29	1,33	55
0,53	3,37	60
0,83	6,75	65
1,18	11,80	70
1,56	18,60	75
1,97	27,50	80
2,43	38,40	85
2,92	51,80	90
3,56	68,00	95
4,20	87,40	100
4,90	110,10	105
5,61	136,40	110
6,37	166,40	115

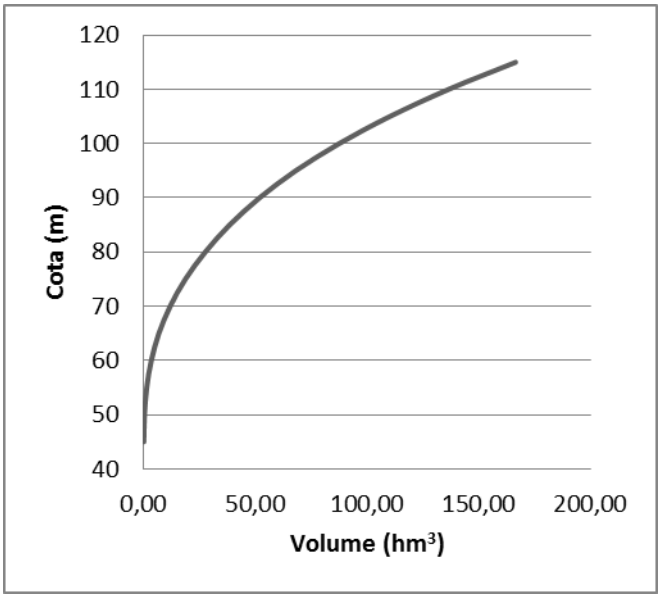


Fig. C. 5: Curva de cap. da albufeira de Ribeiradio

Tabela C. 3: Simulação do tempo disponível

Ângulo comporta	$Q_{descarregado}$	$Q_{afluente}$	$Q_{diferença}$	ΔVolume	Tempo	Tempo
(º)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	m³	(s)	(horas)
5	5,0	12	7,0	3380000,0	482857	134
	5,0	20	15,0	3380000,0	225333	63
	5,0	25	20,0	3380000,0	169000	47
	5,0	30	25,0	3380000,0	135200	38
	5,0	35	30,0	3380000,0	112667	31
	5,0	40	35,0	3380000,0	96571	27
	5,0	45	40,0	3380000,0	84500	23
	5,0	50	45,0	3380000,0	75111	21
10,0	9,9	12	2,1	3380000,0	1609524	447
	9,9	20	10,1	3380000,0	334653	93
	9,9	25	15,1	3380000,0	223841	62
	9,9	30	20,1	3380000,0	168159	47
	9,9	35	25,1	3380000,0	134661	37
	9,9	40	30,1	3380000,0	112292	31
	9,9	45	35,1	3380000,0	96296	27
	9,9	50	40,1	3380000,0	84289	23
15,0	15,0	20	5,0	3380000,0	676000	188
	15,0	25	10,0	3380000,0	338000	94
	15,0	30	15,0	3380000,0	225333	63
	15,0	35	20,0	3380000,0	169000	47
	15,0	40	25,0	3380000,0	135200	38
	15,0	45	30,0	3380000,0	112667	31
	15,0	50	50,0	3380000,0	67600	19

C.2.3. DADOS RECOLHIDOS NO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO



Fig. C. 6: Pontos levantados com recurso ao Trimble R8

C.2.4. DADOS RECOLHIDOS ATRAVÉS DO MF PRO

Tabela C. 4: Dados recolhidos através do MF pro para um Q=6m^3/s

ID	X	Y	Z	Altura (m)	Velocidade (mm/s)	m/s	Média	Sup. LIVRE
7256	180355,410	414825,980	16,490	0,359	34,0	0,034	0,274	16,849
				0,100	513,9	0,514		
7258	180374,310	414836,370	16,010	0,649	130,1	0,130	0,160	16,659
				0,152	190,6	0,191		
7259	180375,600	414830,560	15,990	0,590	384,5	0,385	0,624	16,580
				0,156	864,0	0,864		
7260	180375,860	414826,110	16,110	0,494	380,3	0,380	0,695	16,604
				0,157	1009,0	1,009		
7261	180374,280	414817,850	16,980	0,291	505,3	0,505	0,905	17,271
				0,100	1305,0	1,305		
7262	180362,910	414814,750	16,190	0,316	1056,0	1,056	1,340	16,506
				0,100	1623,0	1,623		
7263	180374,870	414805,820	15,930	0,163	219,3	0,219	0,219	16,093

C.2.5. DADOS RECOLHIDOS ATRAVÉS DO RIVERRAY

Tabela C. 5: Dados recolhidos através do RiverRay para um Q=17m3/s

Dist. à ME	Prof total. [m]	Superf. Livre [m]	Cota [m]		Profundidade Parcial										Vel. Média
					0,32	0,42	0,52	0,62	0,72	0,82	0,92	1,02	1,12	1,22	
0,000	1,105	17,050	15,945		0,385	0,343	0,482	0,213	0,3						0,345
0,075	1,115	17,050	15,935		0,41	0,518	0,469	0,421	0,415	0,415					0,441
0,123	1,167	17,050	15,883		0,468	0,482	0,366	0,293	0,341	0,358					0,385
0,123	1,194	17,050	15,856		0,447	0,459	0,33	0,439	0,518	0,35					0,424
0,147	1,177	17,050	15,873		0,405	0,364	0,285	0,33	0,342	0,342	0,085				0,308
0,228	1,217	17,050	15,833		0,349	0,35	0,226	0,391	0,341	0,402					0,343
0,419	1,186	17,050	15,864	VELOCIDADES [m/s]	0,517	0,253	0,406	0,383	0,354	0,228					0,357
0,543	1,192	17,050	15,858		0,547	0,833	0,499	0,459	0,425	0,478	0,202				0,492
0,718	1,233	17,050	15,817		0,272	0,526	0,618	0,333	0,369	0,365	0,28				0,395
0,855	1,341	17,050	15,709		0,493	0,383	0,353	0,381	0,436	0,405	0,305	0,189			0,368
1,082	1,337	17,050	15,713		0,412	0,418	0,396	0,255	0,248	0,098	0,043				0,267
1,350	1,345	17,050	15,705		0,608	0,525	0,777	0,934	0,664	0,799					0,718
1,617	1,330	17,050	15,720		0,565	0,578	0,313	0,569	0,538	0,445					0,501
1,791	1,328	17,050	15,722		0,508	0,575	0,558	0,664	0,594	0,591	0,478				0,567
2,000	1,382	17,050	15,668		0,583	0,558	0,608	0,559	0,435	0,491	0,431	0,432			0,512
2,153	1,420	17,050	15,630		0,544	0,637	0,551	0,738	0,389	0,129	0,73	0,919			0,580
2,381	1,402	17,050	15,648		0,554	0,494	0,692	0,359	0,775	0,948	0,711	0,833			0,671
2,527	1,409	17,050	15,641		0,541	0,534	0,486	0,493	0,52	0,528	0,452	0,464			0,502

2,688	1,473	17,050	15,577	0,561	0,568	0,603	0,835	0,525	0,476	0,662	0,674			0,613
2,835	1,467	17,050	15,583	0,534	0,58	0,54	0,567	0,573	0,555	0,513	0,458	0,426		0,527
3,005	1,479	17,050	15,571	0,463	0,556	0,56	0,613	0,487	0,506	0,499	0,468	0,359		0,501
3,179	1,475	17,050	15,575	0,612	0,543	0,557	0,593	0,563	0,535	0,486	0,48	0,431		0,533
3,389	1,434	17,050	15,616	0,547	0,573	0,536	0,596	0,362	0,34	0,541	0,535			0,504
3,554	1,462	17,050	15,588	0,589	0,69	0,698	0,662	0,638	0,624	0,522	0,409	0,202		0,559
3,719	1,489	17,050	15,561	0,593	0,583	0,491	0,477	0,479	0,383	0,316	0,266	0,345		0,437
3,894	1,497	17,050	15,553	0,557	0,588	0,609	0,654	0,518	0,458	0,358	0,281	0,172		0,466
4,104	1,497	17,050	15,553	0,577	0,505	0,531	0,477	0,482	0,512	0,482	0,402	0,202	0,142	0,431
4,286	1,469	17,050	15,581	0,59	0,676	0,579	0,383	0,52	0,53	0,588				0,552
4,494	1,484	17,050	15,566	0,583	0,607	0,638	0,582	0,496	0,517	0,39	0,327			0,518
4,666	1,476	17,050	15,574	0,619	0,674	0,584	0,522	0,46	0,446	0,385	0,383			0,509
4,864	1,510	17,050	15,540	0,682	0,559	0,427	0,533	0,548	0,53	0,515	0,481	0,462		0,526
5,036	1,517	17,050	15,533	0,609	0,703	0,556	0,614	0,64	0,594	0,573	0,557	0,561	0,655	0,606
5,250	1,522	17,050	15,528	0,598	0,55	0,531	0,589	0,576	0,587	0,628	0,615	0,536	0,474	0,568
5,439	1,586	17,050	15,464	0,746	0,624	0,706	0,846	0,68	0,629	0,574	0,525	0,469	0,421	0,622
5,656	1,572	17,050	15,478	0,605	0,496	0,6	0,572	0,604	0,598	0,594	0,528	0,441	0,262	0,530
5,853	1,556	17,050	15,494	0,644	0,688	0,802	0,628	0,784	0,623	0,718	0,251	0,464		0,622
6,069	1,621	17,050	15,429	0,6	0,587	0,603	0,611	0,612	0,587	0,589	0,6	0,551	0,467	0,581
6,255	1,576	17,050	15,474	0,696	0,705	0,616	0,618	0,646	0,634	0,583	0,516	0,513	0,441	0,597
6,453	1,577	17,050	15,473	0,63	0,617	0,526	0,662	0,863	0,769	0,682	0,633	0,78		0,685
6,651	1,597	17,050	15,453	0,613	0,678	0,611	0,648	0,604	0,643	0,661	0,618	0,542	0,395	0,601
6,837	1,591	17,050	15,459	0,648	0,693	0,667	0,662	0,644	0,588	0,571	0,576	0,506	0,453	0,601
7,062	1,564	17,050	15,486	0,71	0,592	0,65	0,568	0,617	0,601	0,603	0,617	0,55	0,317	0,583
7,290	1,569	17,050	15,481	0,711	0,777	0,681	0,665	0,607	0,613	0,651	0,658	0,649	0,602	0,661
7,379	1,534	17,050	15,516	0,69	0,678	0,675	0,738	0,702	0,714	0,686	0,686	0,698	0,614	0,688
7,538	1,529	17,050	15,521	0,573	0,58	0,485	0,546	0,725	0,485	0,773	0,469	0,939		0,619
7,731	1,507	17,050	15,543	0,578	0,601	0,917	0,665	0,541	0,657	0,935	0,644	0,933		0,719
7,902	1,532	17,050	15,518	0,561	0,545	1,127	0,971	0,744	0,812	0,479	0,829	0,576		0,738
8,076	1,497	17,050	15,553	0,701	0,662	0,653	0,604	0,6	0,627	0,635	0,644	0,618		0,638
8,301	1,514	17,050	15,536	0,733	0,64	0,71	0,696	0,846	0,574	0,642	0,828	0,301		0,663
8,494	1,484	17,050	15,566	0,7	0,659	0,679	0,667	0,656	0,685	0,706	0,704	0,687		0,683
8,692	1,428	17,050	15,622	0,694	0,837	1,009	0,702	0,894	0,822	0,707				0,809
8,883	1,471	17,050	15,579	0,765	0,636	0,718	0,724	0,658	0,683	0,69	0,657	0,551		0,676
9,080	1,422	17,050	15,628	0,681	0,705	0,671	0,578	0,379	0,739	0,404	0,483			0,580
9,214	1,435	17,050	15,615	0,714	0,741	0,724	0,699	0,718	0,695	0,63	0,656	0,348		0,658
9,372	1,435	17,050	15,615	0,763	0,785	1,052	0,692	0,549	0,659	0,826	0,262			0,699
9,537	1,371	17,050	15,679	0,694	0,67	0,659	0,656	0,646	0,702	0,695				0,675
9,653	1,363	17,050	15,687	0,651	0,747	0,639	0,596	0,55	0,534	0,608				0,618
9,822	1,376	17,050	15,674	0,526	0,775	0,457	0,572	0,483	0,795	0,473				0,583
9,979	1,377	17,050	15,673	0,654	0,616	0,668	0,643	0,643	0,53	0,497	0,314			0,571
10,134	1,361	17,050	15,689	0,647	0,684	0,664	0,699	0,679	0,647	0,669	0,617			0,663

10,277	1,337	17,050	15,713	0,822	0,769	0,687	0,714	0,653	0,603	0,589		0,691
10,449	1,354	17,050	15,696	0,812	0,711	0,6	0,648	0,658	0,69	0,678		0,685
10,577	1,330	17,050	15,720	0,717	0,686	0,889	0,432	0,409	0,64	0,628		0,629
10,759	1,299	17,050	15,751	0,7	0,679	0,657	0,613	0,599	0,588	0,584		0,631
10,866	1,265	17,050	15,785	0,642	0,709	0,664	0,662	0,718	0,684	0,645		0,675
11,024	1,295	17,050	15,755	0,713	0,657	0,613	0,591	0,562	0,595	0,54	0,622	0,612
11,176	1,287	17,050	15,763	0,755	0,703	0,667	0,648	0,643	0,626	0,543		0,655
11,400	1,243	17,050	15,807	0,598	0,609	0,6	0,56	0,55	0,528	0,502		0,564
11,551	1,268	17,050	15,782	0,57	0,626	0,627	0,61	0,567	0,482	0,487		0,567
11,710	1,269	17,050	15,781	0,66	0,668	0,574	0,846	0,62	0,588			0,659
11,857	1,279	17,050	15,771	0,579	0,775	0,645	0,655	0,652	0,652	0,564		0,646
12,035	1,222	17,050	15,828	0,639	0,667	0,72	0,402	0,705	0,511			0,607
12,169	1,247	17,050	15,803	0,554	0,7	0,678	0,68	0,658	0,589	0,557		0,631
12,312	1,230	17,050	15,820	0,536	0,598	0,641	0,659	0,674	0,653	0,547		0,615
12,472	1,252	17,050	15,798	0,684	0,597	0,585	0,587	0,61	0,594	0,594		0,607
12,638	1,194	17,050	15,856	0,599	0,566	0,635	0,552	0,559	0,561			0,579
12,799	1,212	17,050	15,838	0,727	0,743	0,664	0,65	0,641	0,646	0,722		0,685
12,986	1,215	17,050	15,835	0,762	0,693	0,666	0,64	0,576	0,542			0,647
13,130	1,207	17,050	15,843	0,689	0,694	0,658	0,647	0,588	0,486	0,422		0,598
13,280	1,187	17,050	15,863	0,673	0,736	0,819	0,736	0,686	0,565	0,501		0,674
13,401	1,187	17,050	15,863	0,601	0,649	0,653	0,602	0,511	0,519	0,499		0,576
13,587	1,182	17,050	15,868	0,691	0,718	0,651	0,647	0,65	0,564			0,654
13,716	1,167	17,050	15,883	0,717	0,624	0,674	0,647	0,653	0,67			0,664
13,888	1,164	17,050	15,886	0,66	0,592	0,626	0,632	0,608	0,592			0,618
14,039	1,151	17,050	15,899	0,586	0,566	0,67	0,643	0,638	0,553			0,609
14,209	1,142	17,050	15,908	0,681	0,666	0,715	0,723	0,693	0,631			0,685
14,386	1,137	17,050	15,913	0,631	0,712	0,651	0,659	0,448	0,449			0,592
14,570	1,137	17,050	15,913	0,585	0,657	0,71	0,561	0,607	0,408			0,588
14,779	1,157	17,050	15,893	0,64	0,628	0,603	0,663	0,571	0,492			0,600
14,955	1,112	17,050	15,938	0,744	0,643	0,516	0,678	0,615				0,639
15,164	1,082	17,050	15,968	0,516	0,669	0,654	0,653	0,595	0,469			0,593
15,358	1,055	17,050	15,995	0,594	0,974	0,616	0,637	0,58	0,515			0,653
15,527	1,066	17,050	15,984	0,578		0,602	0,554	0,471				0,551
15,716	1,017	17,050	16,033	0,69		0,777	0,549	1,162				0,795
15,862	1,039	17,050	16,011	0,516		0,644	0,632	0,418				0,553
16,057	1,027	17,050	16,023	0,633	0,752	0,678	0,682	0,64				0,677
16,241	0,972	17,050	16,078	0,713		0,744	0,885					0,781
16,475	0,967	17,050	16,083	0,685	0,726	0,766	0,706	0,536				0,684
16,647	0,975	17,050	16,075	0,73	0,668	0,602	0,616	0,531				0,629
16,731	1,002	17,050	16,048	0,649	0,748	0,8	0,551	0,348				0,619
16,954	0,937	17,050	16,113	0,805	0,904	0,544	0,673					0,732
17,156	0,977	17,050	16,073	0,561	0,523	0,512	0,506	1,557				0,732
17,307	0,980	17,050	16,070	0,671	0,628	0,613	0,624	0,514				0,610

17,558	0,947	17,050	16,103	0,633	0,61	0,621	0,639	0,184	0,537
17,741	0,997	17,050	16,053	0,69	0,563	0,706	0,667	0,828	0,691
17,961	0,985	17,050	16,065	0,642	0,579	0,588	0,51	0,376	0,539
18,144	0,997	17,050	16,053	0,593	0,61	0,568	0,469	0,405	0,529
18,298	0,982	17,050	16,068	0,529	0,715	0,944	0,696	0,451	0,667
18,510	0,995	17,050	16,055	0,514	0,509	0,522	0,436	0,416	0,479
18,683	1,000	17,050	16,050	0,558	0,326	0,522	0,834	0,314	0,511
18,894	0,997	17,050	16,053	0,585	0,722	0,621	0,547		0,619
19,092	0,944	17,050	16,106	0,634	0,627	0,587	0,626		0,619
19,287	0,997	17,050	16,053	0,617	0,574	0,594	0,542	0,507	0,567
19,506	0,975	17,050	16,075	0,682	0,591	0,589	0,594	0,408	0,573
19,700	0,964	17,050	16,086	0,577	0,732	0,753	0,291		0,588
19,891	0,916	17,050	16,134	0,563	0,402	0,618			0,528
20,072	0,902	17,050	16,148	0,556	0,521	0,505	0,371		0,488
20,272	0,937	17,050	16,113	0,566	0,561	0,569	0,513	0,249	0,492
20,473	0,879	17,050	16,171	0,611	1,066	0,827			0,835
20,668	0,871	17,050	16,179	0,541	0,351	0,722			0,538
20,832	0,853	17,050	16,197	0,485	0,493	0,285			0,421
21,003	0,897	17,050	16,153		1,402	0,305	0,502		0,736
21,110	0,862	17,050	16,188	0,481	0,6	0,479	0,273		0,458
21,245	0,845	17,050	16,205	1,16	1,476	1,424			1,353
21,443	0,856	17,050	16,194	0,849	0,543	0,473			0,622
21,550	0,879	17,050	16,171	1,258	0,766	0,768	0,642		0,859
21,668	0,862	17,050	16,188	0,629	0,382	0,633	0,717		0,590
21,715	0,872	17,050	16,178	0,607	0,414	0,493	0,503		0,504
21,795	0,874	17,050	16,176	0,683	1,046	0,496	0,459		0,671
21,969	0,892	17,050	16,158	0,575	0,524	0,519	0,474		0,523
22,118	0,897	17,050	16,153	0,579	0,536	0,479	0,305		0,475
22,263	0,877	17,050	16,173	0,551	0,579	0,756	1,593		0,870
22,494	0,906	17,050	16,144	0,517	0,356	0,657	0,602		0,533
22,627	0,869	17,050	16,181	0,586	0,567	0,515	0,359		0,507
22,701	0,890	17,050	16,160	0,575		0,558	0,603		0,579
22,778	0,894	17,050	16,156	0,499	0,513	0,51	0,482		0,501
22,879	0,889	17,050	16,161	0,683	0,347	0,414	1,601		0,761
23,072	0,887	17,050	16,163	0,672	0,622	0,582	0,533		0,602
23,237	0,882	17,050	16,168	0,655	0,777	0,497	0,482		0,603
23,383	0,845	17,050	16,205	0,506	0,506	0,363	0,329		0,426
23,513	0,916	17,050	16,134	0,527	0,189	0,384	0,308		0,352
23,681	0,875	17,050	16,175	0,575	0,448	0,565	0,462		0,513
23,822	0,869	17,050	16,181	0,495	0,514	0,526	0,423		0,490
23,995	0,890	17,050	16,160	0,585	0,509	0,507	0,537		0,535
24,167	0,895	17,050	16,155	0,554	0,561	0,462	0,423	0,21	0,442

24,278	0,887	17,050	16,163	0,55	0,595	0,568	0,534	0,562
24,438	0,887	17,050	16,163	0,436	0,485	0,485	0,534	0,485
24,610	0,887	17,050	16,163	0,557	0,408	0,444	0,394	0,451
24,755	0,870	17,050	16,180	0,444	0,612	0,584		0,547
24,937	0,840	17,050	16,210	0,59	0,628	0,795		0,671
25,171	0,874	17,050	16,176	0,44	0,468	0,39	0,321	0,405
25,308	0,868	17,050	16,182	0,378	0,609	0,696		0,561
25,548	0,799	17,050	16,251	0,377	0,705	0,948		0,677
25,760	0,807	17,050	16,243	1	0,874	0,993		0,956
25,848	0,782	17,050	16,268		0,467	0,46		0,464
25,945	0,727	17,050	16,323	0,361	0,418	0,447		0,409
26,014	0,708	17,050	16,342					
26,057	0,731	17,050	16,319	0,519	0,546	0,475		0,513
26,143	0,712	17,050	16,338	0,282	0,775			0,529
26,133	0,684	17,050	16,366		0,71			0,710
26,142	0,693	17,050	16,357		0,737			0,737
26,116	0,732	17,050	16,318		0,465			0,465

C.3. CURVAS DE PREFERÊNCIA DAS ESPÉCIES-ALVO

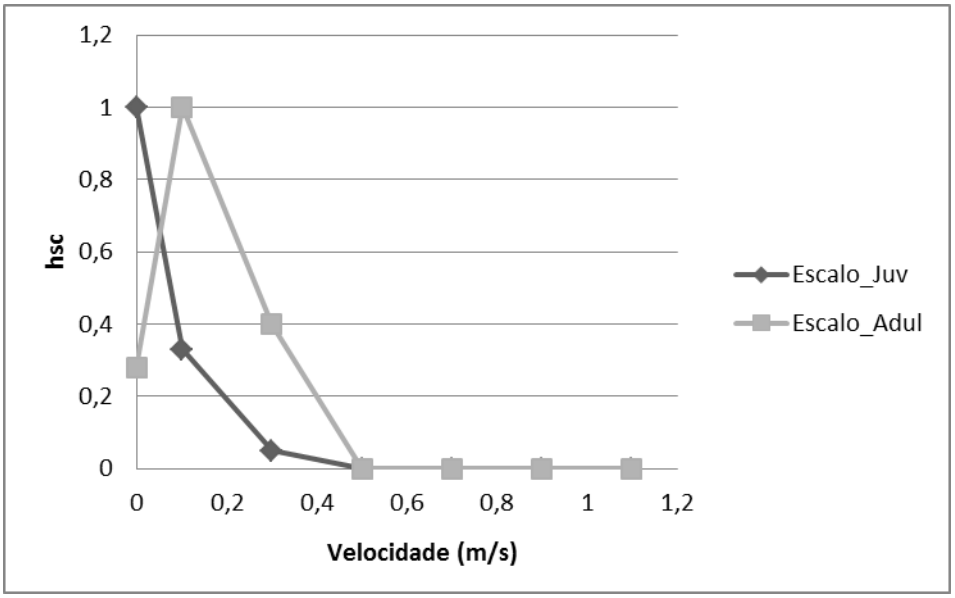


Fig. C. 7: Curva de preferência da velocidade para o Escalo do Norte (Rio Vouga). Baseado em: [27]

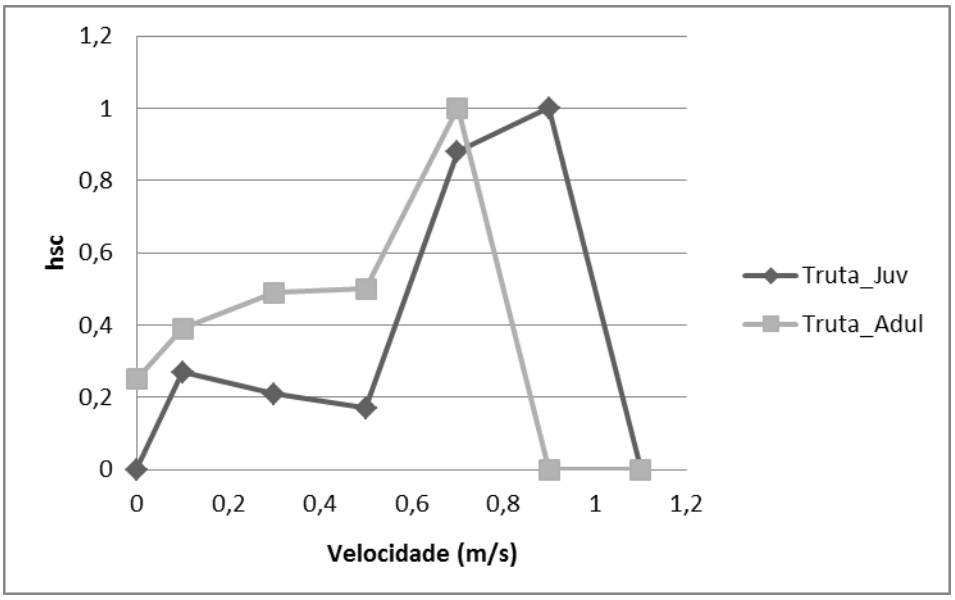


Fig. C. 8: Curva de preferência da velocidade para a Truta-do-rio (Rio Vouga) Baseado em: [27]

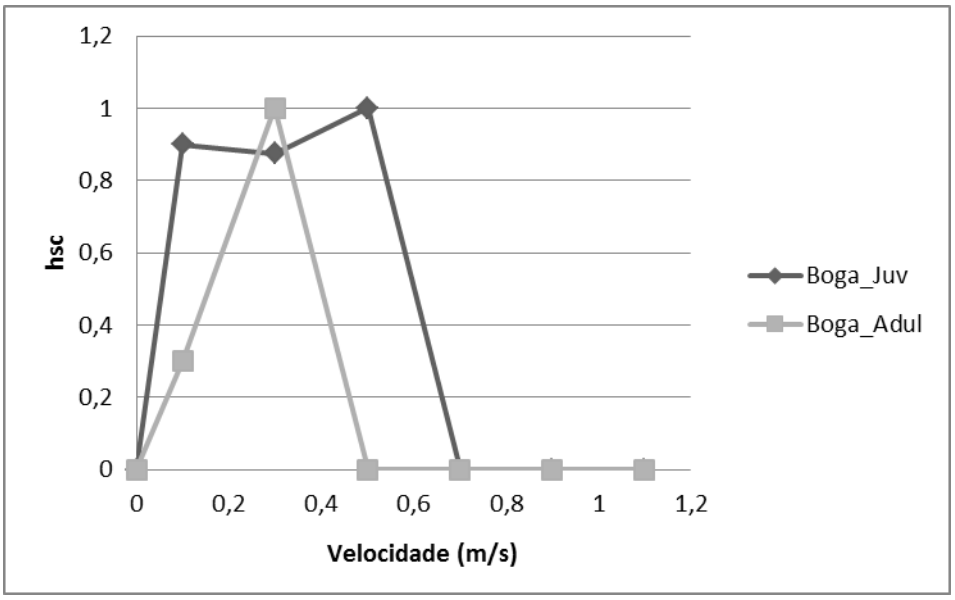


Fig. C. 9: Curva de preferência da velocidade para a Boga (Rio Vouga). Baseado em: [66]

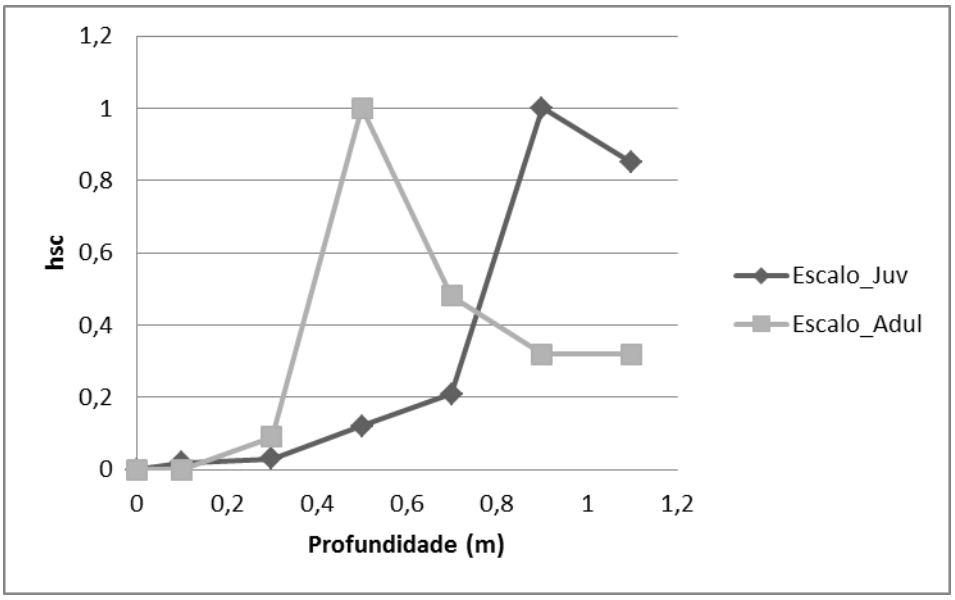


Fig. C. 10: Curva de preferência da profundidade para o Escalo do Norte (Rio Vouga). Baseado em: [27]

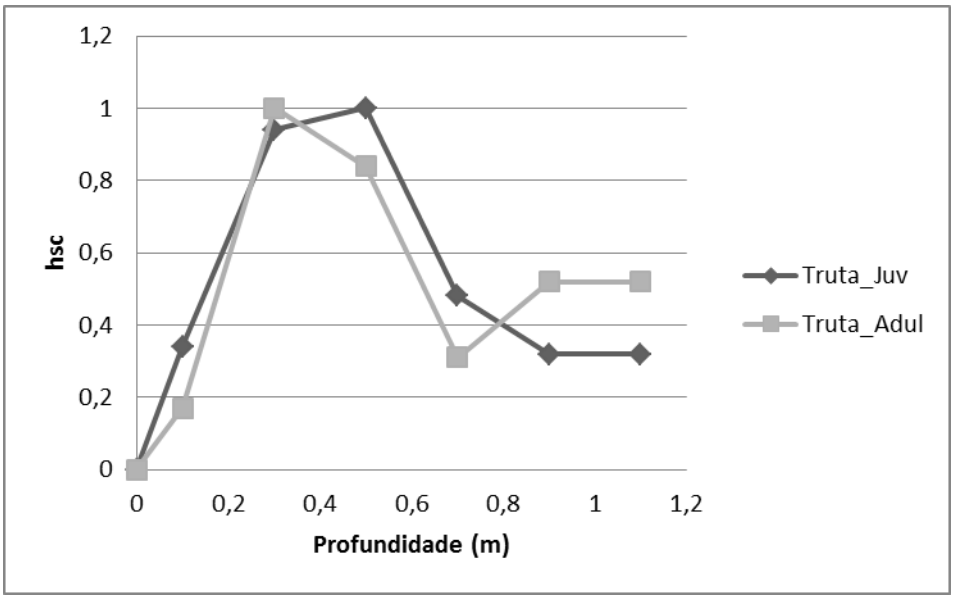


Fig. C. 11: Curva de preferência da profundidade para a Truta-do-rio (Rio Vouga). Baseado em: [27]

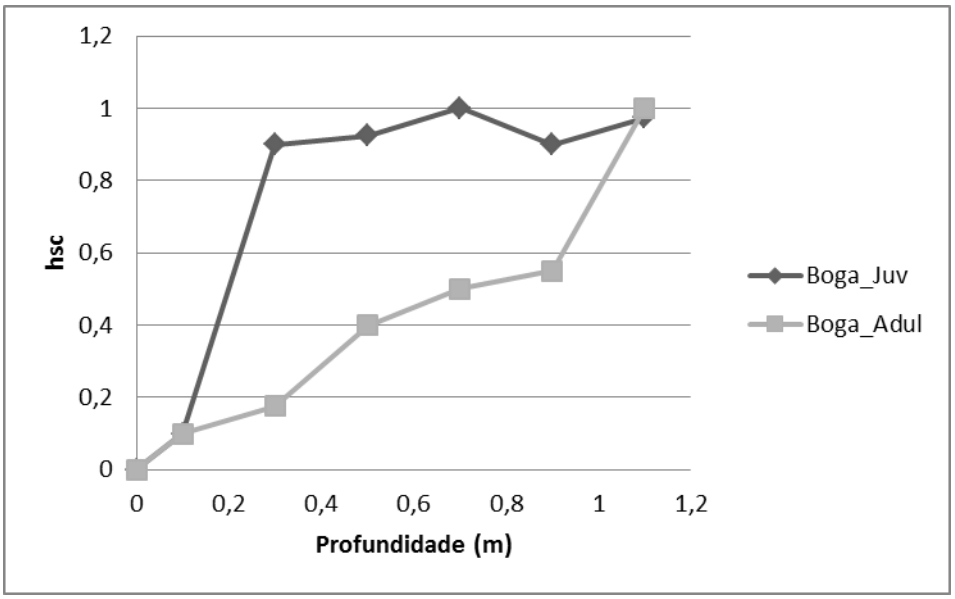


Fig. C. 12: Curva de preferência da profundidade para a Boga (Rio Vouga). Baseado em: [66]

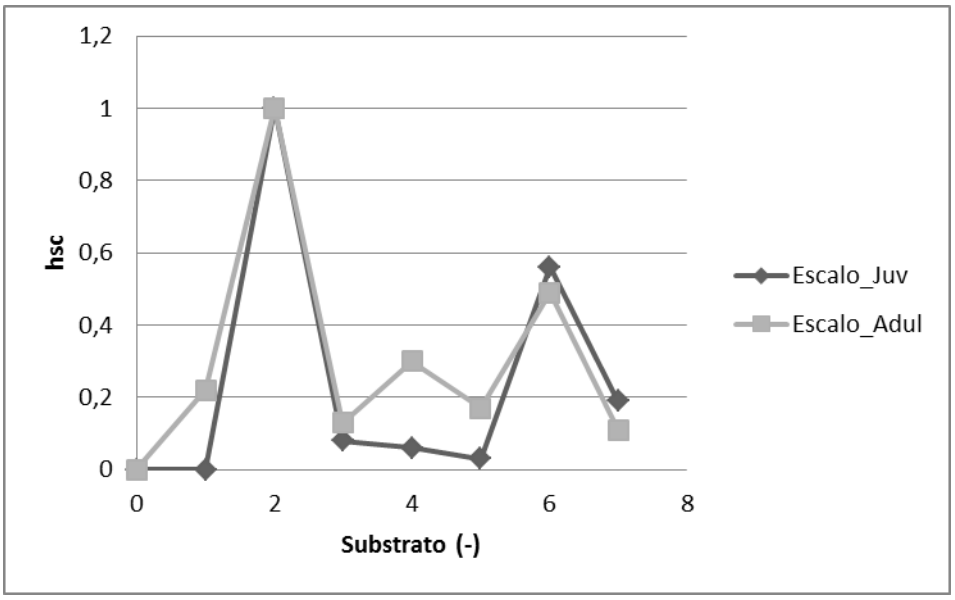


Fig. C. 13 Curva de preferência de substrato para o Escalo do Norte (Rio Vouga). Baseado em: [27]

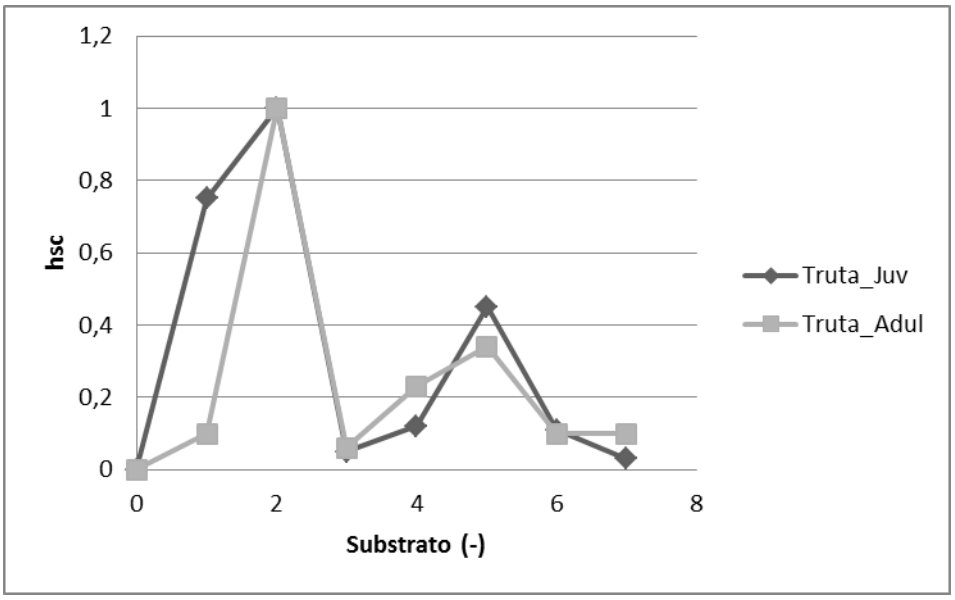


Fig. C. 14: Curva de preferência de substrato para a Truta-do-rio (Rio Vouga). Baseado em: [27]

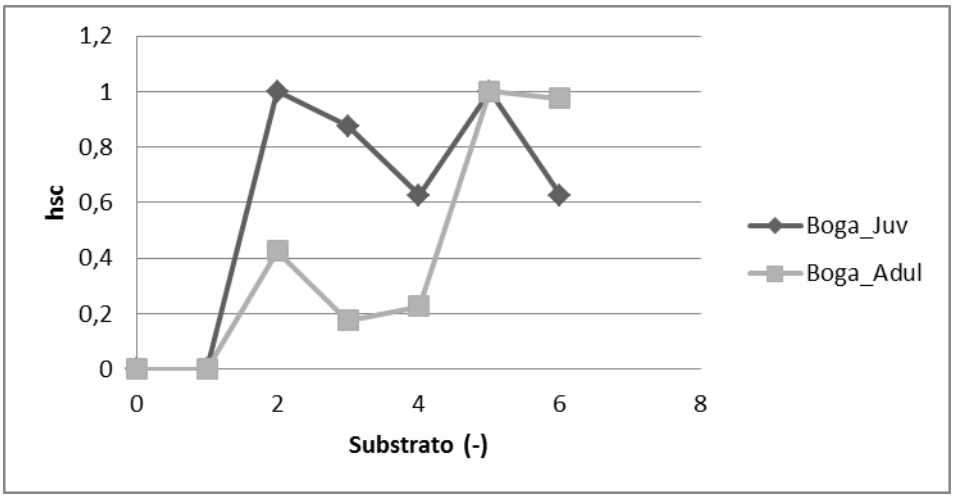


Fig. C. 15: Curva de preferência do substrato para a Boga (Rio Vouga). Baseado em: [66]

C.4. ESTIMATIVA DA RUGOSIDADE E CONDIÇÕES FRONTEIRA

Para estimar a rugosidade recorreu-se à formula de Manning e aos parâmetros medidos no local.

Parâmetros Medidos	
Q (m^3/s)	h (m)
17	0,53
6	0,35



Fig. C. 16: Parâmetros medidos no local e simplificação da secção considerada

$$Q = k_S \times S \times R_h^{\,2/3} \times i^{1/2}$$

De seguida aplica-se a fórmula apresentada aos parâmetros medidos tendo como incógnita o parâmetro representativo da rugosidade.

Tabela C. 6: Aplicação da fórmula de *Manning*:

Q	h	L	$S = h \times L$	$P = L + 2h$	$R_h = S/P$	i	$k_s = 1/n$
$[m^3/s]$	$[m]$	$[m]$	$[m^2]$	$[m]$	$[m]$	$[m/m]$	$[-]$
17	0,53	17	9,01	18,06	0,498893	0,015	24,49103
6	0,35	17	5,95	17,7	0,336158	0,015	17,03045

Seja, S a secção molhada, P o perímetro molhado, R_h o correspondente ao raio hidráulico e i a inclinação.

Desta forma, considerou-se pertinente usar o valor médio como aproximação.

$$k_s = 20{,}76 \Rightarrow n = \frac{1}{k_s} = 0{,}048$$

Após a obtenção do parâmetro k_s, traça-se a curva de vazão.

$s^{-1}.m^{1/3}$

C.5. CALIBRAÇÃO DO MODELO

C.5.1. RESULTADOS PARA Q = 6 M^3/S NA SECÇÃO CENTRAL

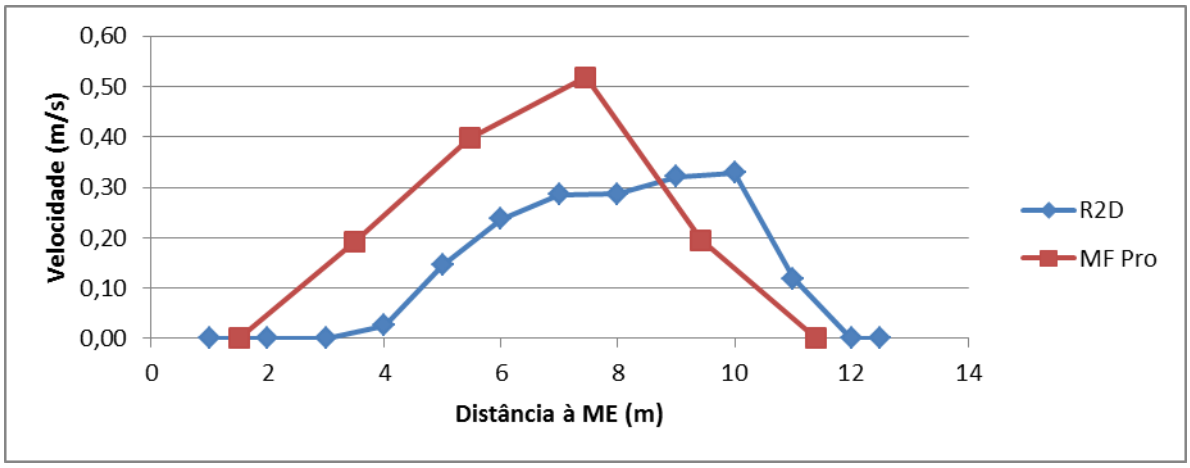


Fig. C. 17: Resultados finais da calibração do modelo para o perfil da velocidade na secção central

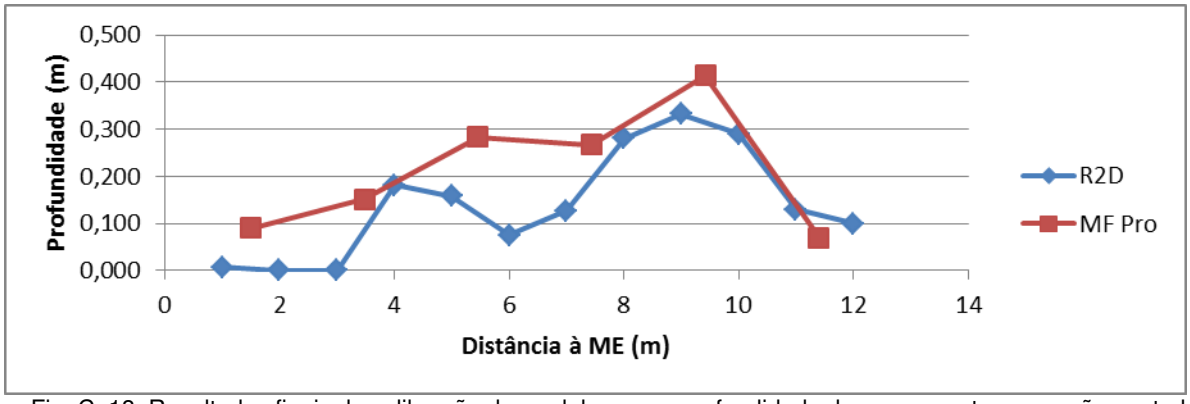


Fig. C. 18: Resultados finais da calibração do modelo para a profundidade de escoamento na secção central

C.5.2. RESULTADOS PARA Q = 17 M^3/S NA SECÇÃO CENTRAL

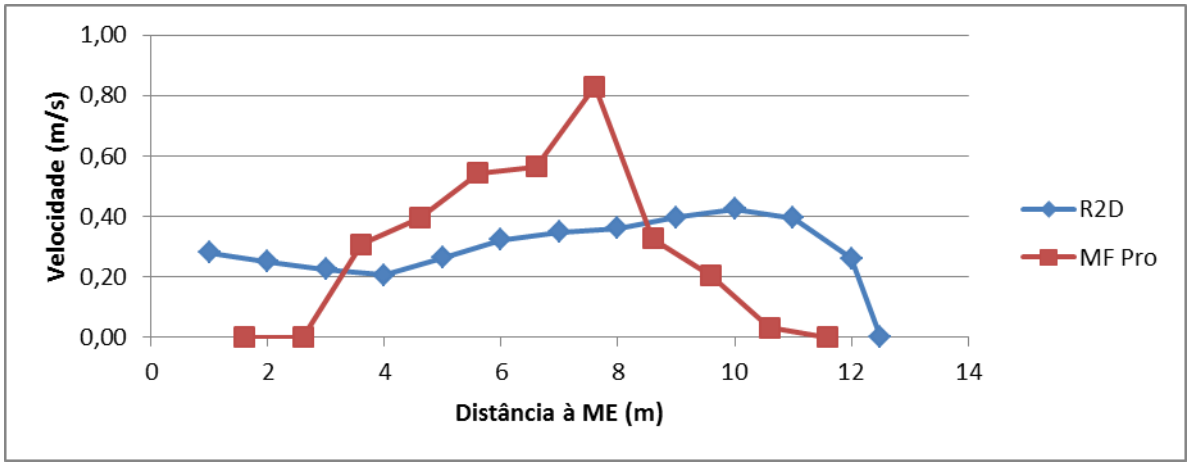


Fig. C. 19: Resultados finais da calibração do modelo para o perfil da velocidade na secção central

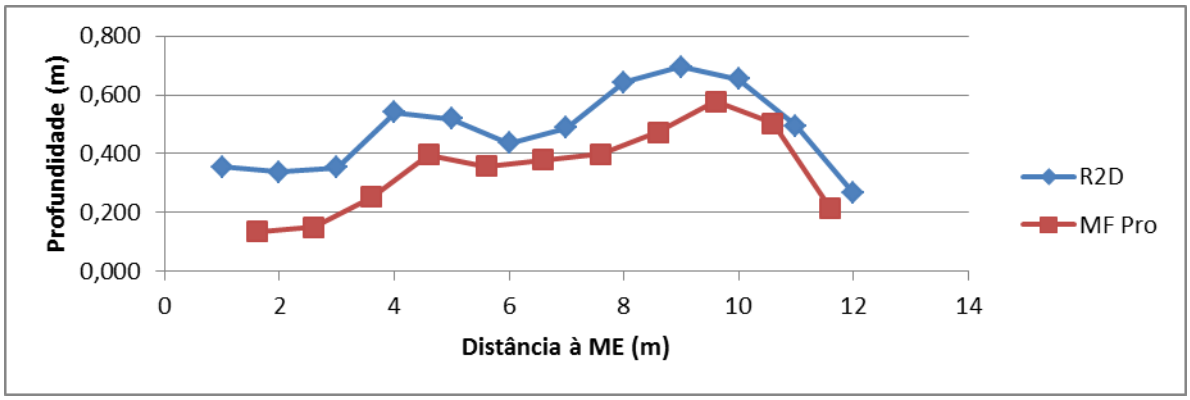


Fig. C. 20: Resultados finais da calibração do modelo para a profundidade de escoamento na secção central

C.6. SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA

C.6.1. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 0,1 M^3/S

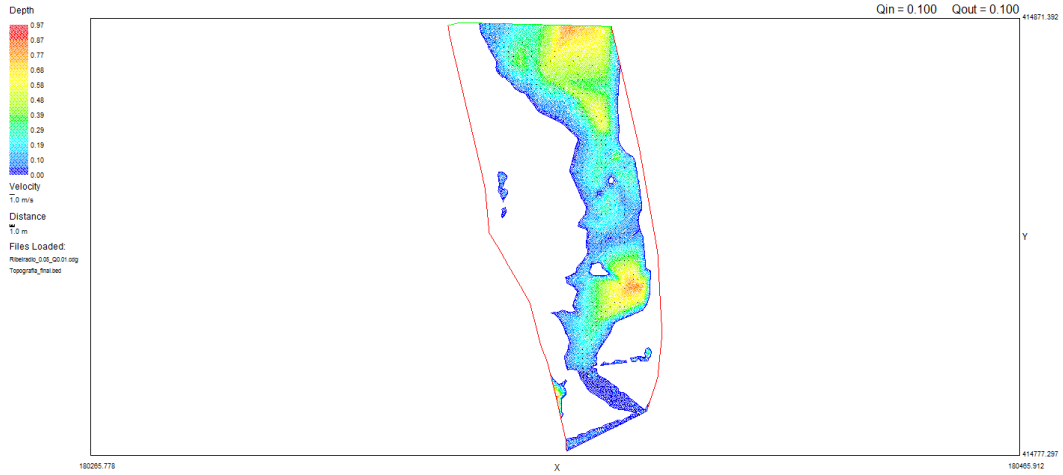


Fig. C. 21: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

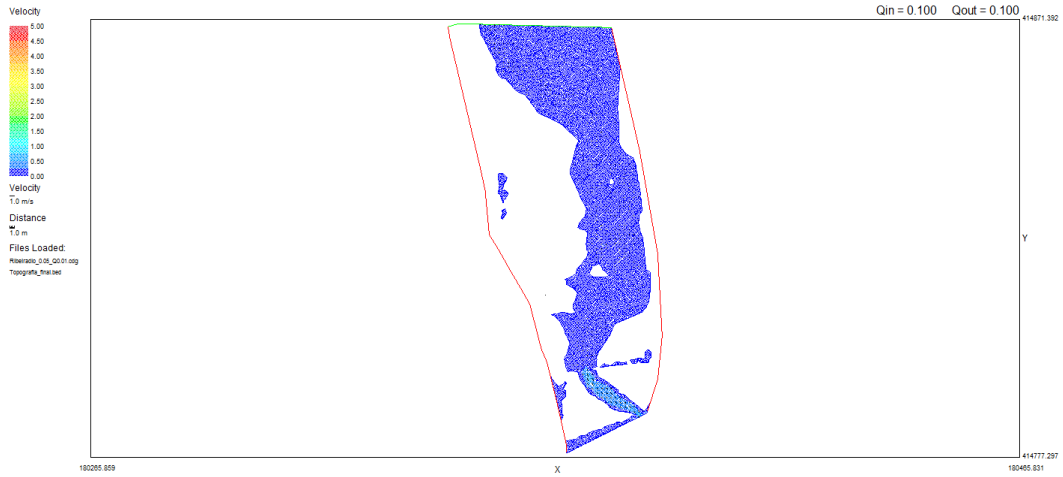


Fig. C. 22:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

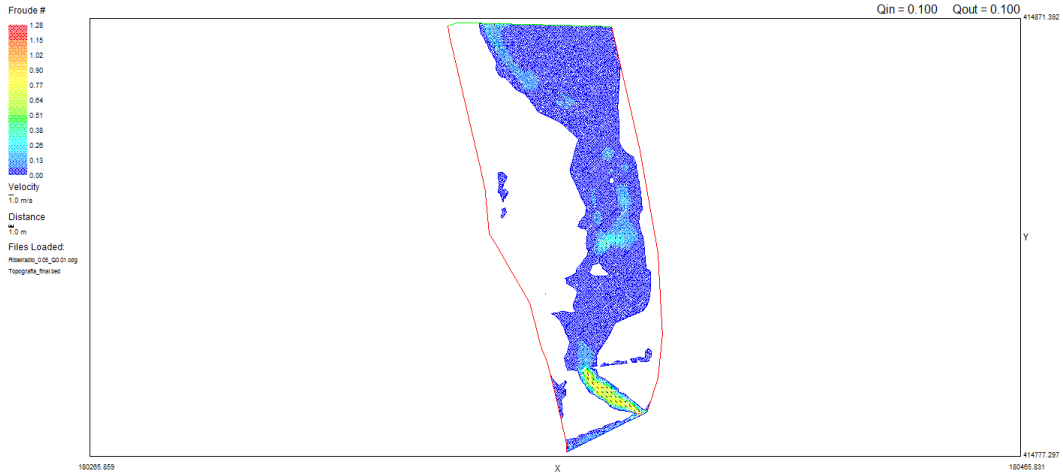


Fig. C. 23:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

C.6.2. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 1 M^3/S

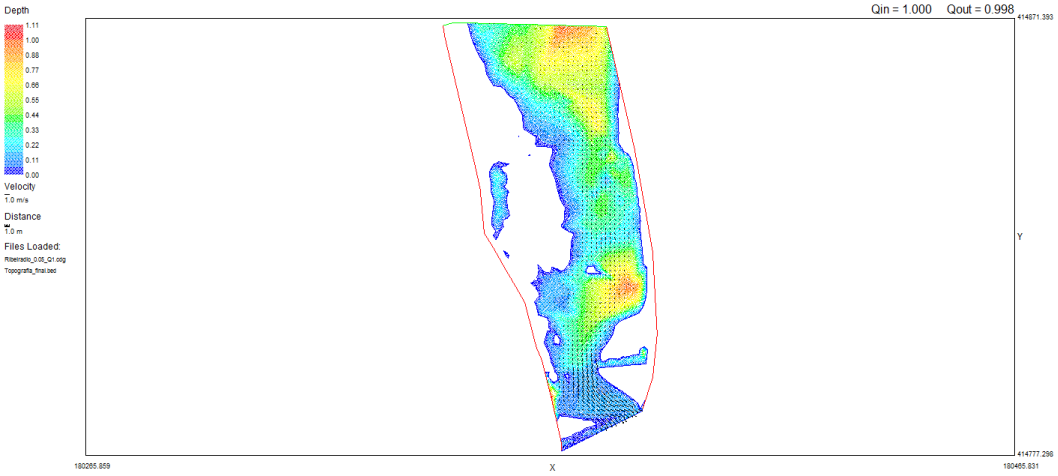


Fig. C. 24: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 1\ m^3/s$

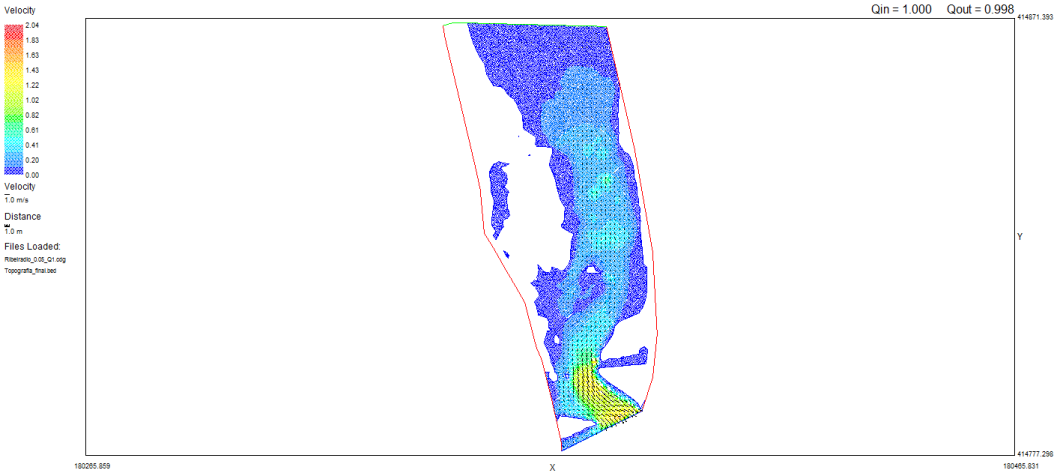


Fig. C. 25:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 1\ m^3/s$

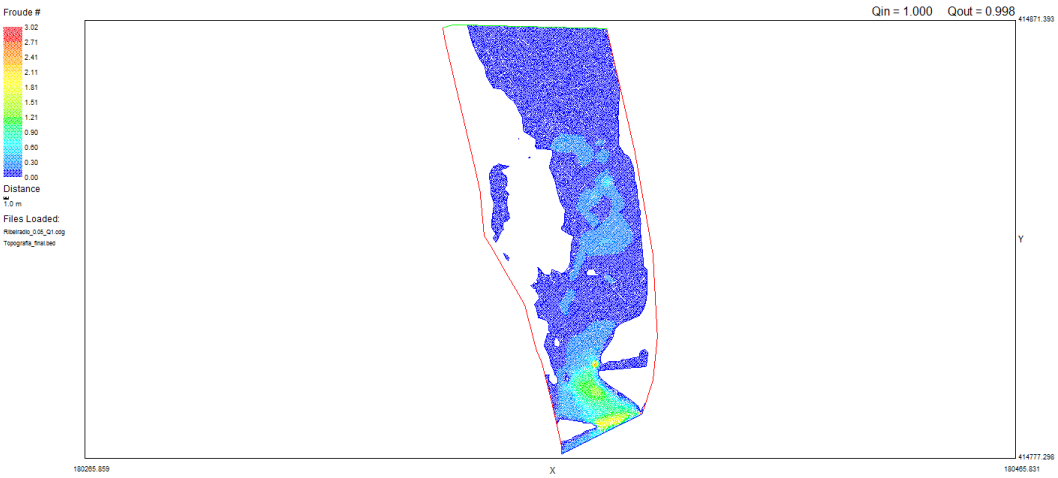


Fig. C. 26:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 1\ m^3/s$

C.6.3. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q =3 M^3/S

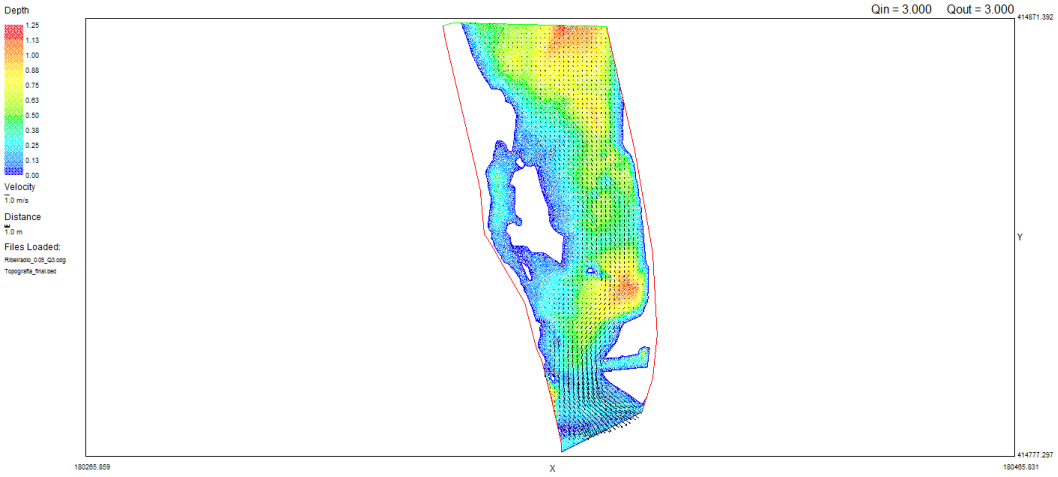


Fig. C. 27: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 3\ m^3/s$

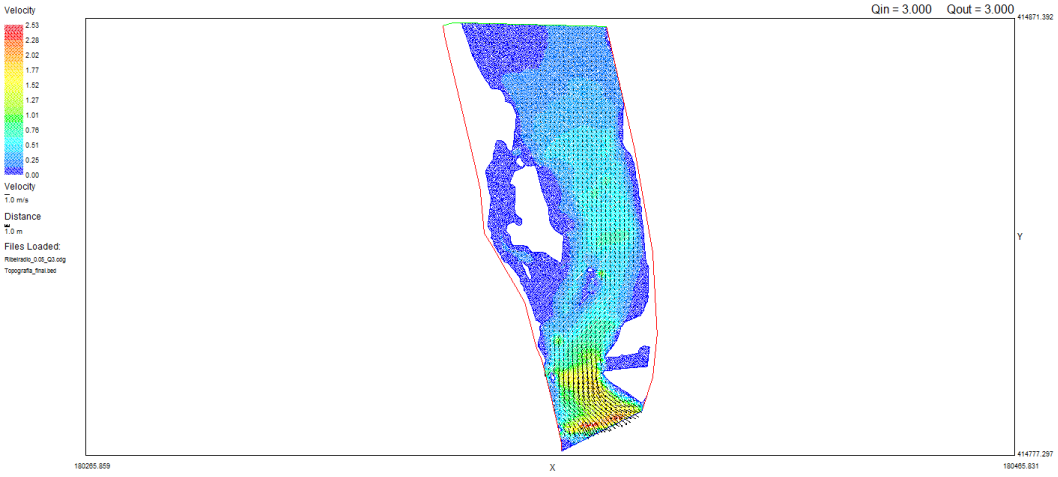


Fig. C. 28:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 3\,m^3/s$

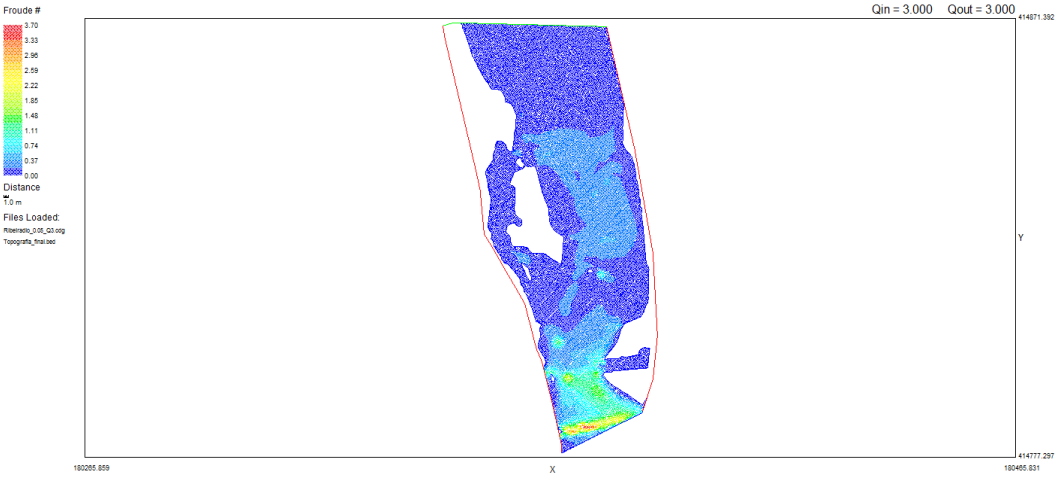


Fig. C. 29:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 3\ m^3/s$

C.6.4. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 6 M^3/S

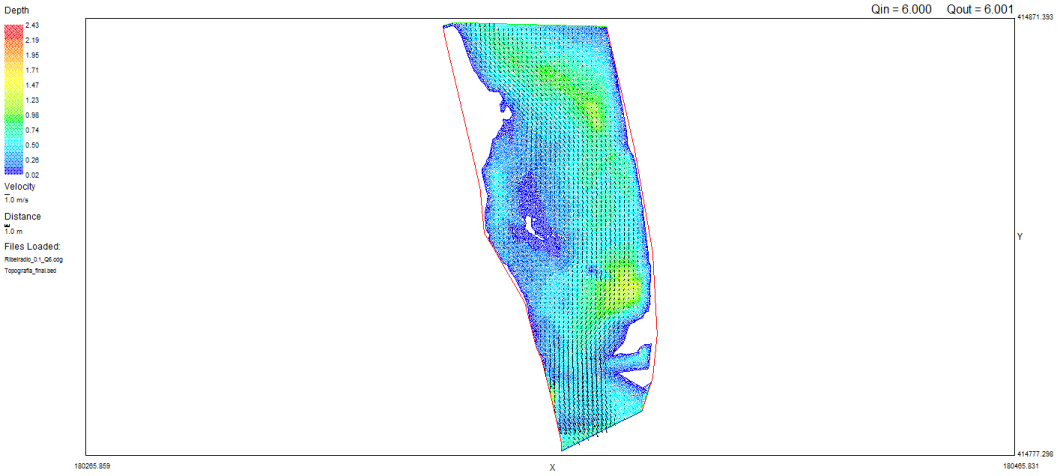


Fig. C. 30: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 6\ m^3/s$

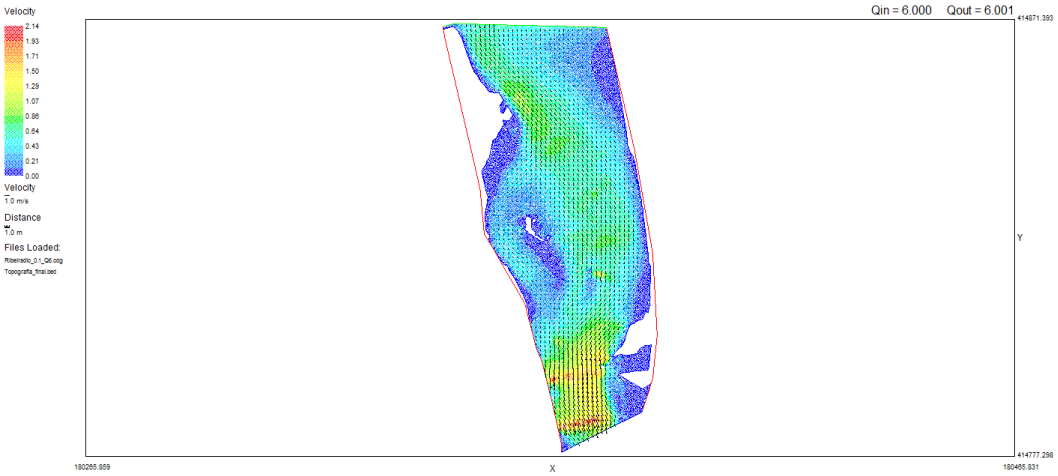


Fig. C. 31:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 6\ m^3/s$

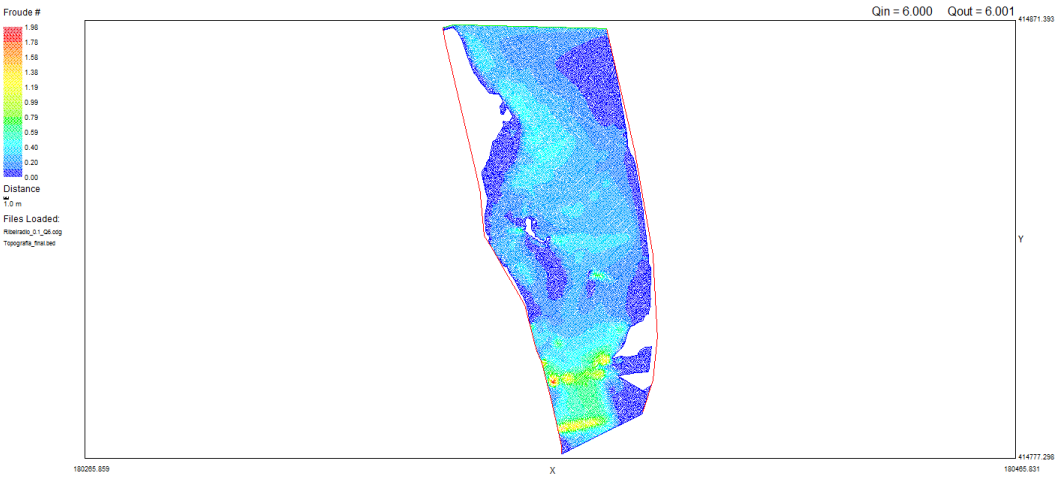


Fig. C. 32:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 6\ m^3/s$

C.4.5. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 9 M3/S

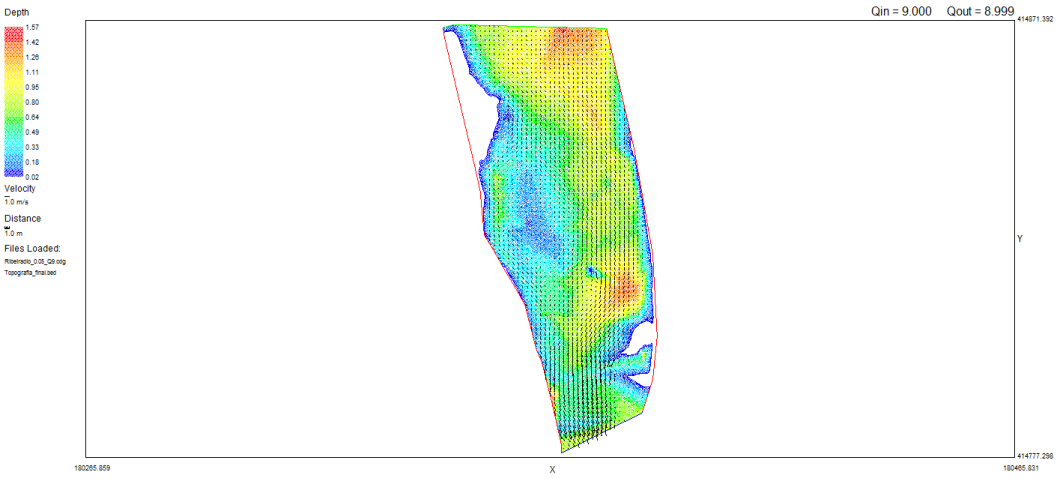


Fig. C. 33: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 9\ m^3/s$

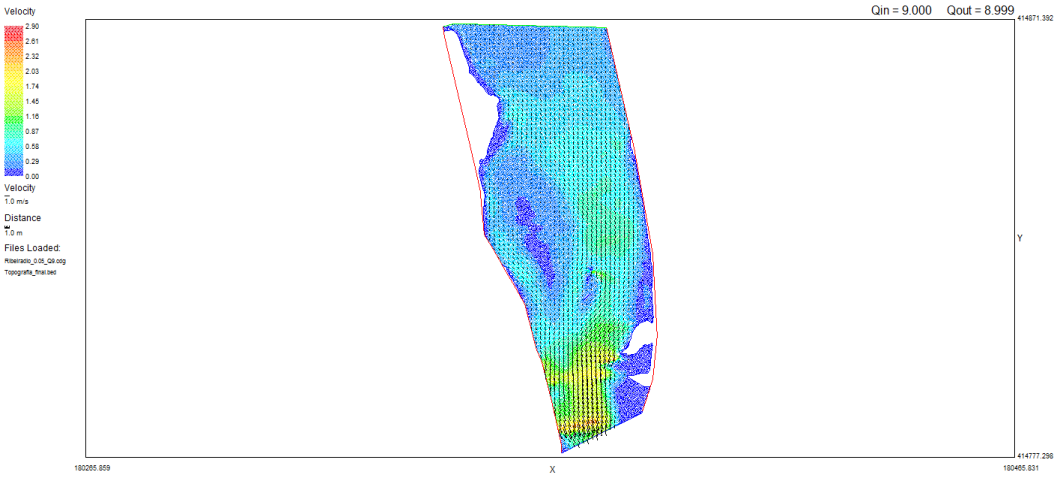


Fig. C. 34:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 9\ m^3/s$

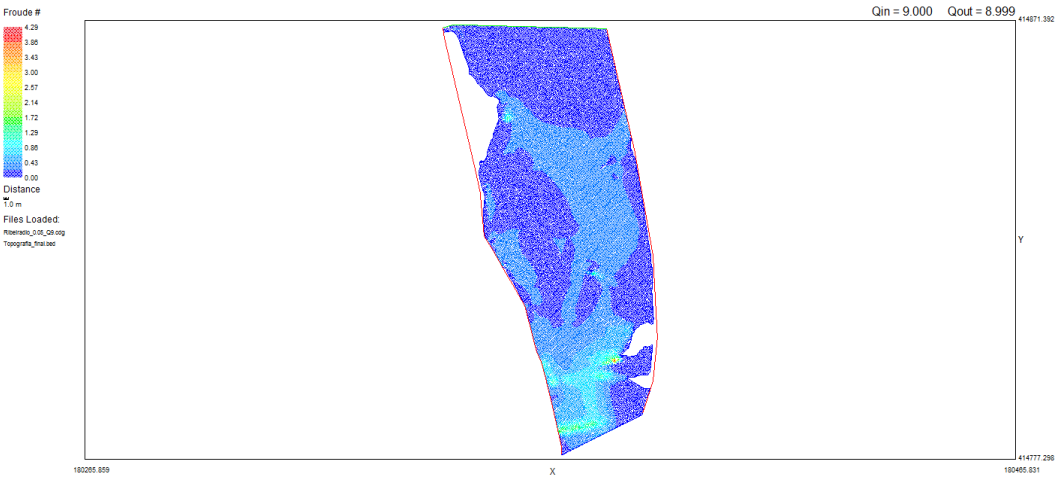


Fig. C. 35:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 9\ m^3/s$

C.6.6. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 12 M^3/S

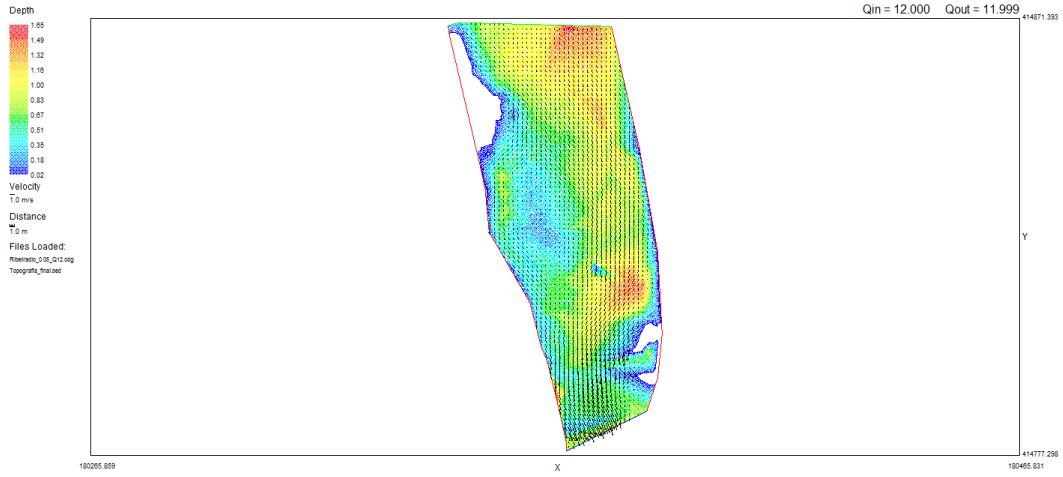


Fig. C. 36: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 12\ m^3/s$

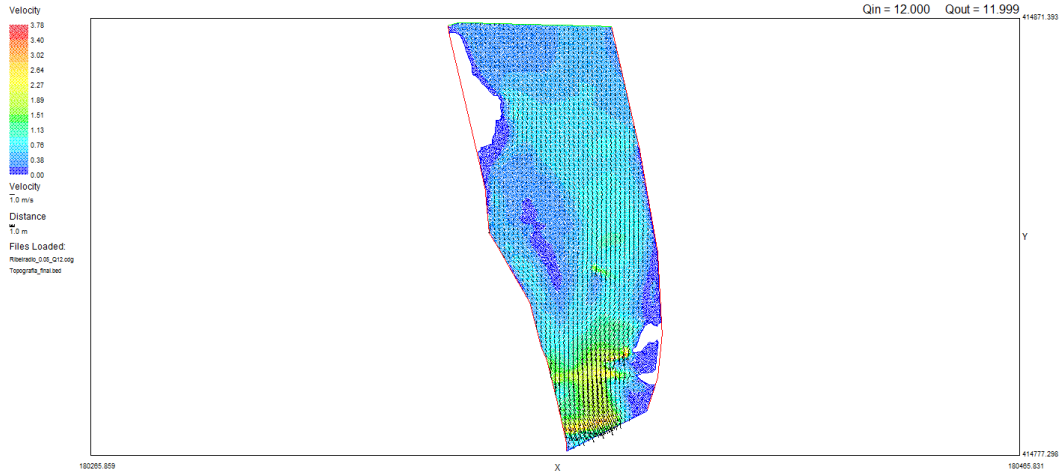


Fig. C. 37:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 12\ m^3/s$

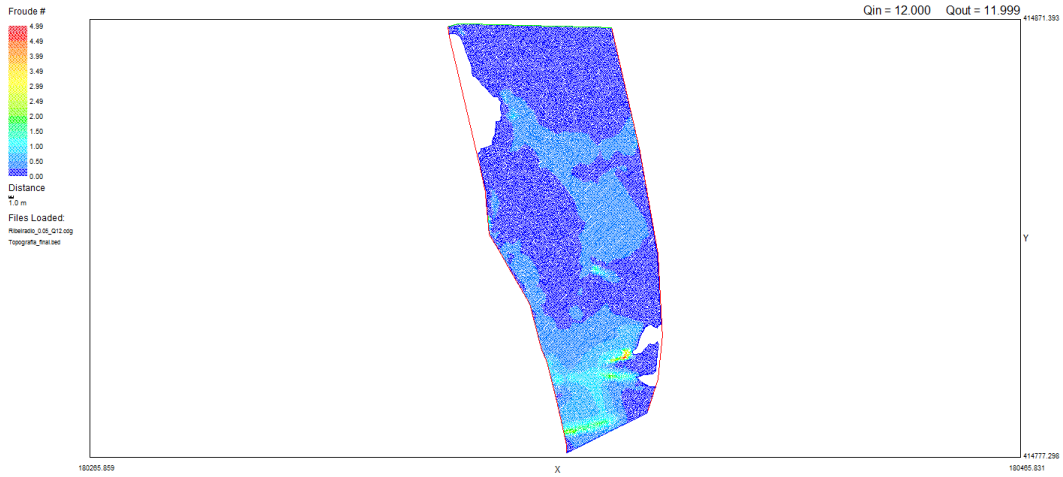


Fig. C. 38:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 12\ m^3/s$

C.6.7. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q = 15 M^3/S

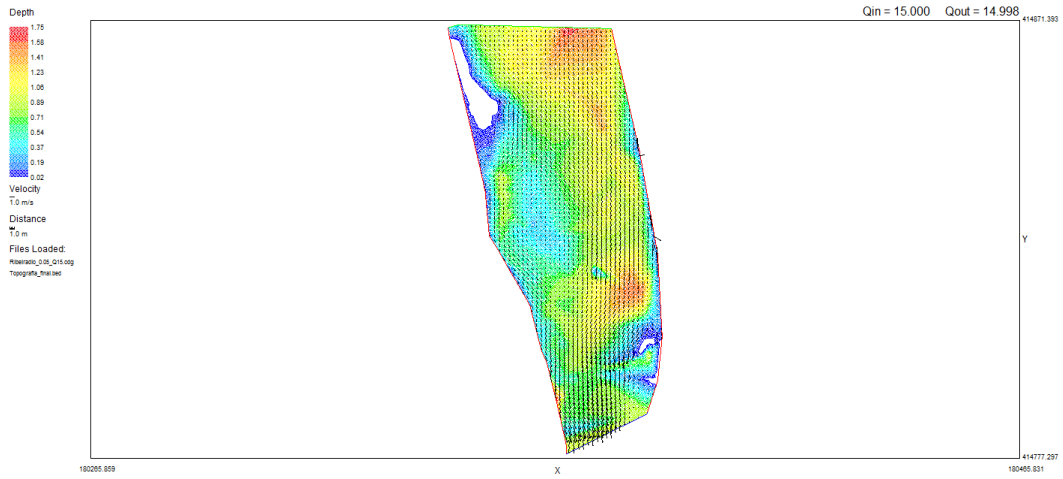


Fig. C. 39: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 15\ m^3/s$

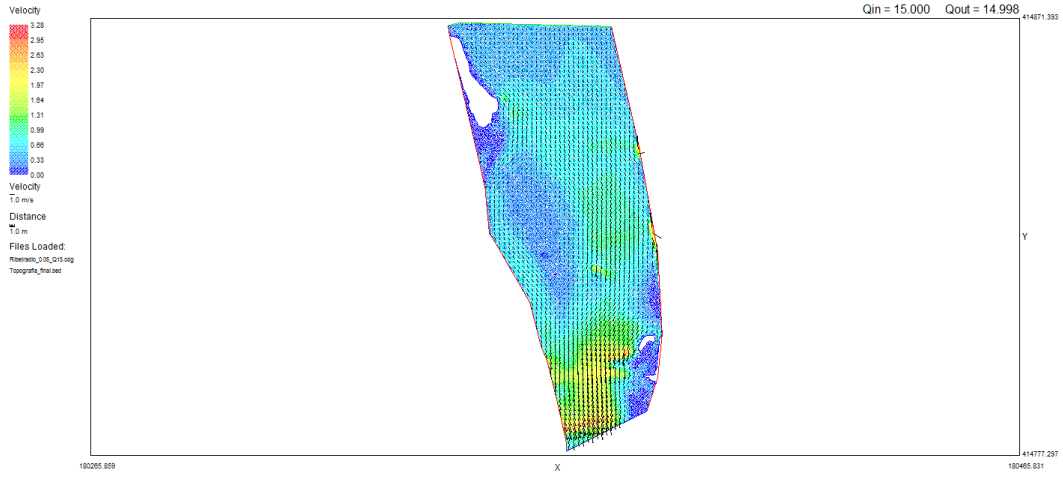


Fig. C. 40:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 15\ m^3/s$

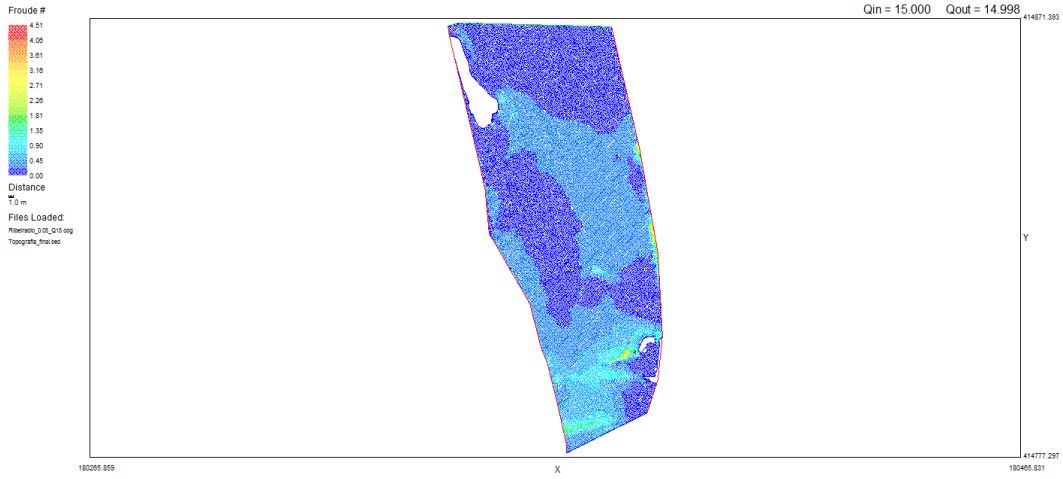


Fig. C. 41:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 15\ m^3/s$

C.6.8. RESULTADOS OBTIDOS PARA Q =17 M^3/S

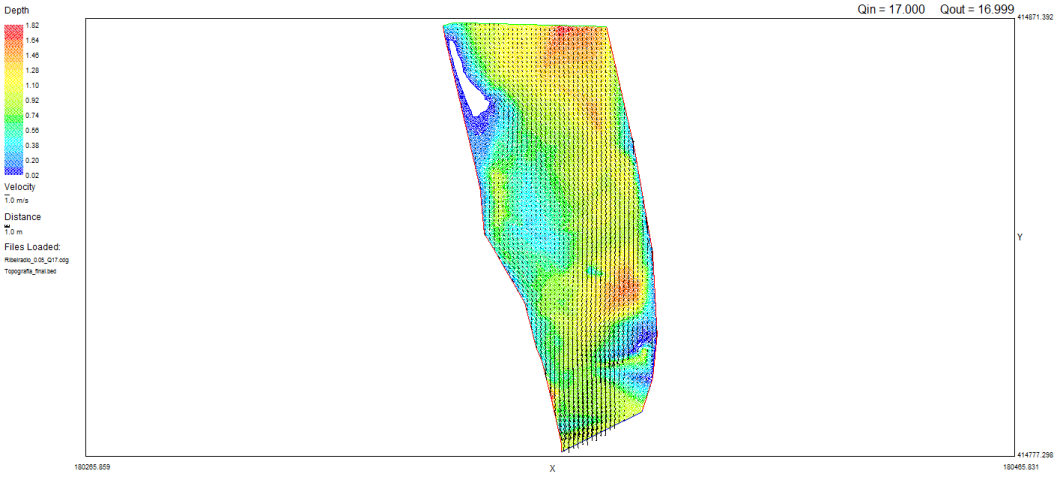


Fig. C. 42: Distribuição da **profundidade** para um $Q = 17\ m^3/s$

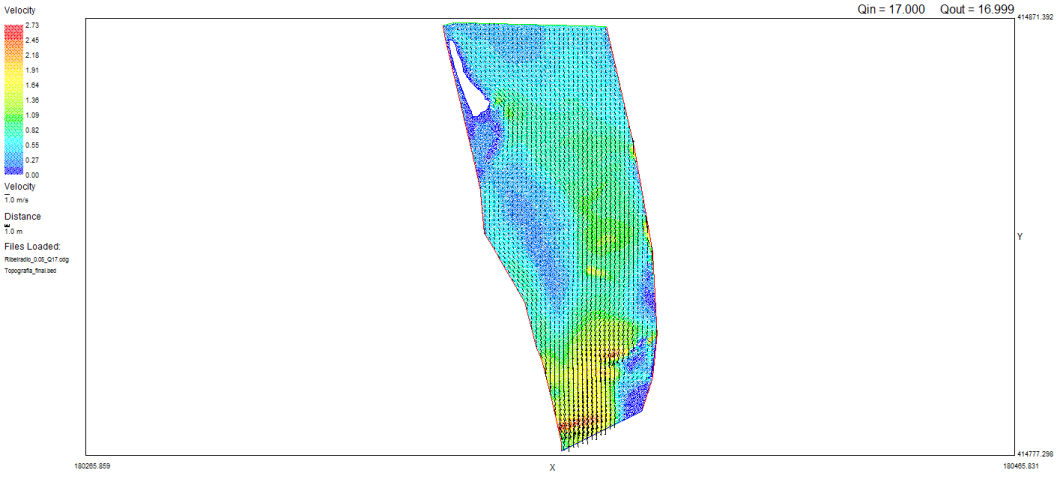


Fig. C. 43:Distribuição da **velocidade** para um $Q = 17 m^3/s$

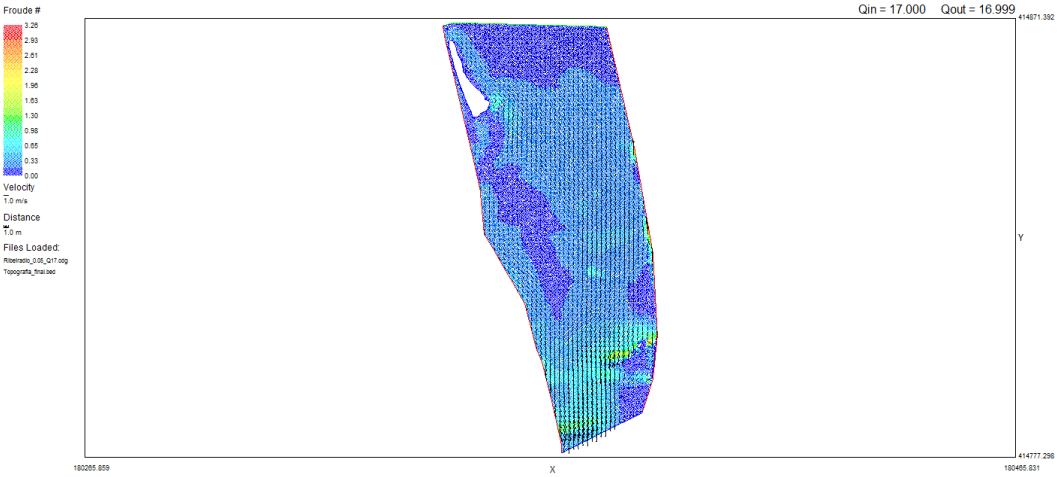


Fig. C. 44:Distribuição do **Número de Froude** para um $Q = 17\ m^3/s$

C.7. SIMULAÇÃO DE HABITAT

C.7.1. RESULTADOS OBTIDOS PARA A BOGA-COMUM (ADULTO)

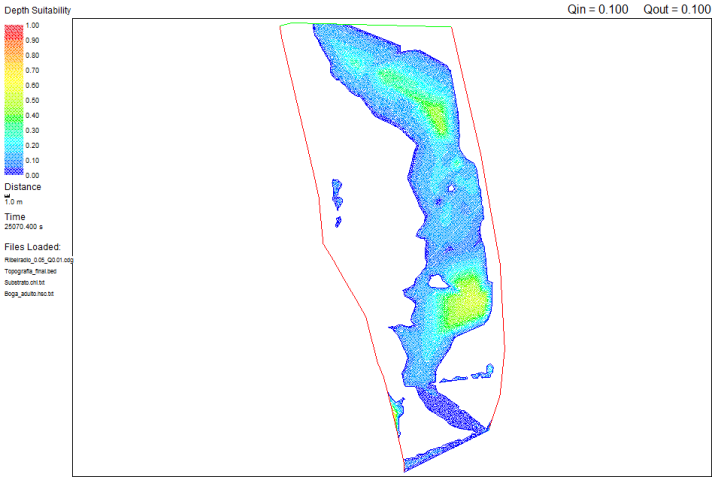


Fig. C. 45: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

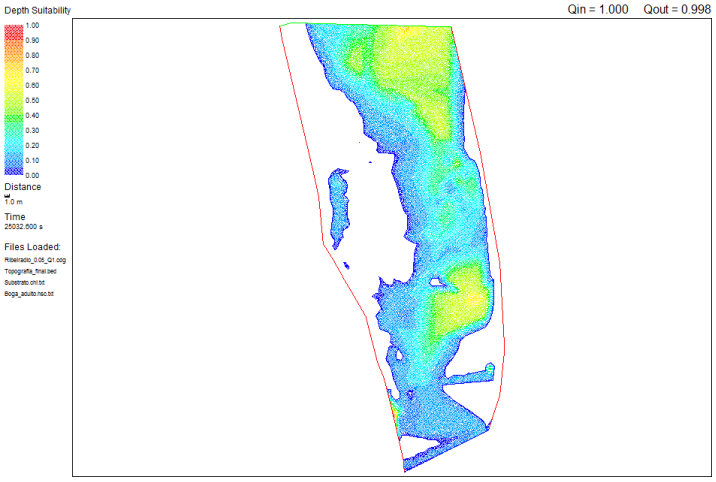


Fig. C. 46: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

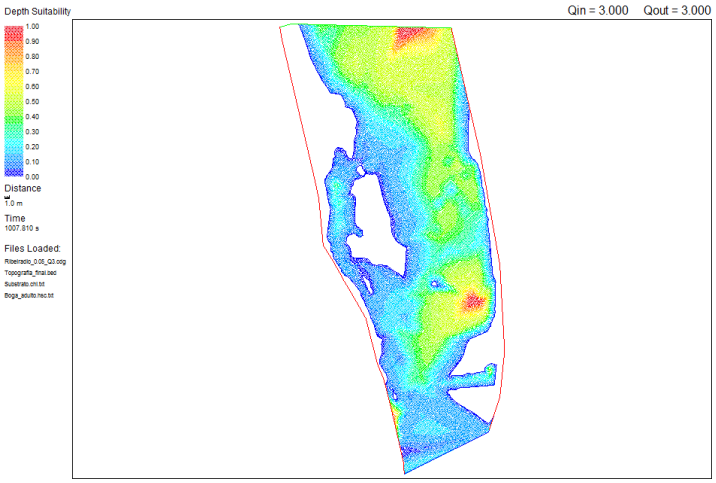


Fig. C. 47: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

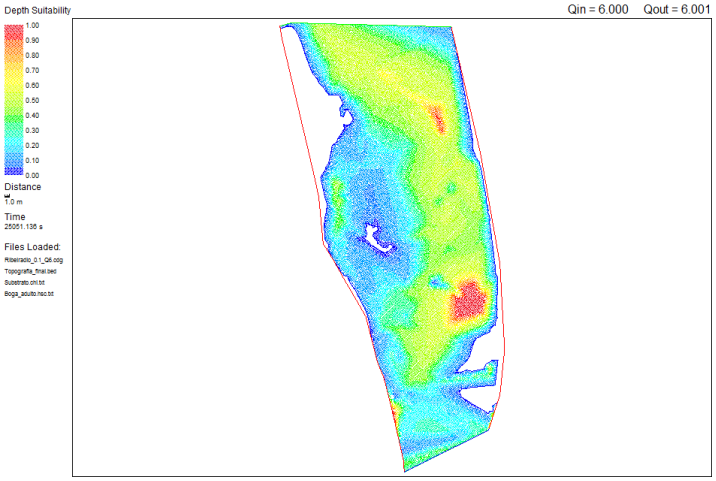


Fig. C. 48: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

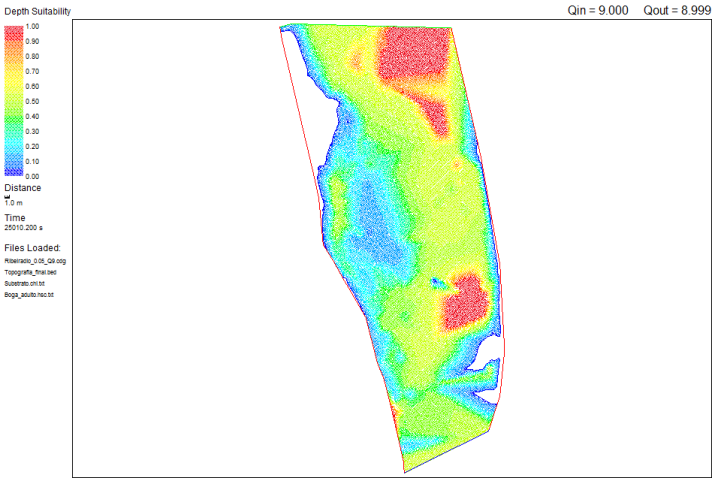


Fig. C. 49: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

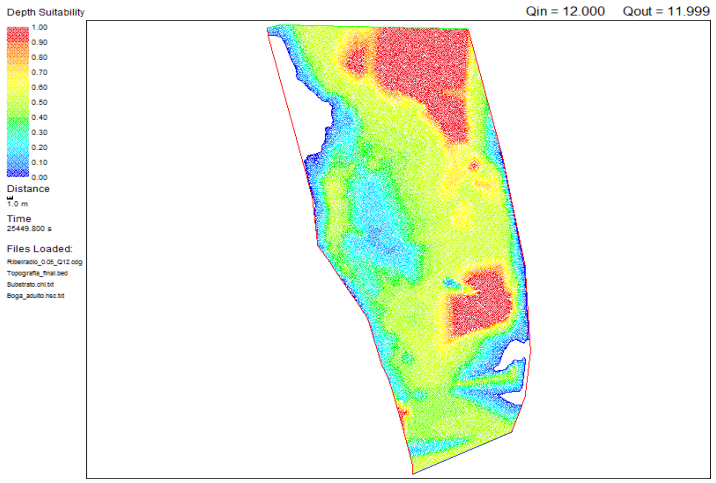


Fig. C. 50: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

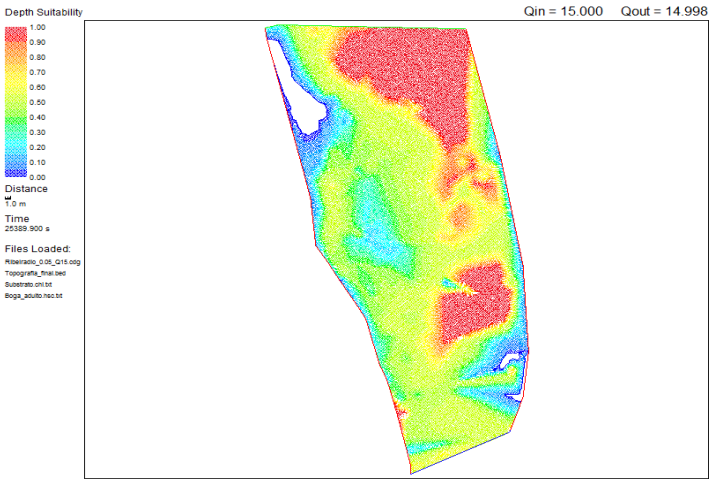


Fig. C. 51: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

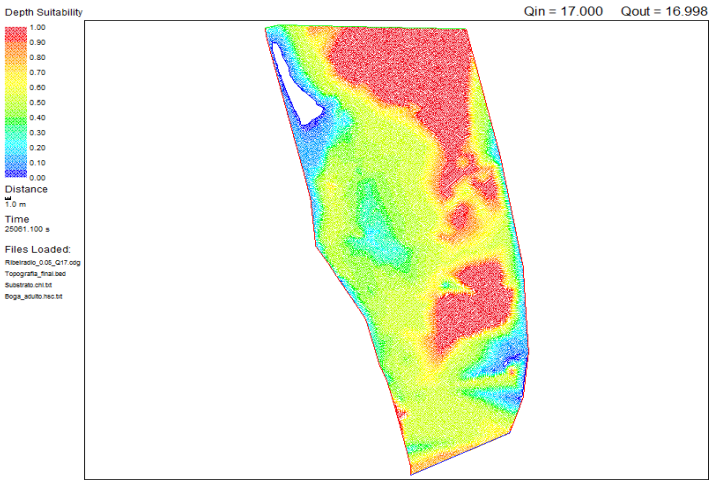


Fig. C. 52: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

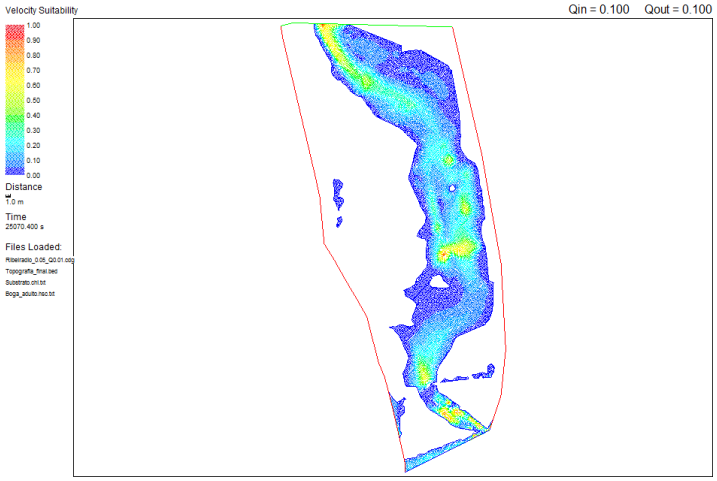


Fig. C. 53: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

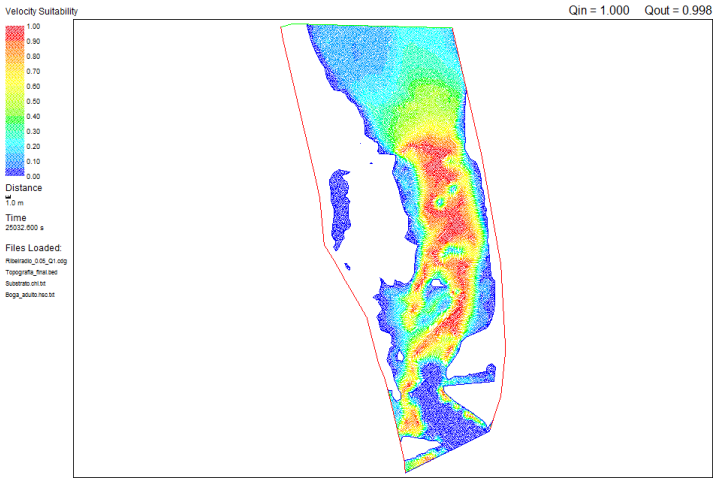


Fig. C. 54: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

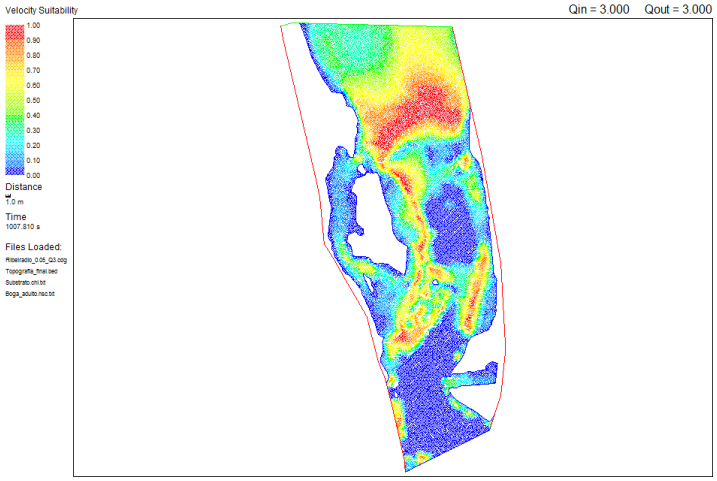


Fig. C. 55: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

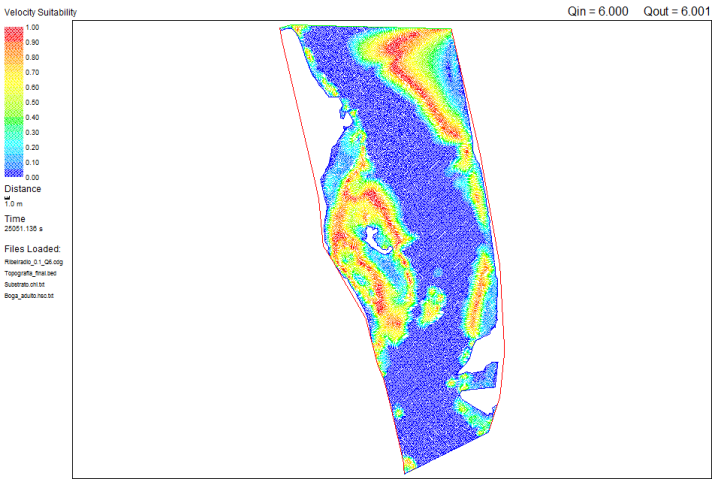


Fig. C. 56: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

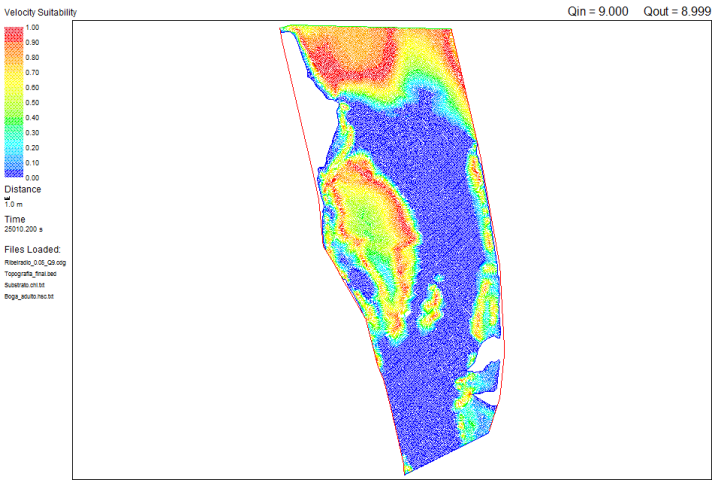


Fig. C. 57: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

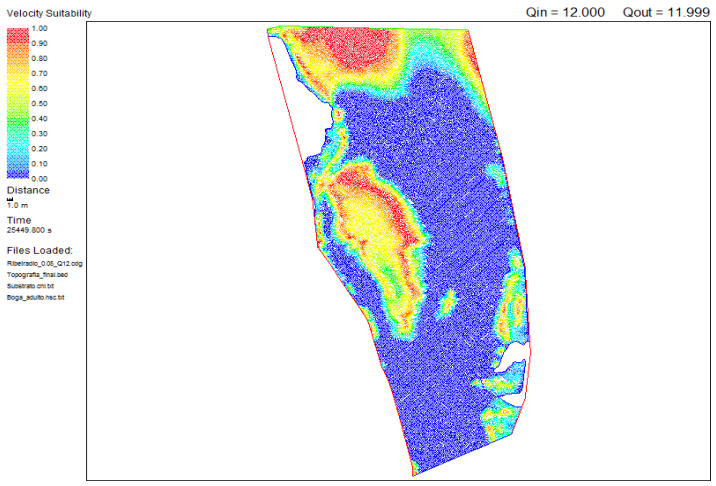


Fig. C. 58: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

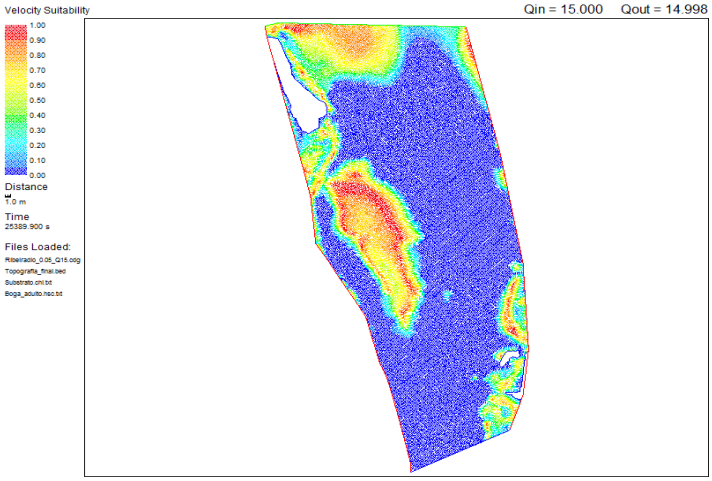


Fig. C. 59: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

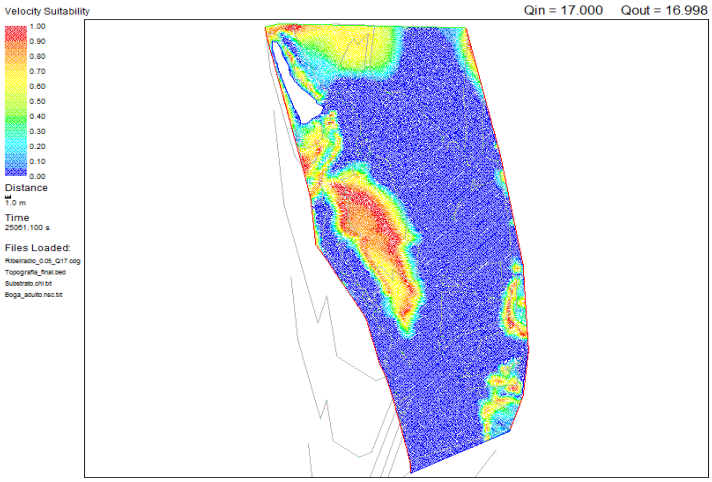


Fig. C. 60: Aptidão da **velocidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

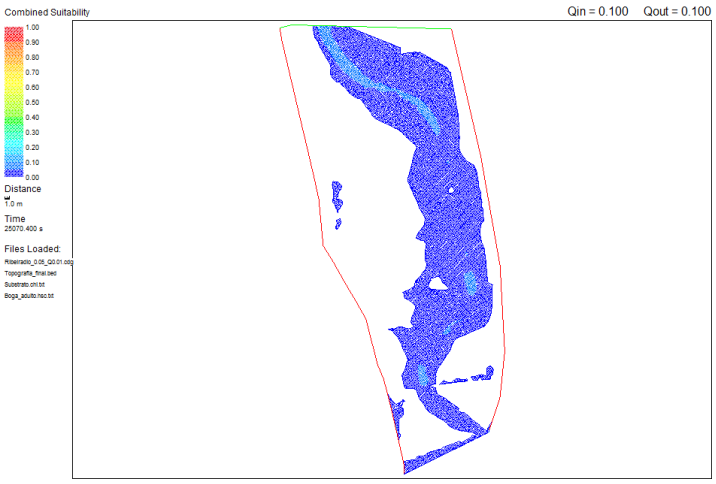


Fig. C. 61: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

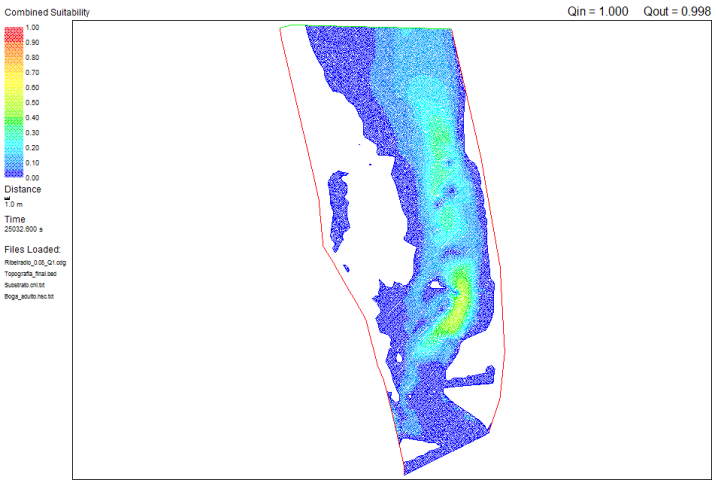


Fig. C. 62: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

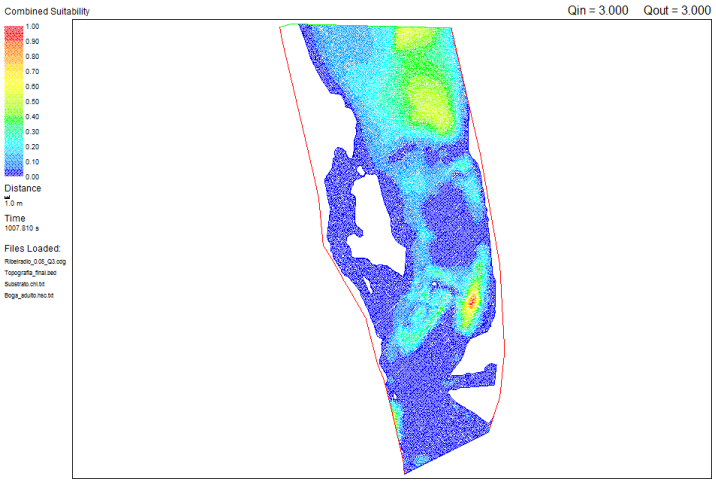


Fig. C. 63: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

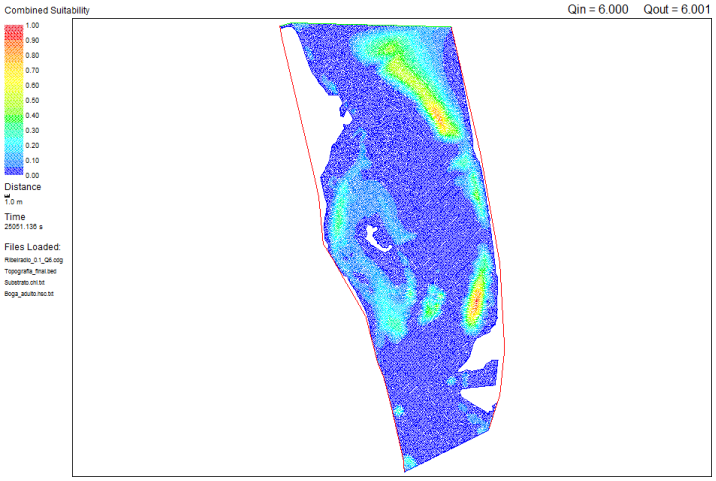


Fig. C. 64: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

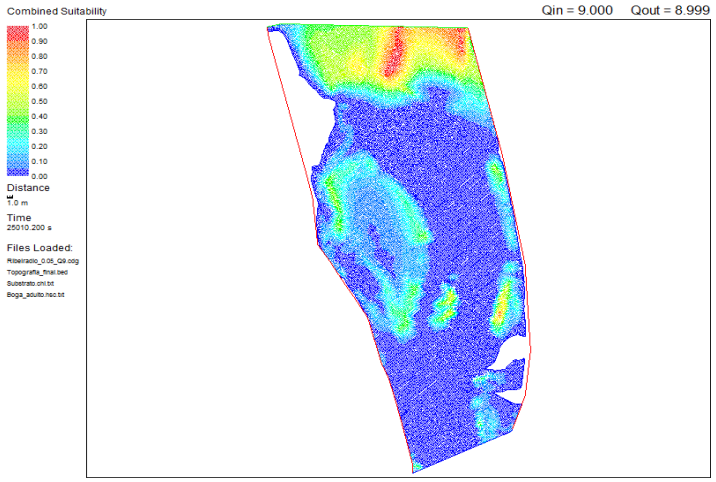


Fig. C. 65: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

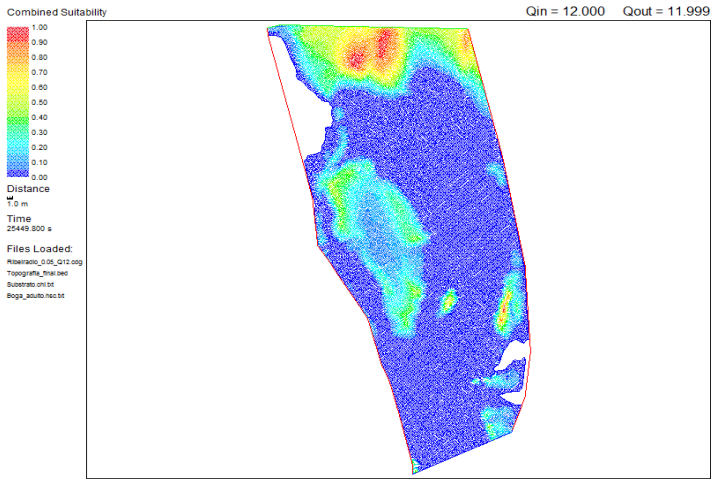


Fig. C. 66: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

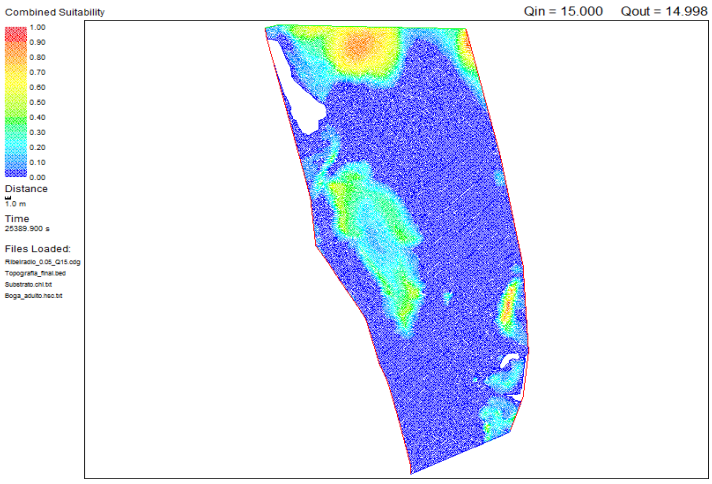


Fig. C. 67: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

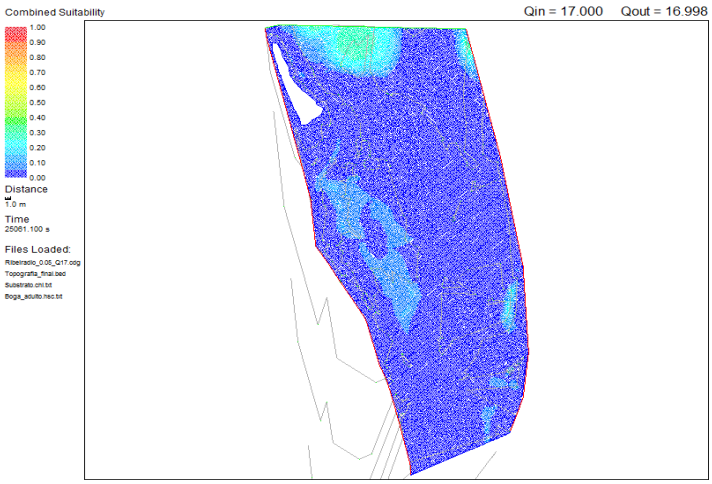


Fig. C. 68: Aptidão **combinada** para a Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

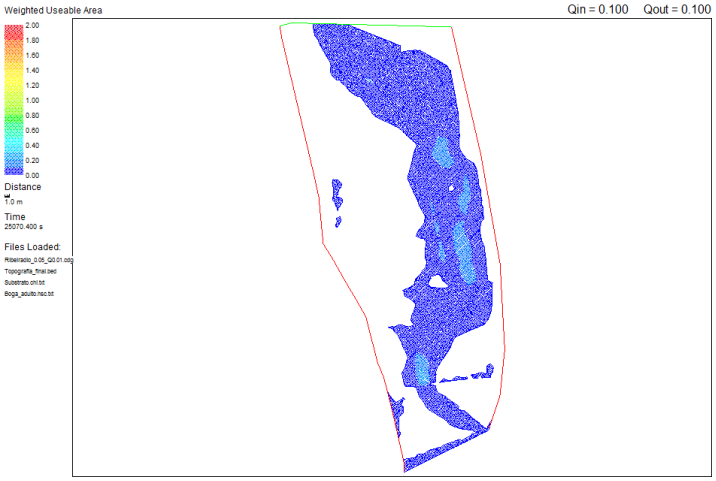


Fig. C. 69: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

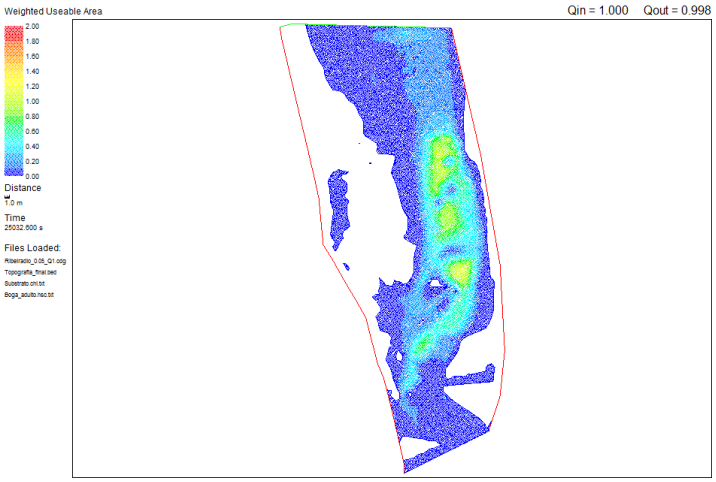


Fig. C. 70: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

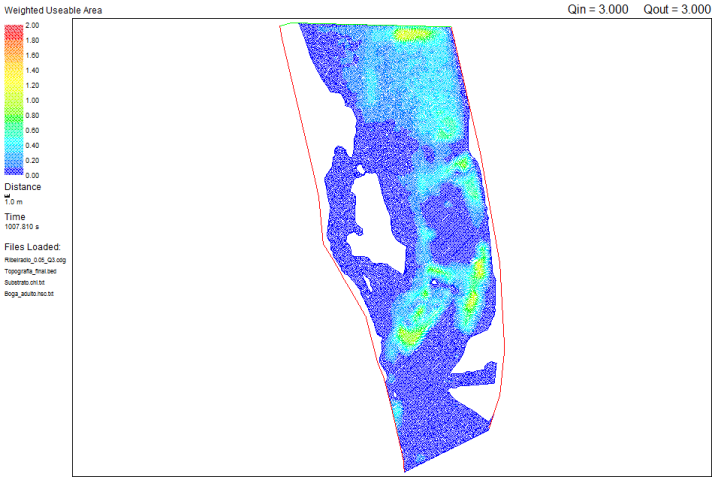


Fig. C. 71: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

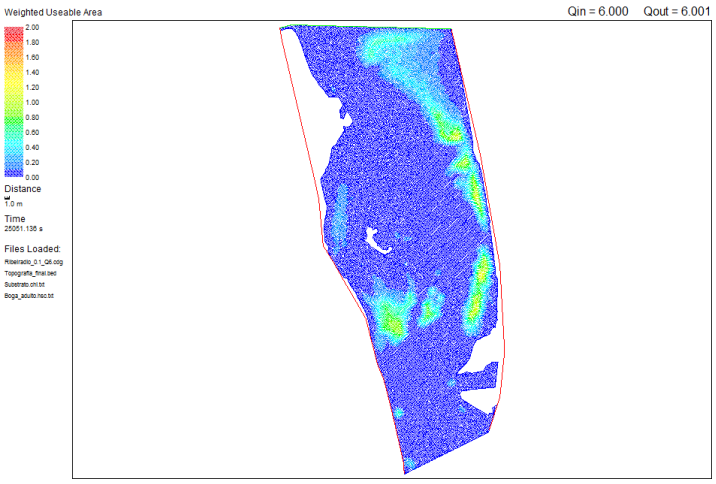


Fig. C. 72: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

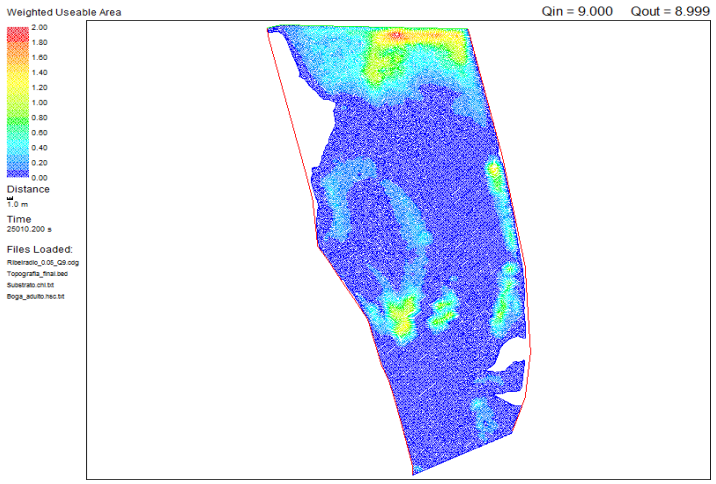


Fig. C. 73: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

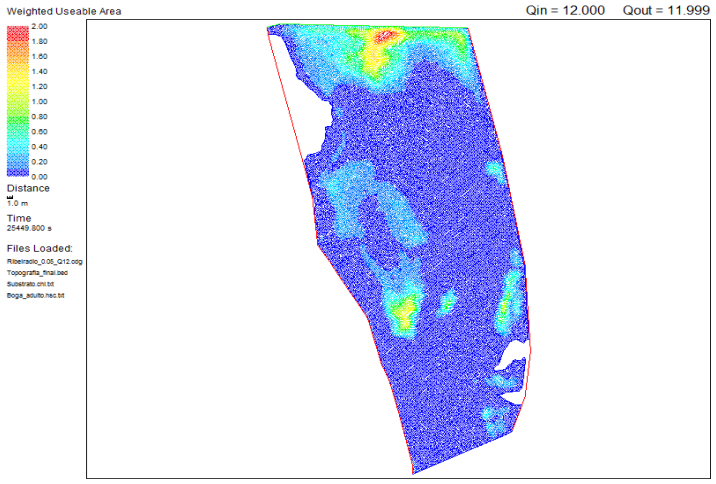


Fig. C. 74: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

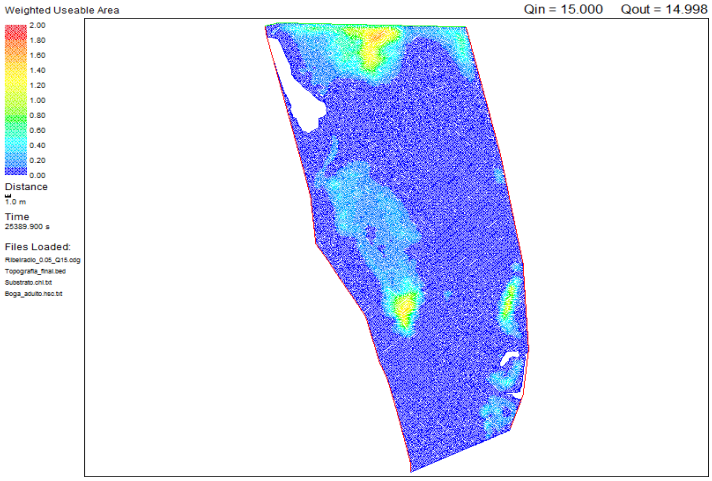


Fig. C. 75: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

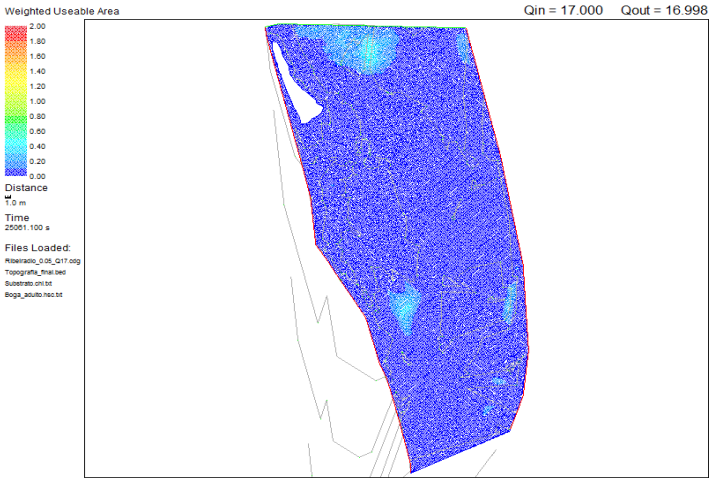


Fig. C. 76: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

C.7.2. RESULTADOS OBTIDOS PARA A BOGA-COMUM (JUVENIL)

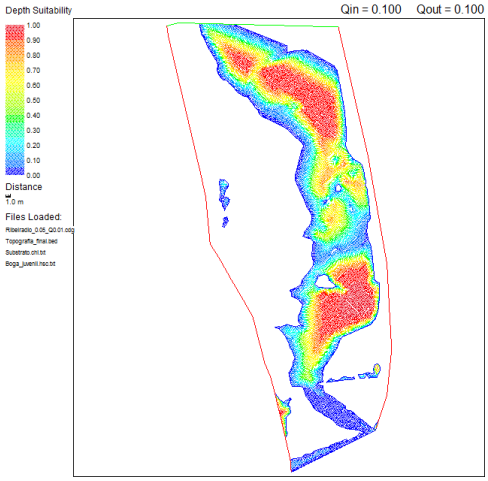


Fig. C. 77: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

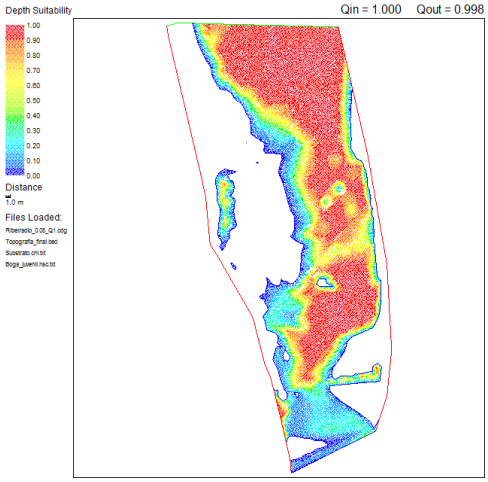


Fig. C. 78: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

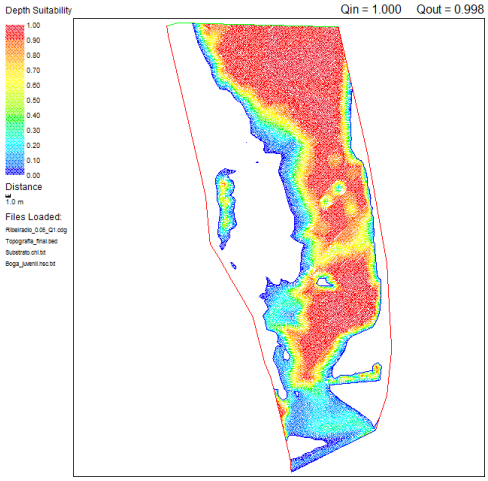


Fig. C. 79: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

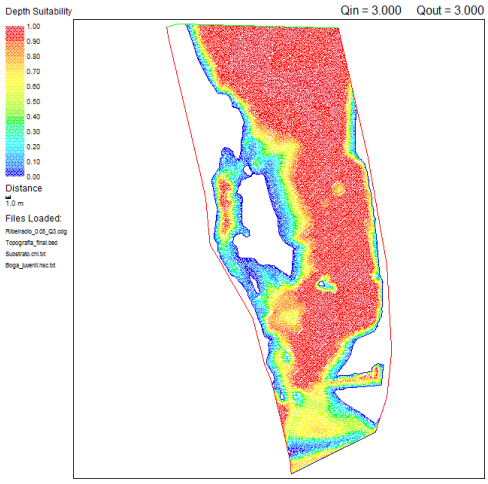


Fig. C. 80: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

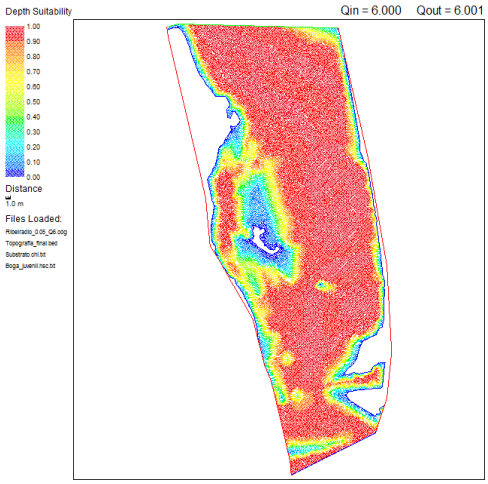


Fig. C. 81: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

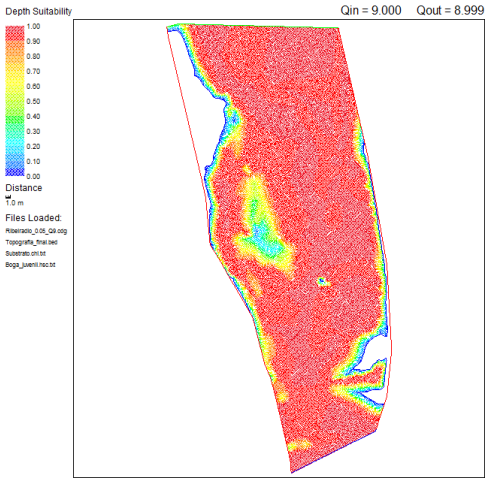


Fig. C. 82: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

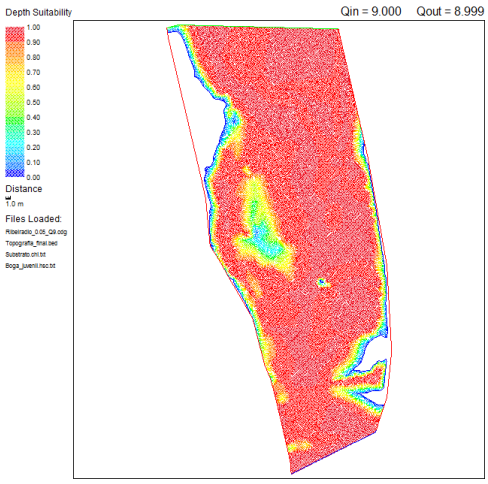


Fig. C. 83: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

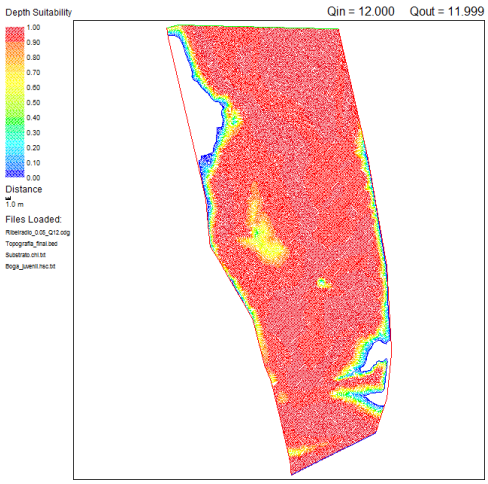


Fig. C. 84: Aptidão da **profundidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

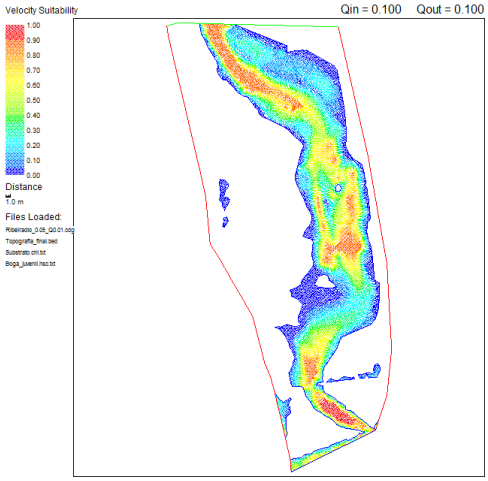


Fig. C. 85: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

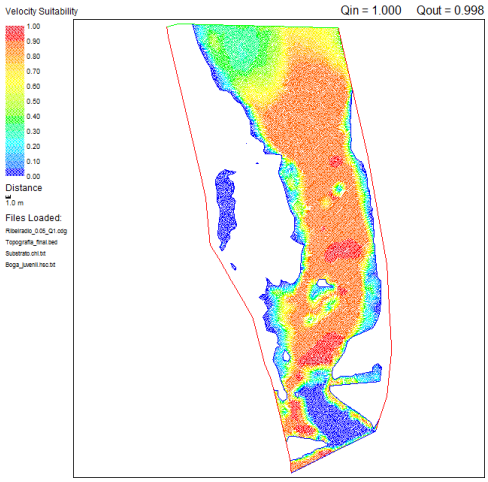


Fig. C. 86: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

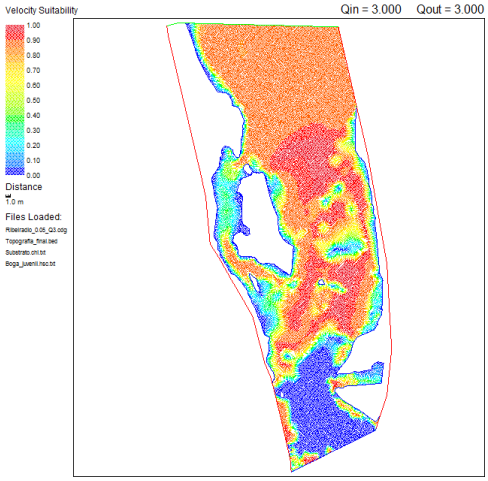


Fig. C. 87: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

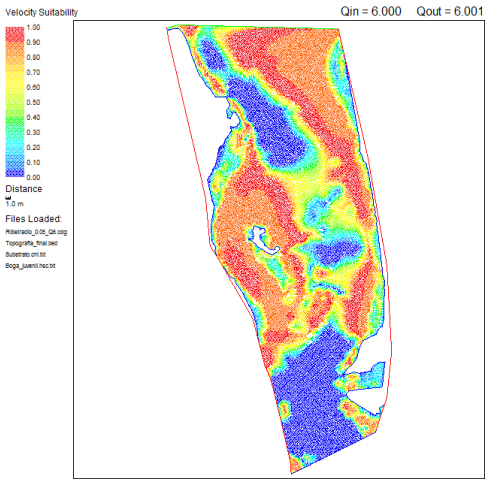


Fig. C. 88: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

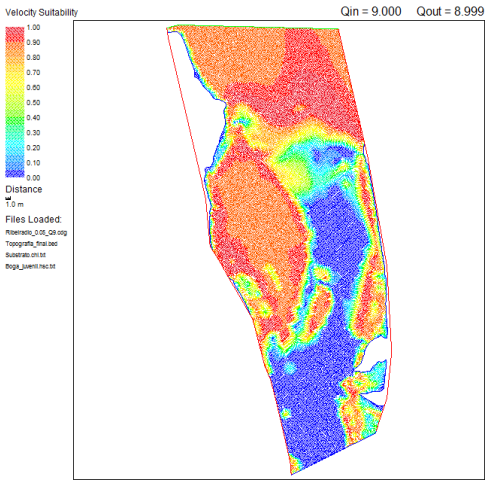


Fig. C. 89: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

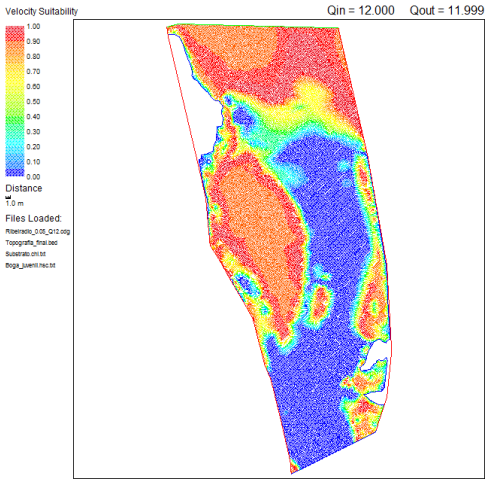


Fig. C. 90: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

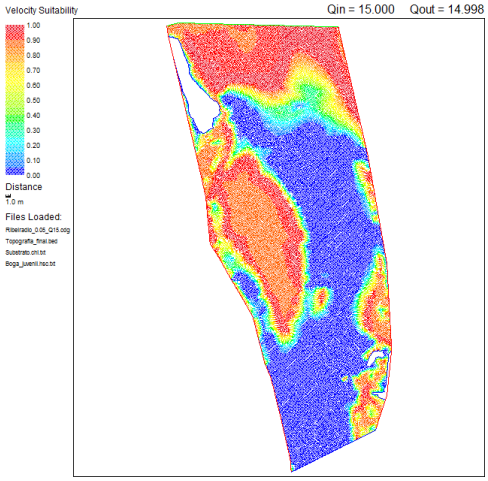


Fig. C. 91: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

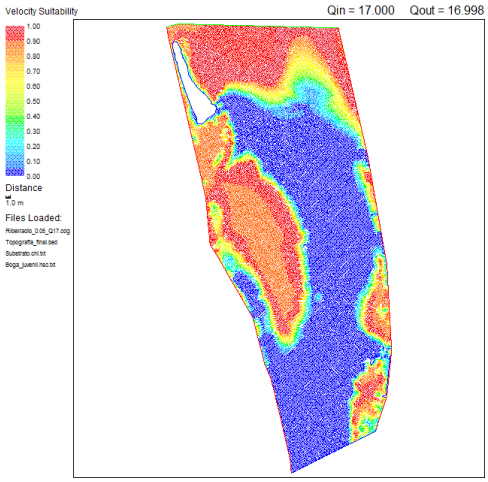


Fig. C. 92: Aptidão da **velocidade** à Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

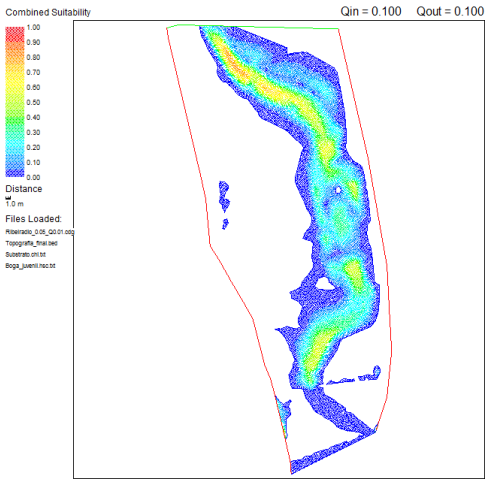


Fig. C. 93: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

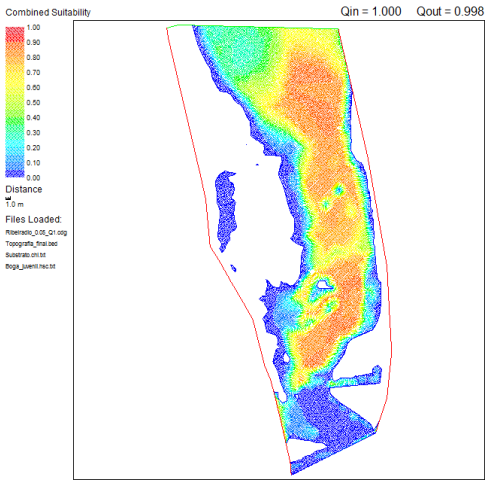


Fig. C. 94: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

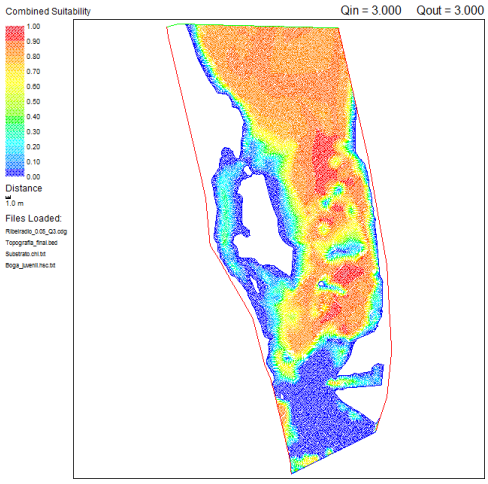


Fig. C. 95: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

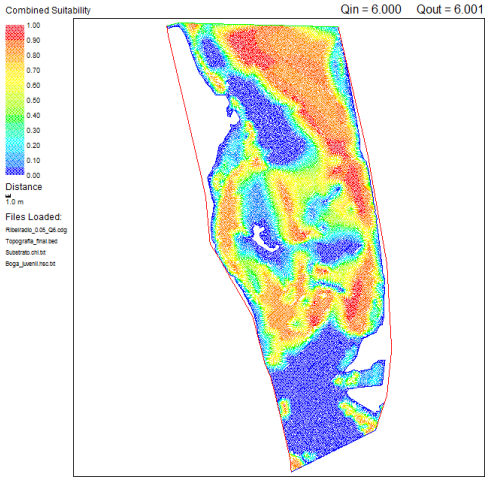


Fig. C. 96: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

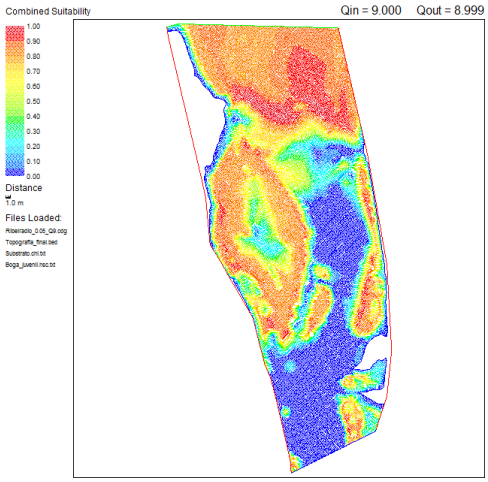


Fig. C. 97: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

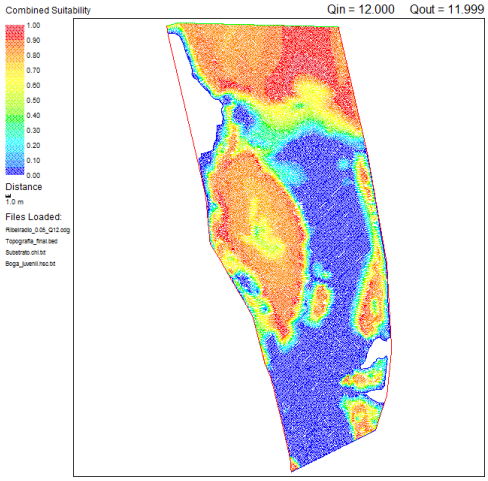


Fig. C. 98: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

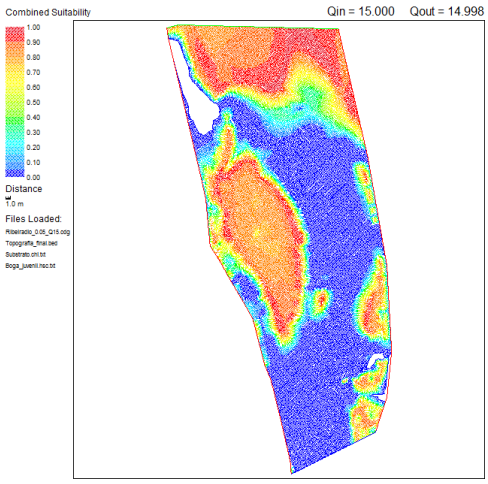


Fig. C. 99: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

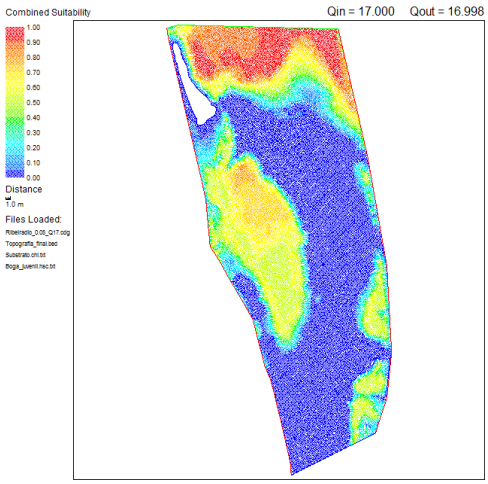


Fig. C. 100: Aptidão **combinada** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

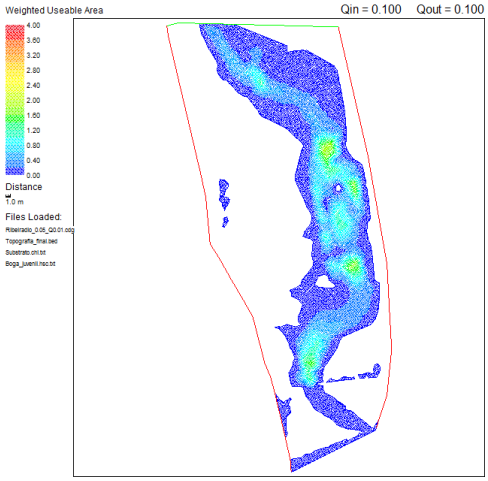


Fig. C. 101: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

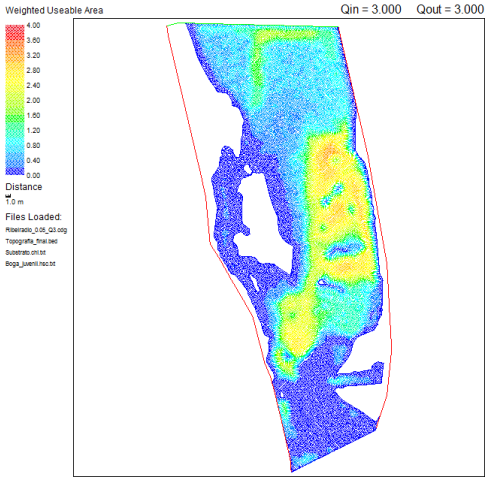


Fig. C. 102: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

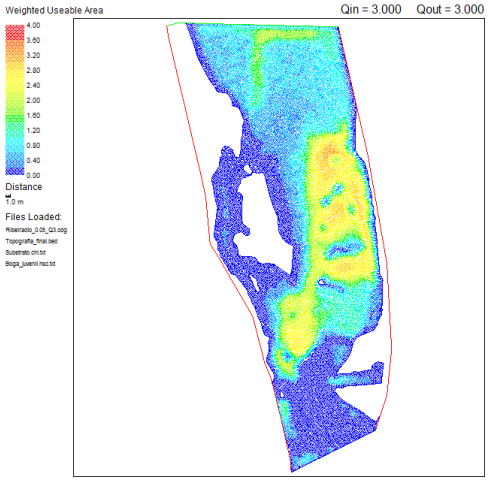


Fig. C. 103: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

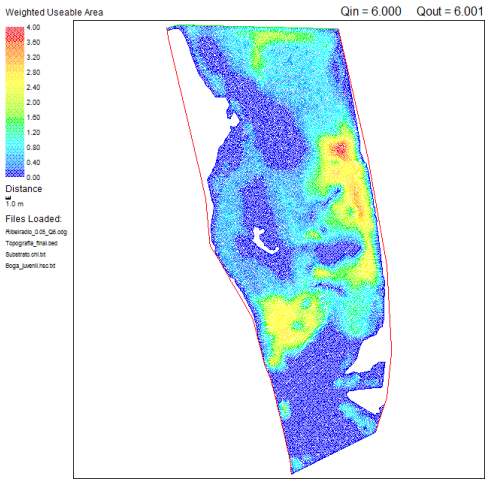


Fig. C. 104: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

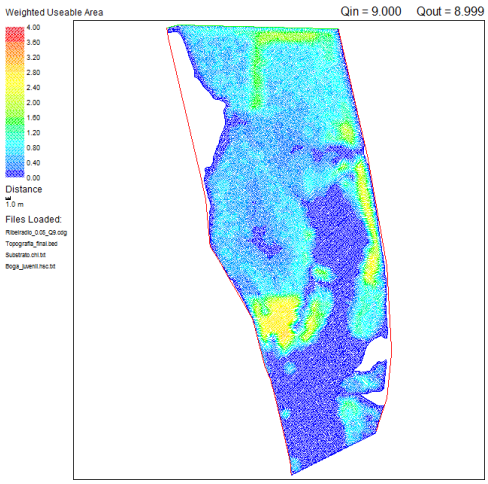


Fig. C. 105: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

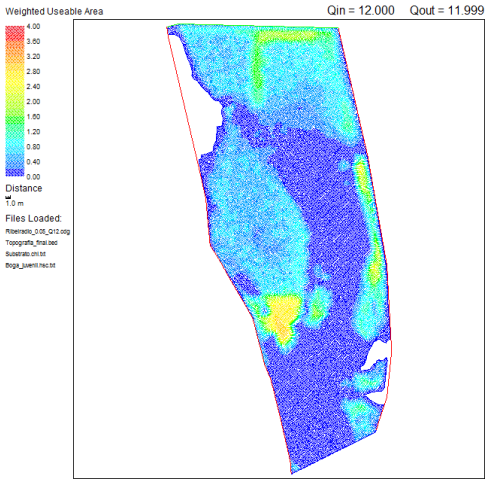


Fig. C. 106: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

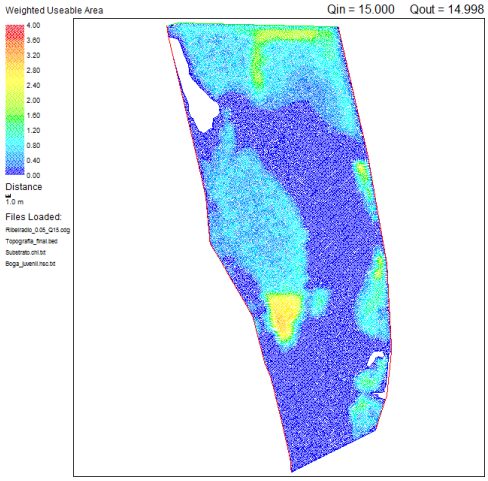


Fig. C. 107: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

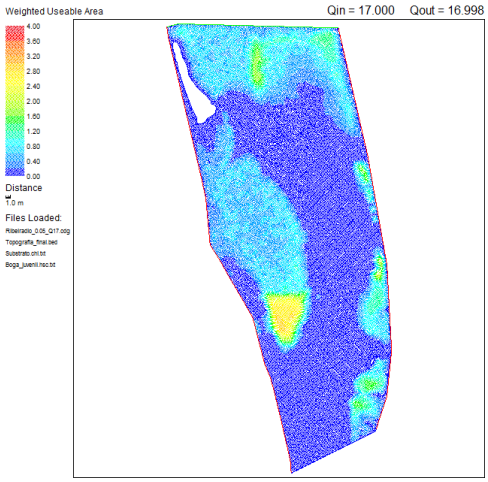


Fig. C. 108: **Superfície Ponderada Útil** para a Boga (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

C.7.3. RESULTADOS OBTIDOS PARA A ESCALO-DO-NORTE (ADULTO)

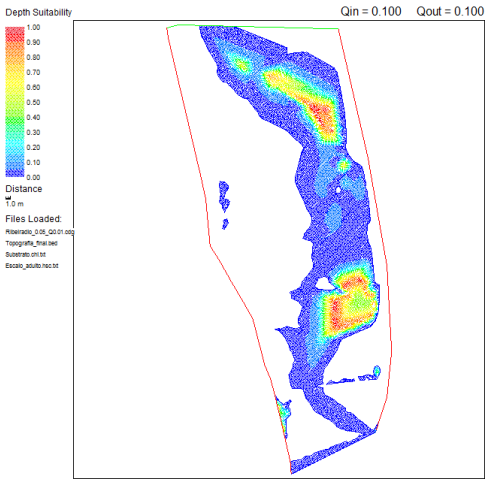


Fig. C. 109: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

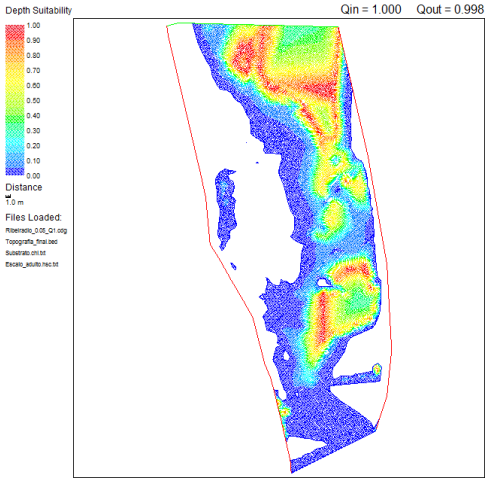


Fig. C. 110: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

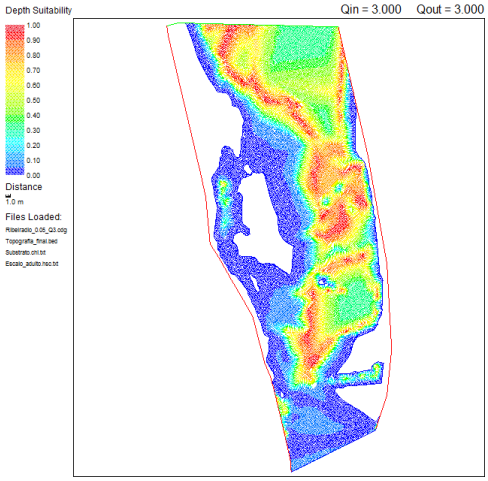


Fig. C. 111: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

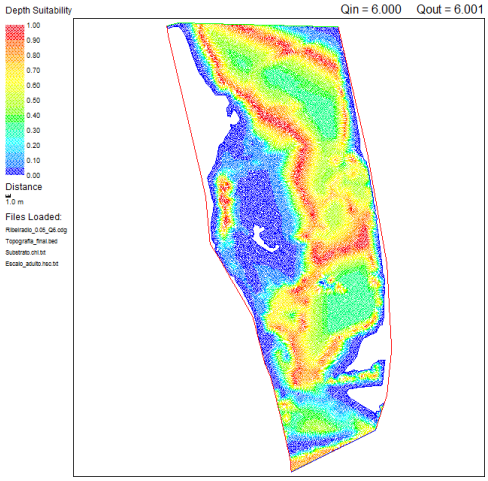


Fig. C. 112: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

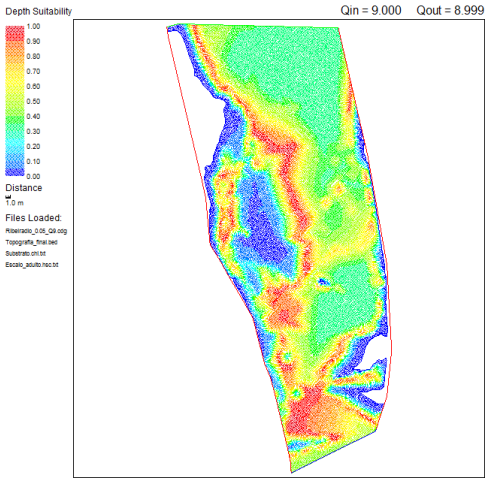


Fig. C. 113: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

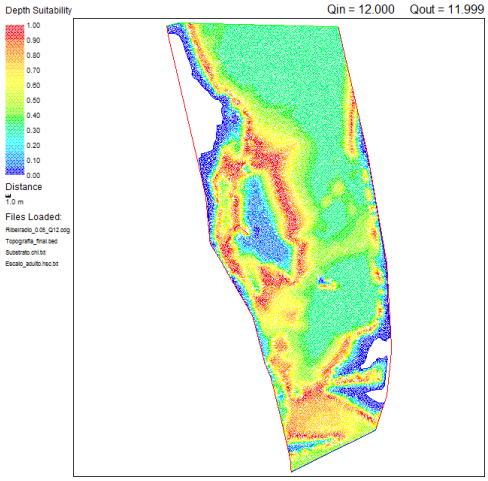


Fig. C. 114: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

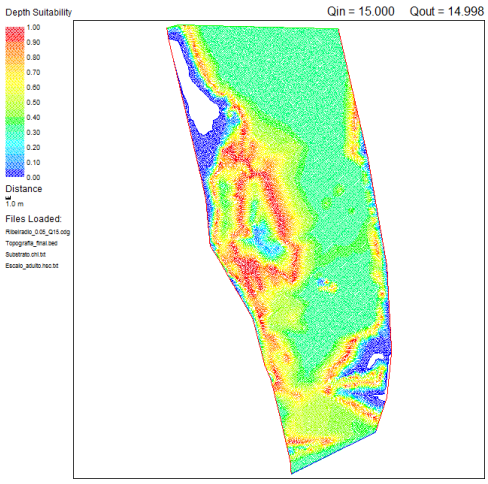


Fig. C. 115: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $\boldsymbol{Q = 15\ m^3/s}$

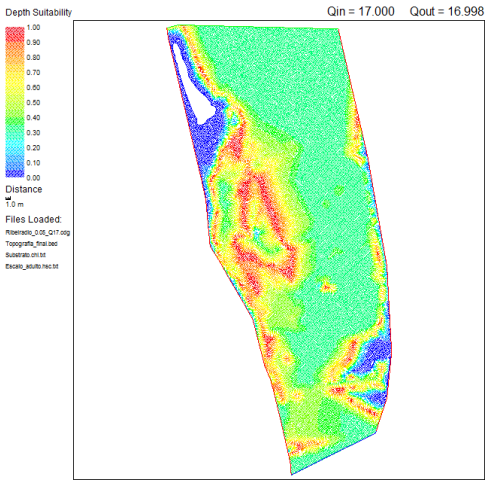


Fig. C. 116: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Adulto) para um $\boldsymbol{Q = 17\ m^3/s}$

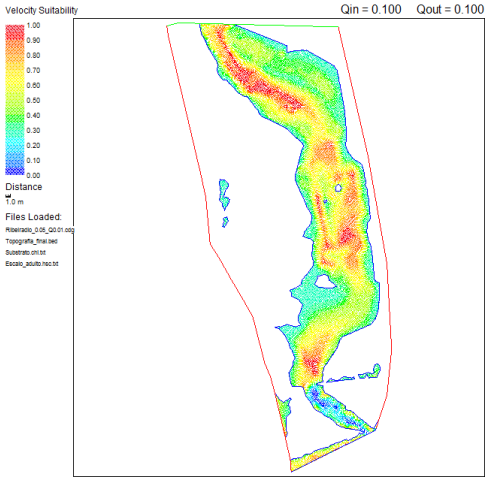


Fig. C. 117: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

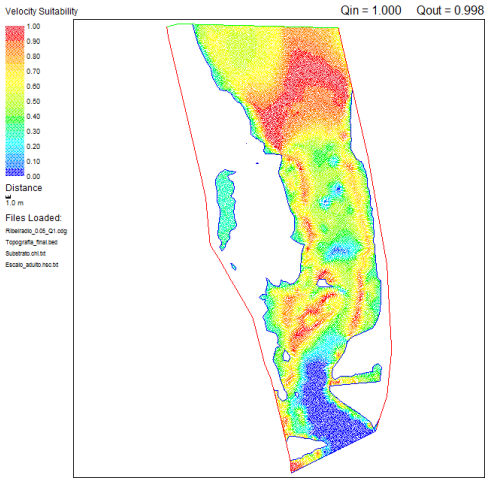


Fig. C. 118: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

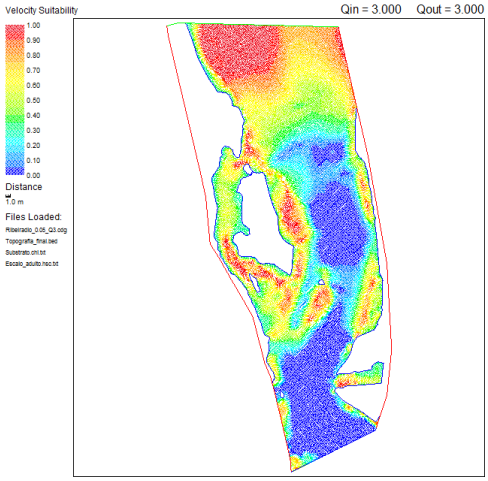


Fig. C. 119: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

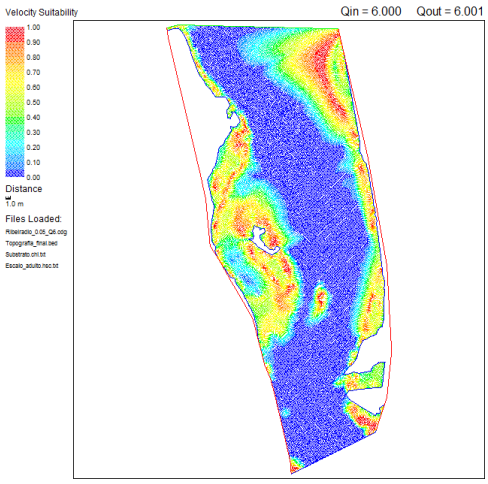


Fig. C. 120: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

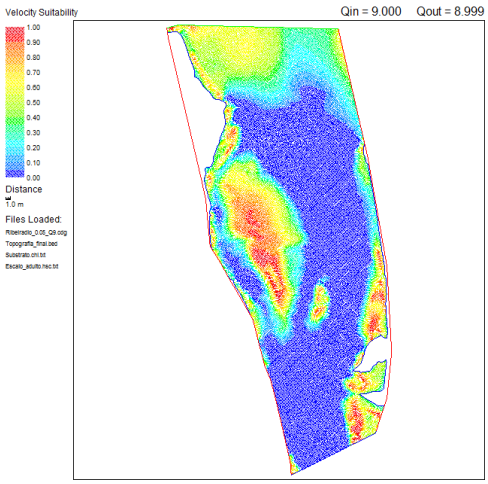


Fig. C. 121: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

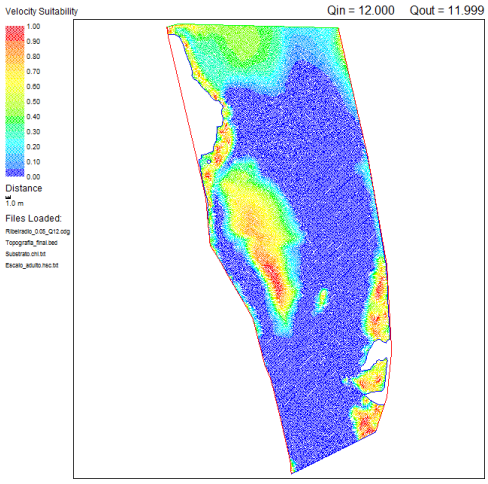


Fig. C. 122: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

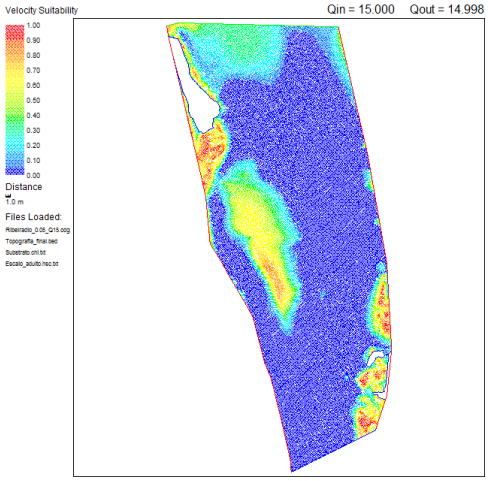


Fig. C. 123: Aptidão da **velocidade ao Escalo** (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

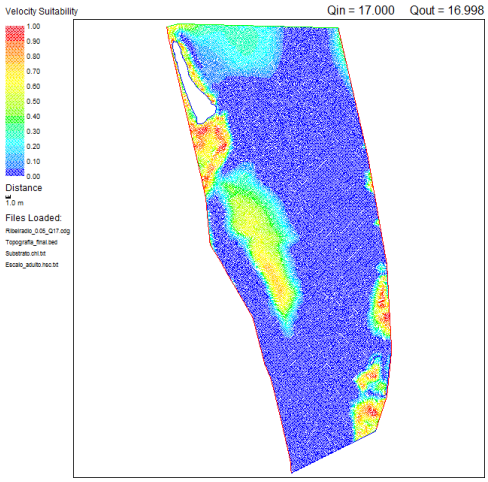


Fig. C. 124: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

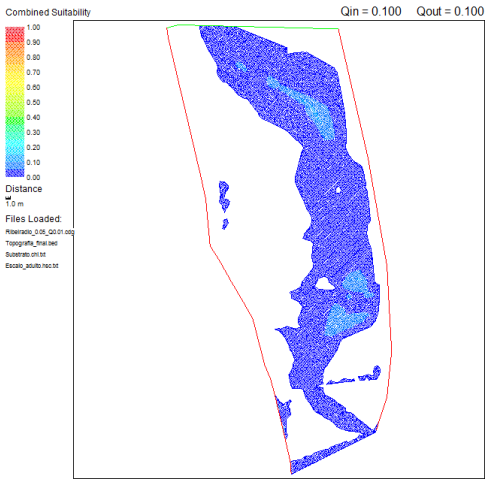


Fig. C. 125: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

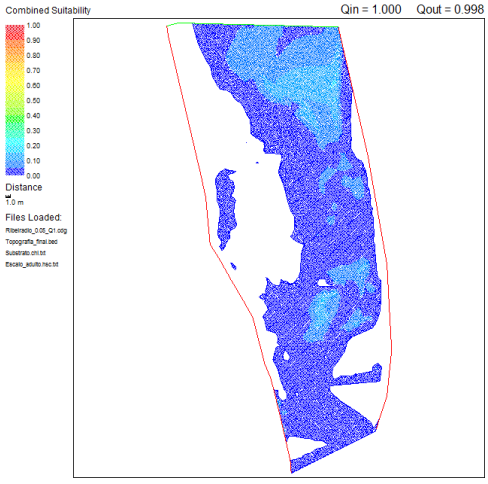


Fig. C. 126: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

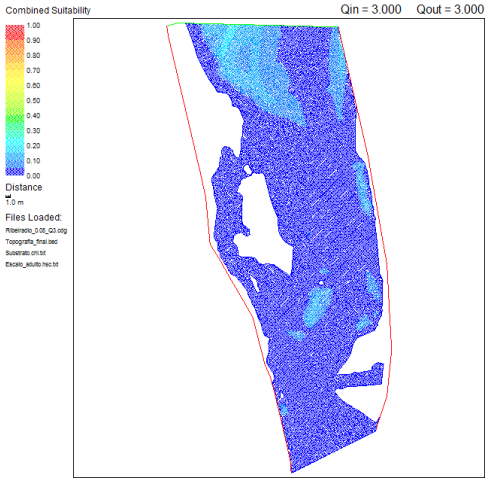


Fig. C. 127: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

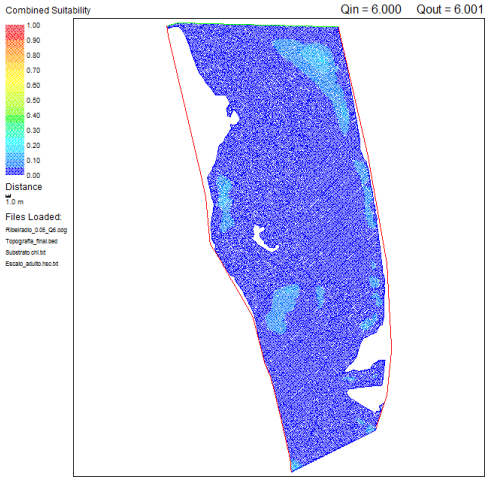


Fig. C. 128: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

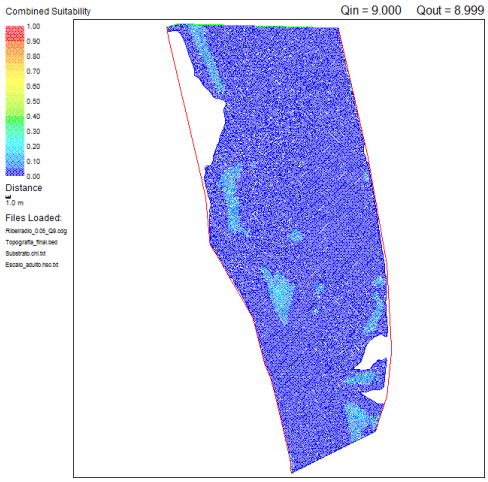


Fig. C. 129: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

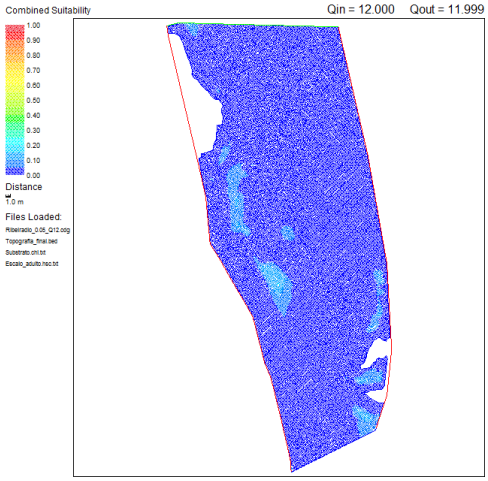


Fig. C. 130: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

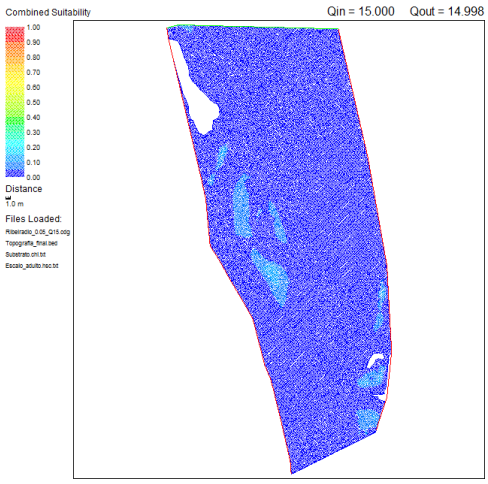


Fig. C. 131: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

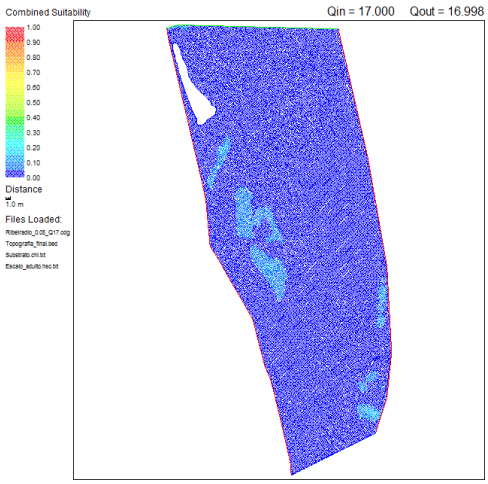


Fig. C. 132: Aptidão **combinada** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

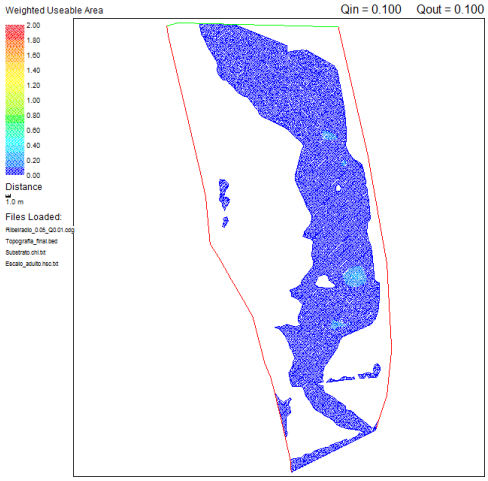


Fig. C. 133: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

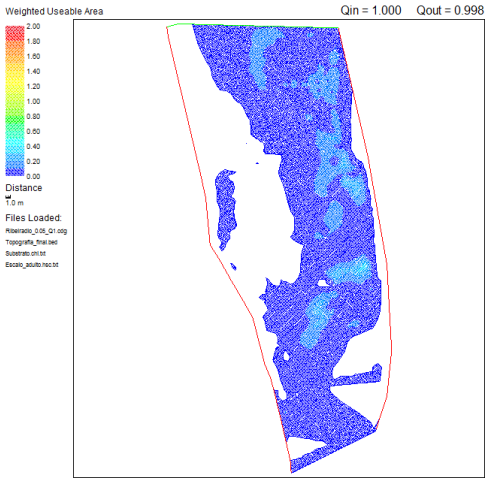


Fig. C. 134: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

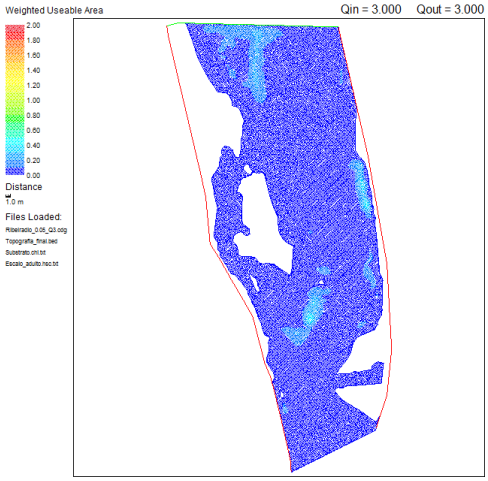


Fig. C. 135: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

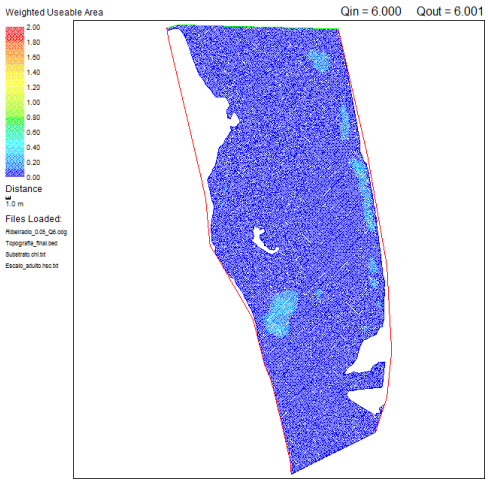


Fig. C. 136: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

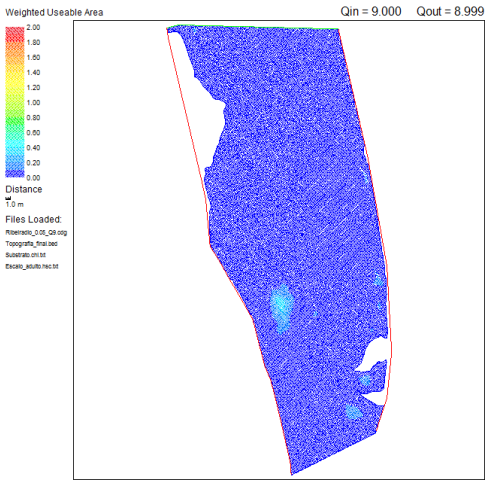


Fig. C. 137: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

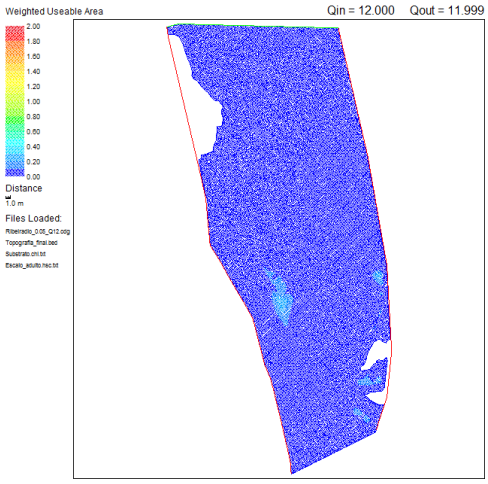


Fig. C. 138: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

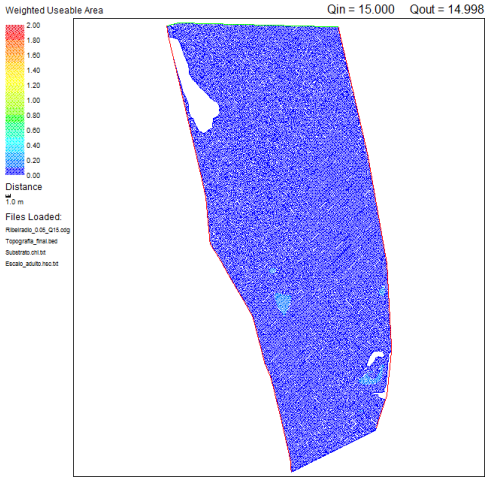


Fig. C. 139: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

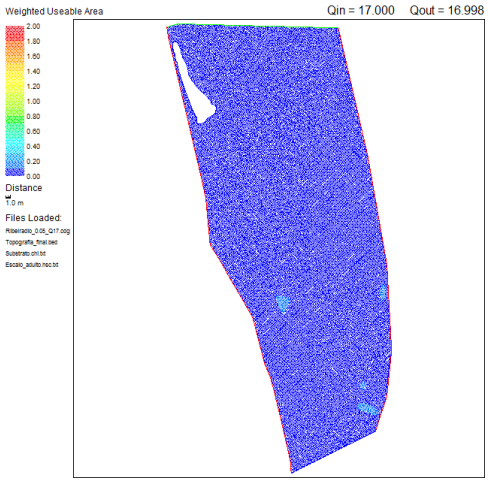


Fig. C. 140: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

C.7.4. RESULTADOS OBTIDOS PARA O ESCALO-DO-NORTE (JUVENIL)

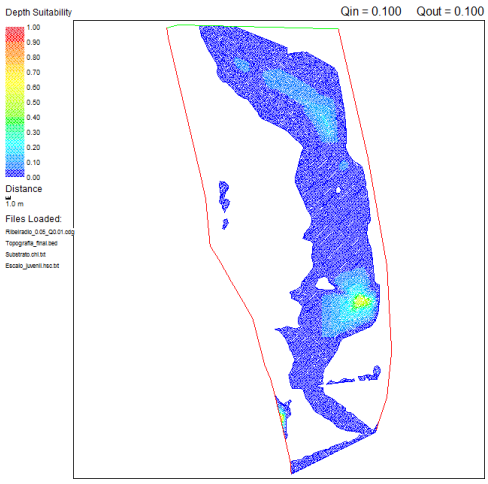


Fig. C. 141: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

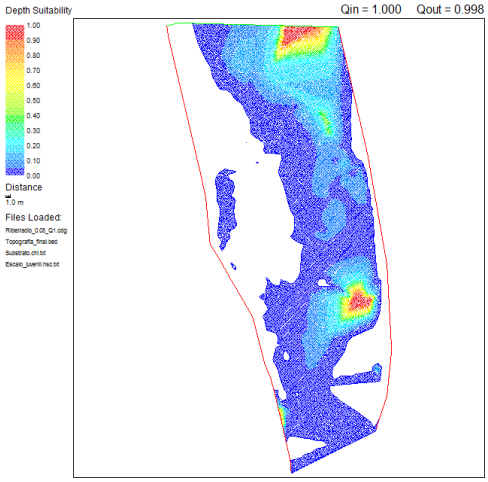


Fig. C. 142: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

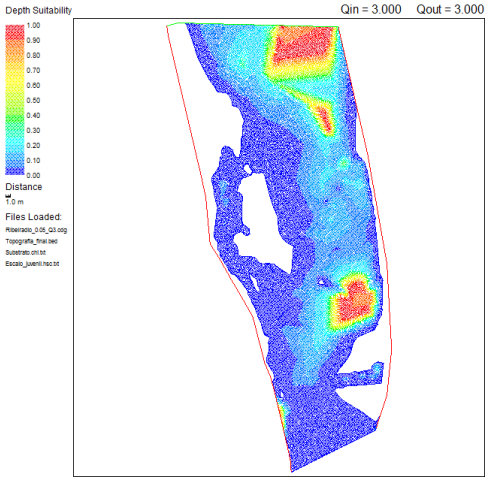


Fig. C. 143: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

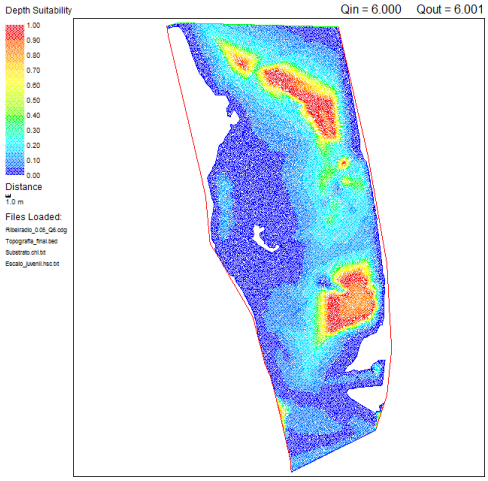


Fig. C. 144: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

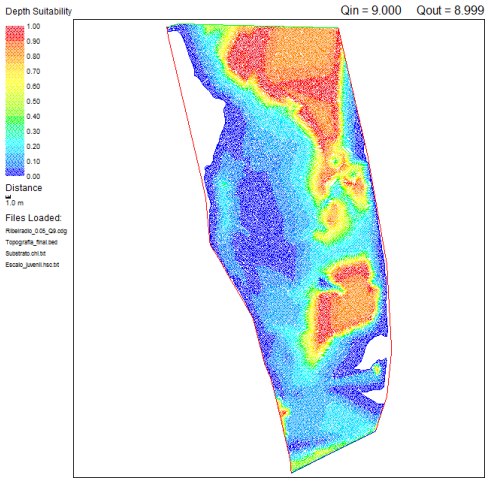


Fig. C. 145: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

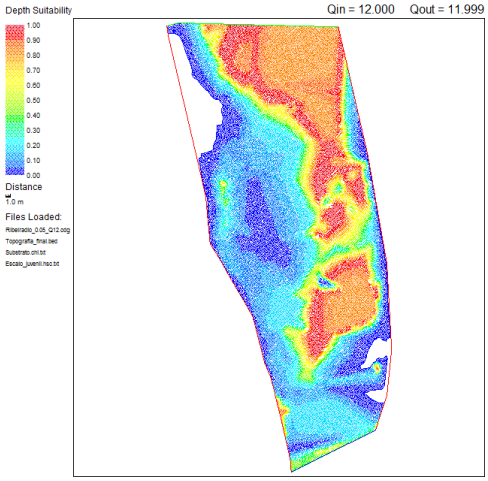


Fig. C. 146: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

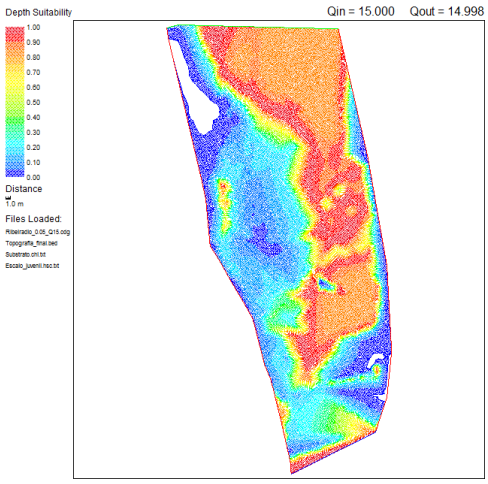


Fig. C. 147: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

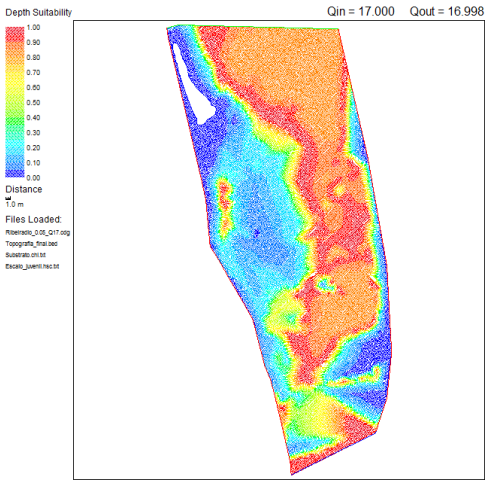


Fig. C. 148: Aptidão da **profundidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

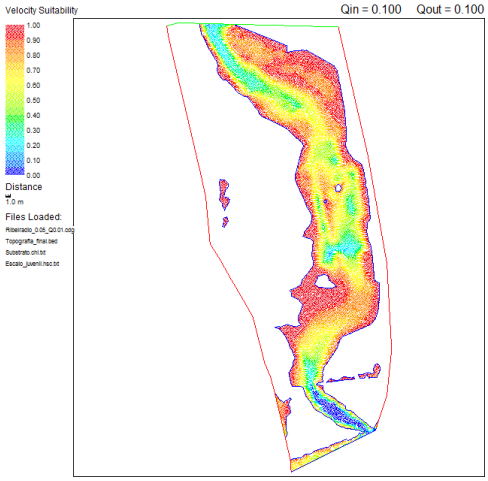


Fig. C. 149: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

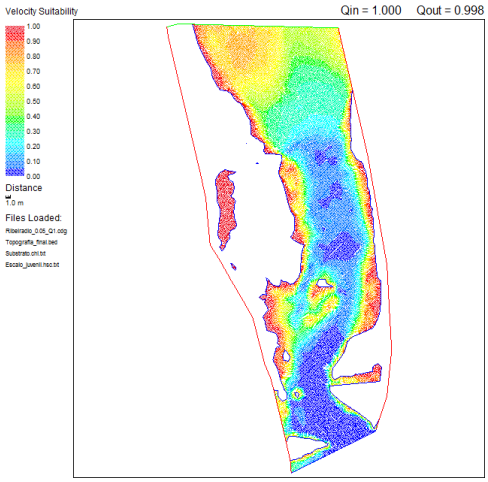


Fig. C. 150: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

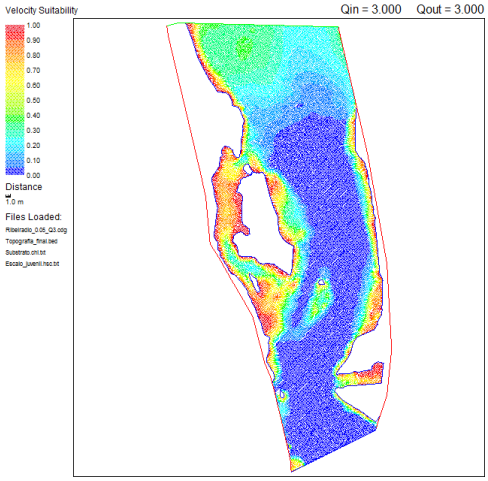


Fig. C. 151: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

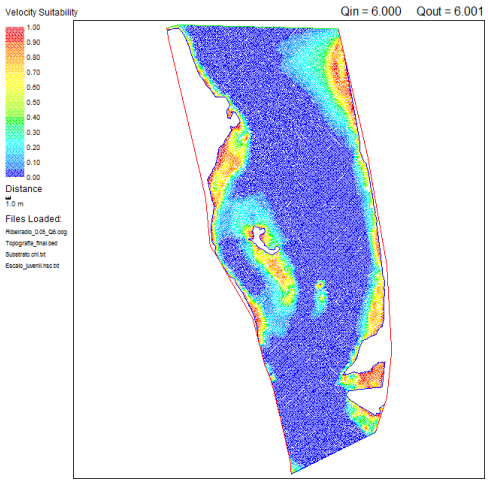


Fig. C. 152: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

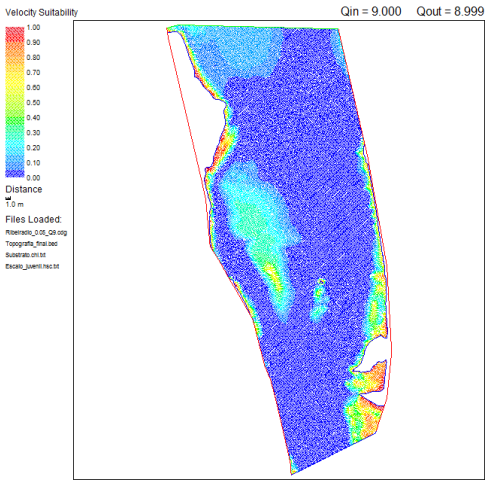


Fig. C. 153: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

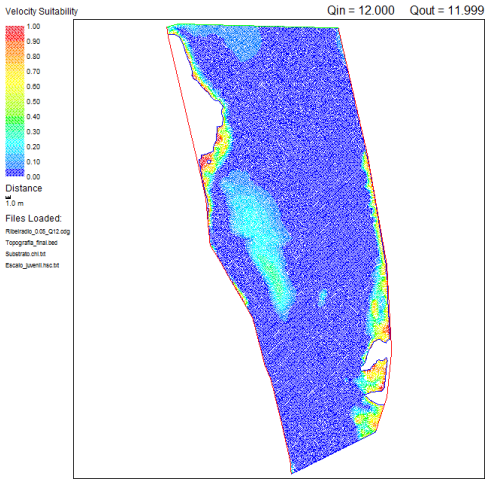


Fig. C. 154: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

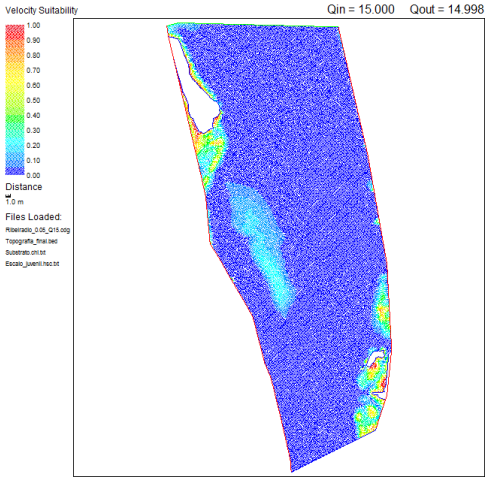


Fig. C. 155: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

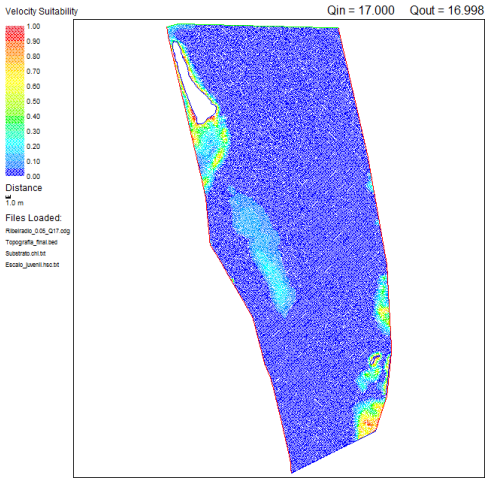


Fig. C. 156: Aptidão da **velocidade** ao Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

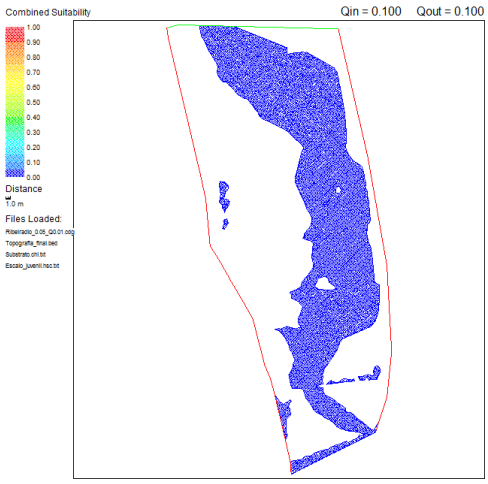


Fig. C. 157: Aptidão **combinada** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

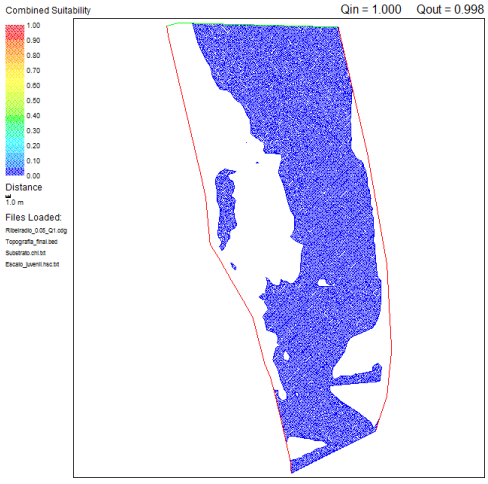


Fig. C. 158: Aptidão **combinada** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

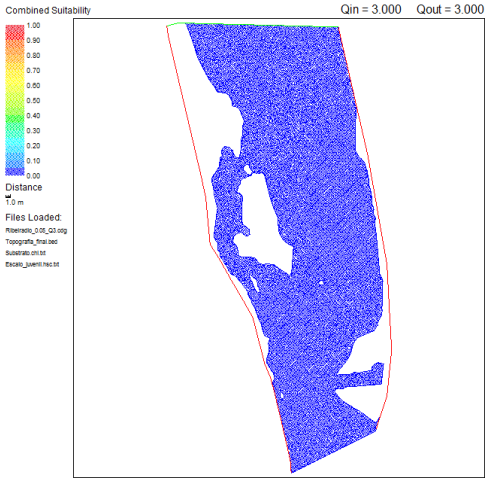


Fig. C. 159: Aptidão **combinada** para o Escalo(Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

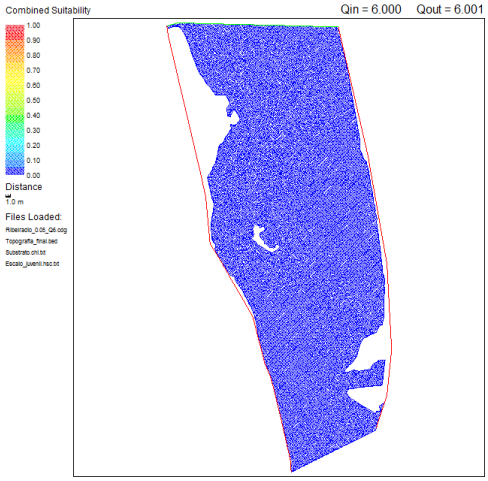


Fig. C. 160: Aptidão **combinada** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

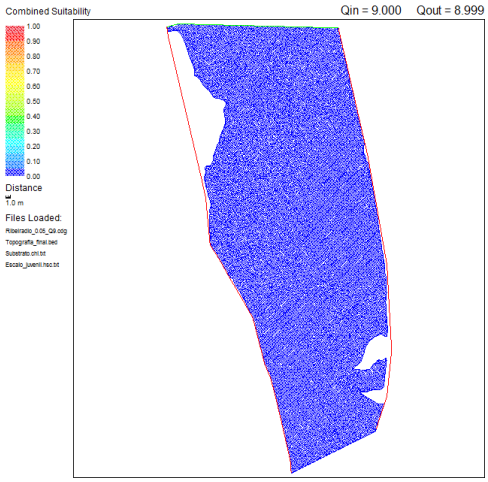


Fig. C. 161: Aptidão **combinada** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

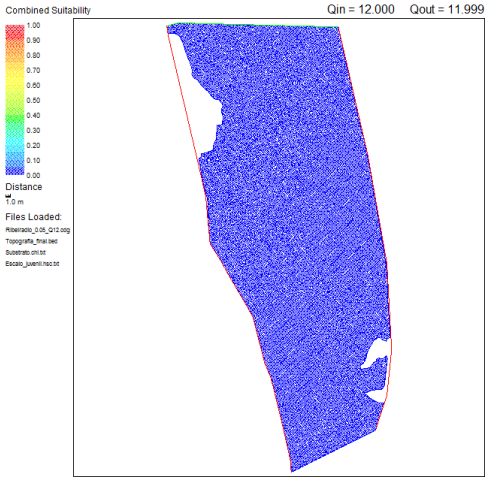


Fig. C. 162: Aptidão **combinada** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

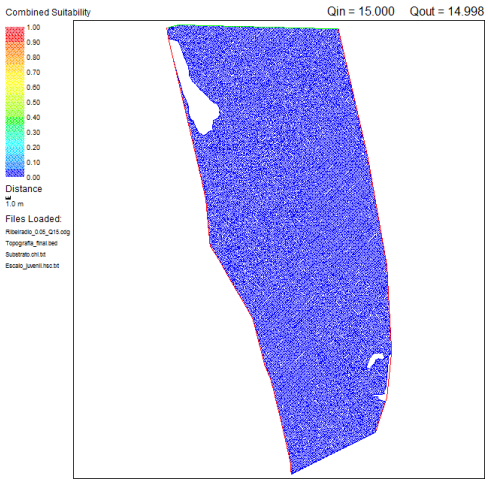


Fig. C. 163: Aptidão **combinada** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

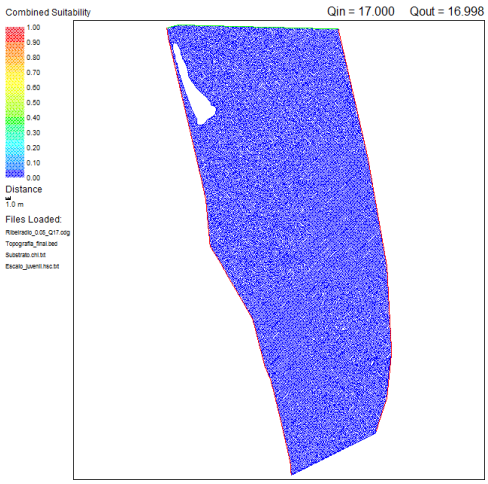


Fig. C. 164: Aptidão **combinada** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

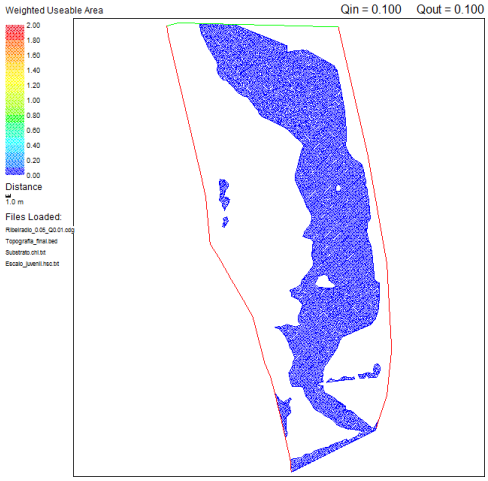


Fig. C. 165: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

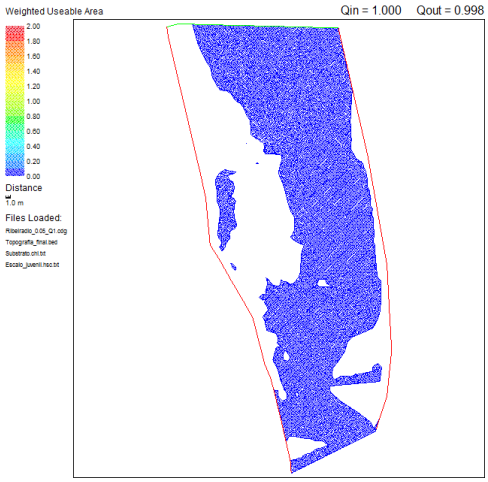


Fig. C. 166: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

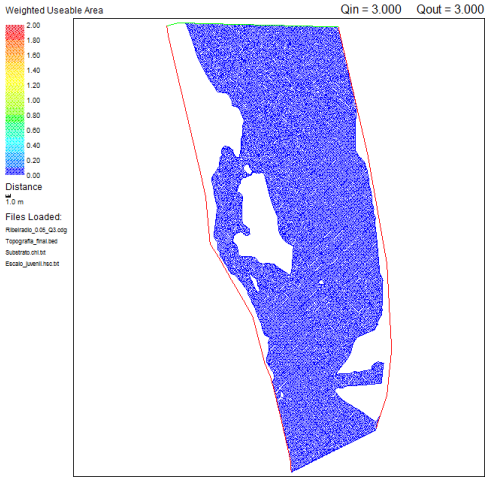


Fig. C. 167: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

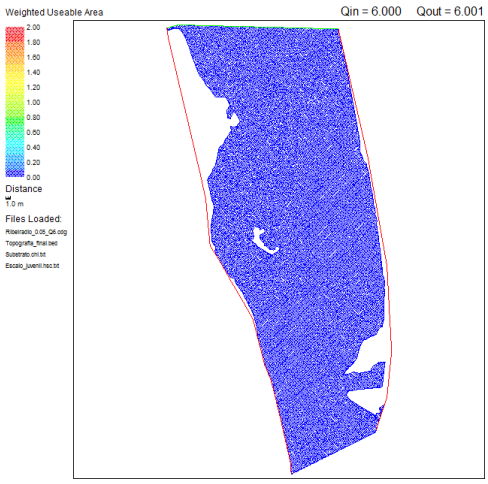


Fig. C. 168: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

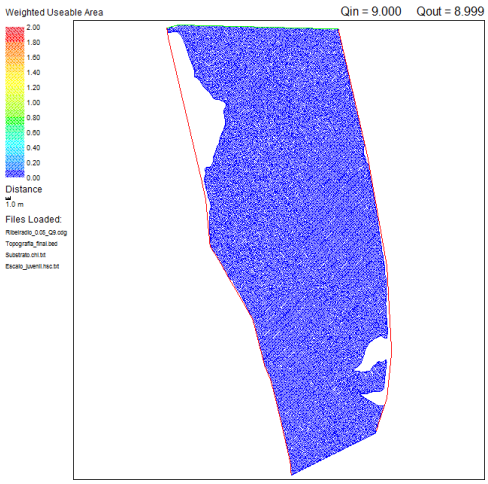


Fig. C. 169: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

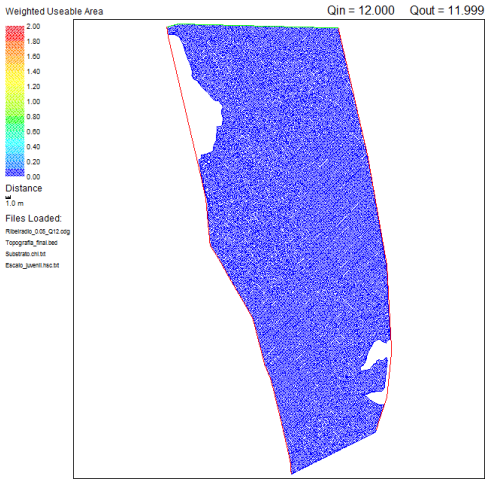


Fig. C. 170: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

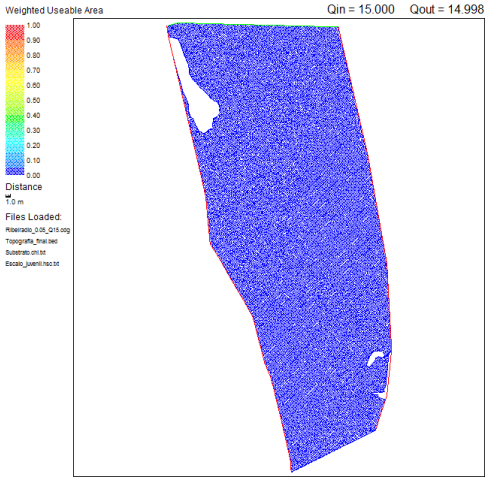


Fig. C. 171: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

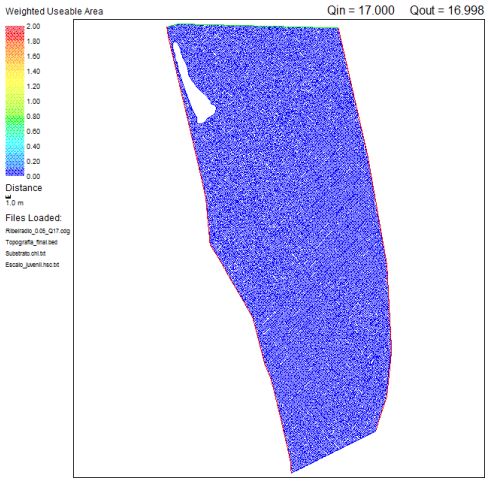


Fig. C. 172: **Superfície Ponderada Útil** para o Escalo (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

C.7.5. RESULTADOS OBTIDOS PARA A TRUTA-DE-RIO (ADULTO)

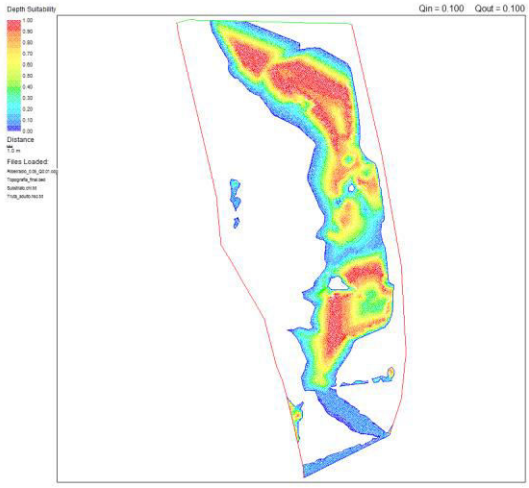


Fig. C. 173: Aptidão da **profundidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

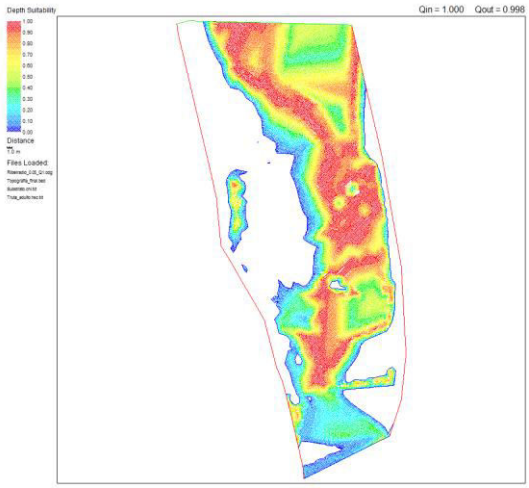


Fig. C. 174: Aptidão da **profundidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

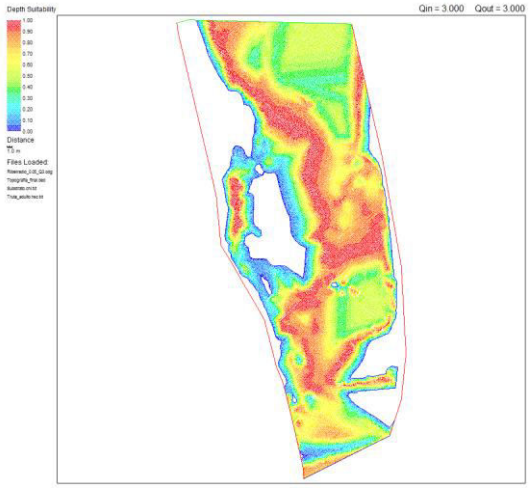


Fig. C. 175: Aptidão da **profundidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

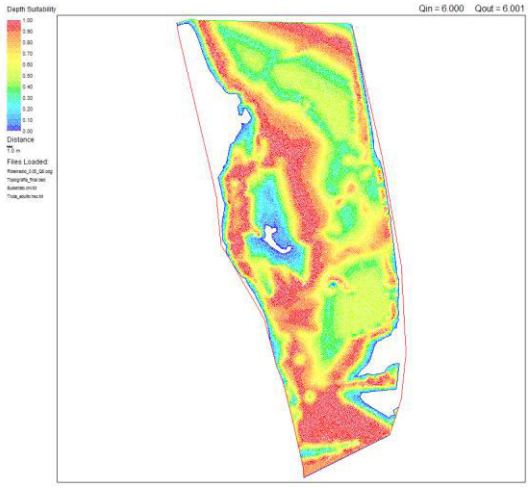


Fig. C. 176: Aptidão da **profundidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

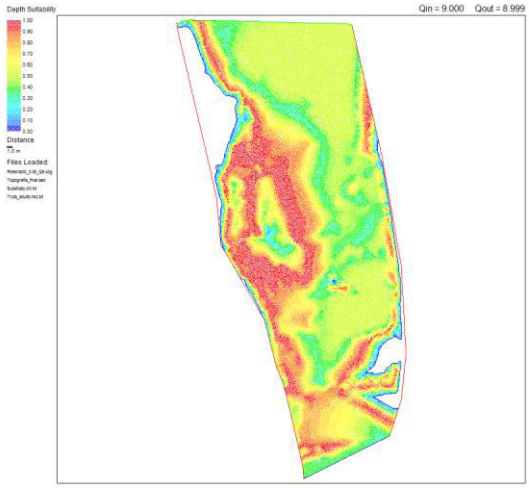


Fig. C. 177: Aptidão da **profundidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

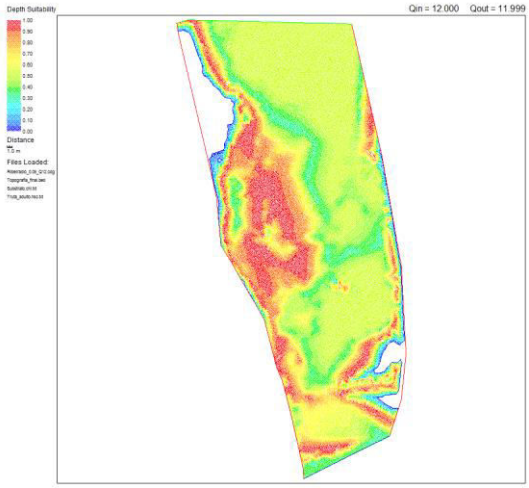


Fig. C. 178: Aptidão da **profundidade** à Boga (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

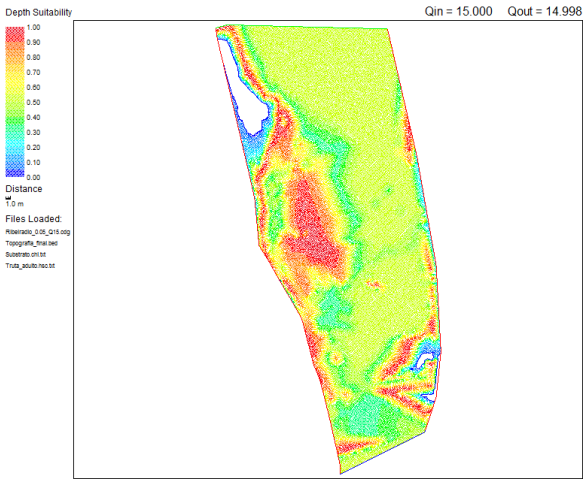


Fig. C. 179: Aptidão da **profundidade** à Truta (Adulto) para um $\boldsymbol{Q = 15\ m^3/s}$

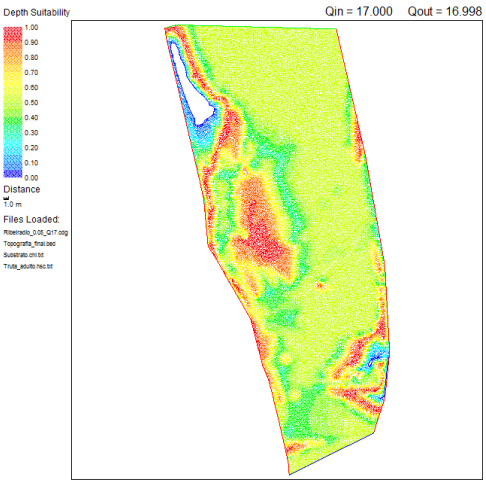


Fig. C. 180: Aptidão da **profundidade** à Truta (Adulto) para um $\boldsymbol{Q = 17\ m^3/s}$

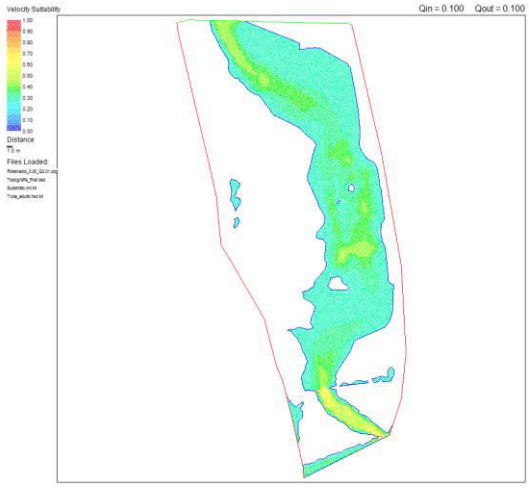


Fig. C. 181: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

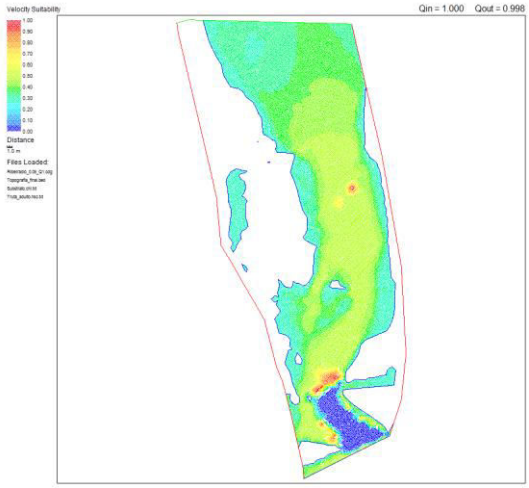


Fig. C. 182: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

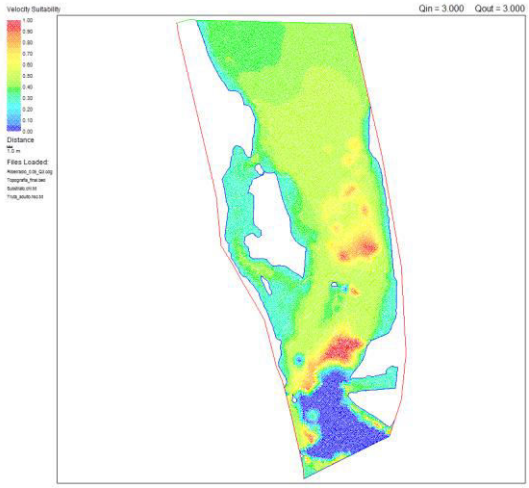


Fig. C. 183: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

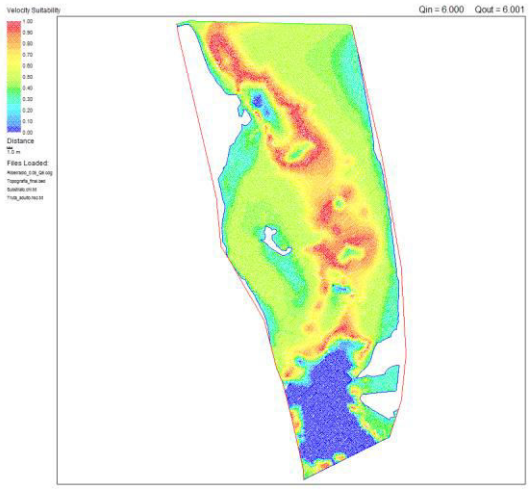


Fig. C. 184: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

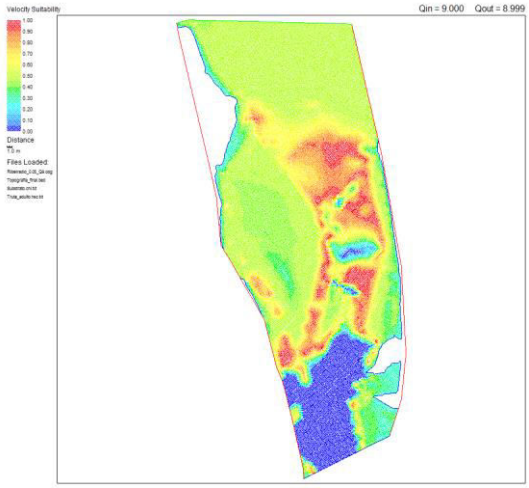


Fig. C. 185: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

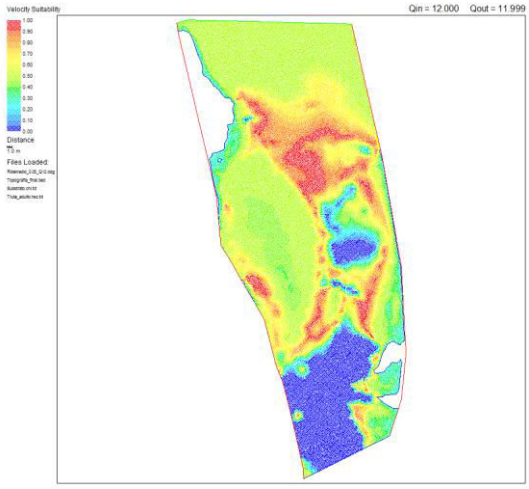


Fig. C. 186: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

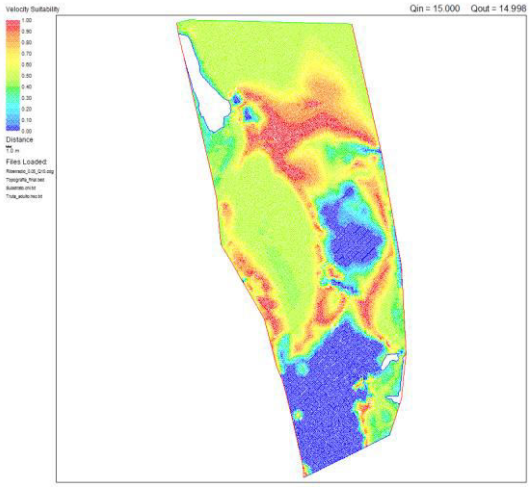


Fig. C. 187: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

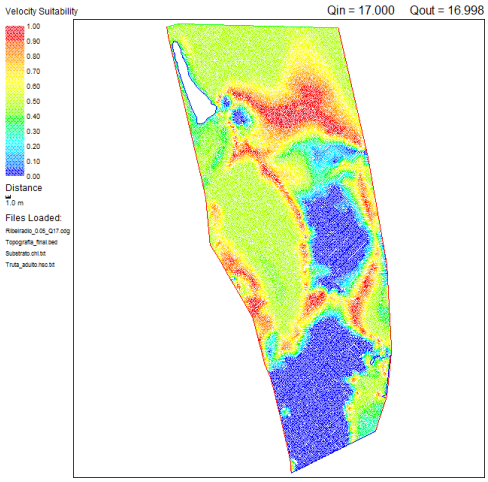


Fig. C. 188: Aptidão da **velocidade** à Truta (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

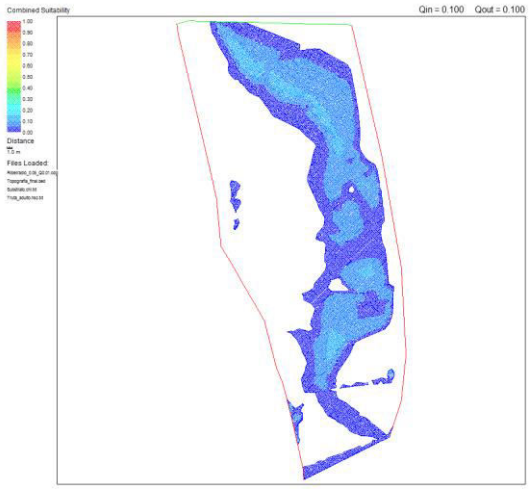


Fig. C. 189: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

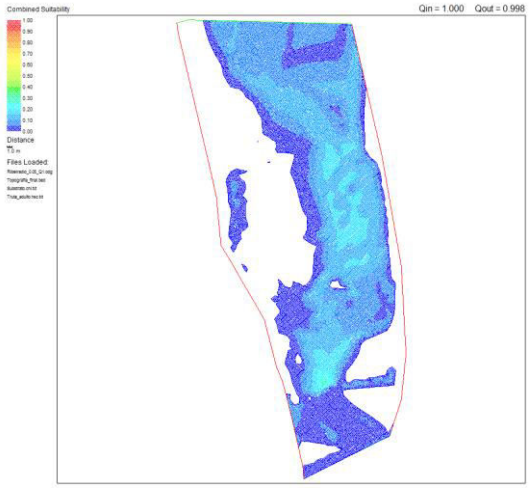


Fig. C. 190: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

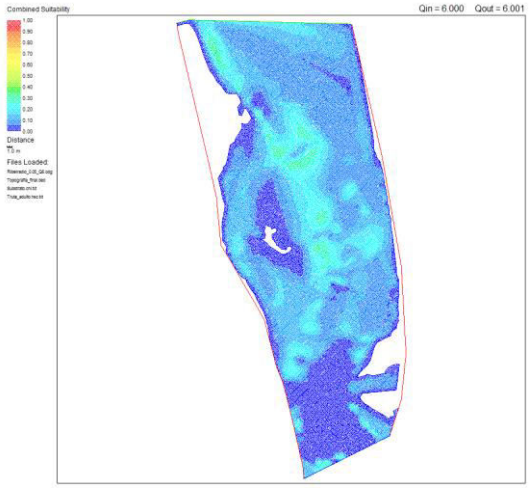


Fig. C. 191: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

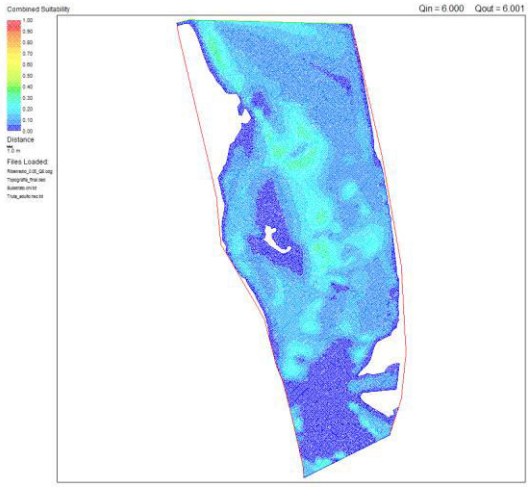


Fig. C. 192: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

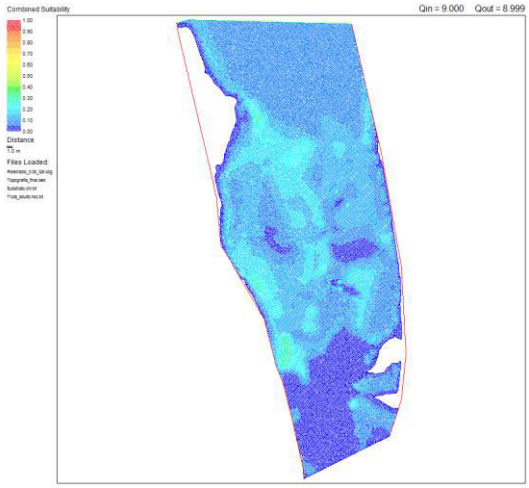


Fig. C. 193: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

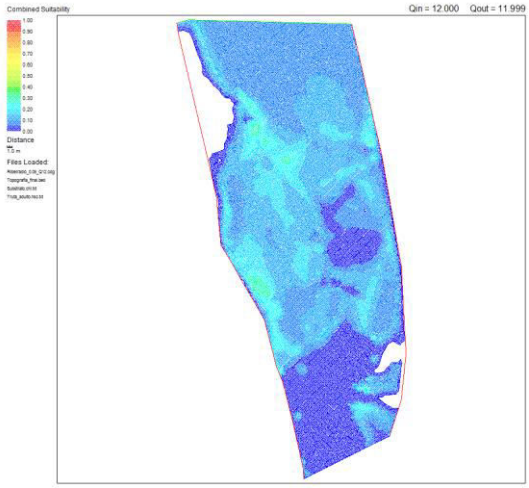


Fig. C. 194: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

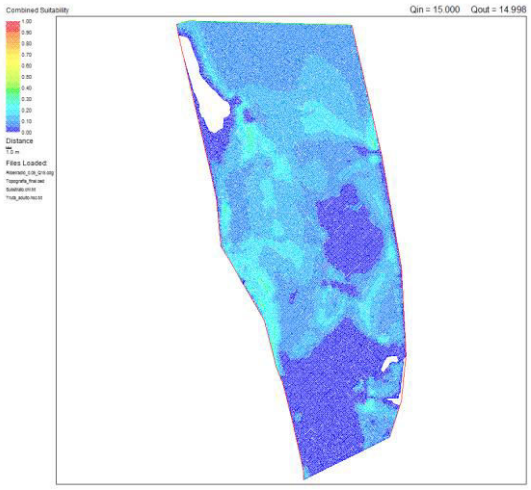


Fig. C. 195: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

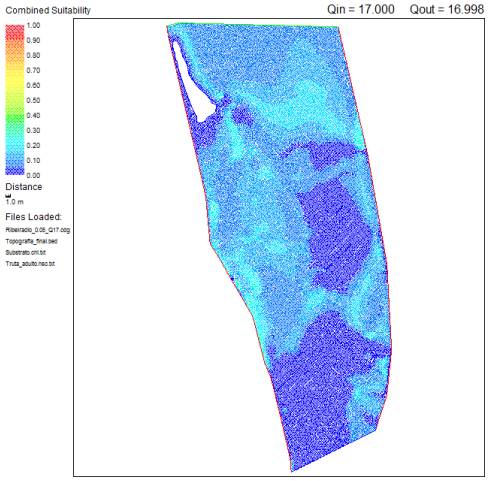


Fig. C. 196: Aptidão **combinada** para a Truta (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

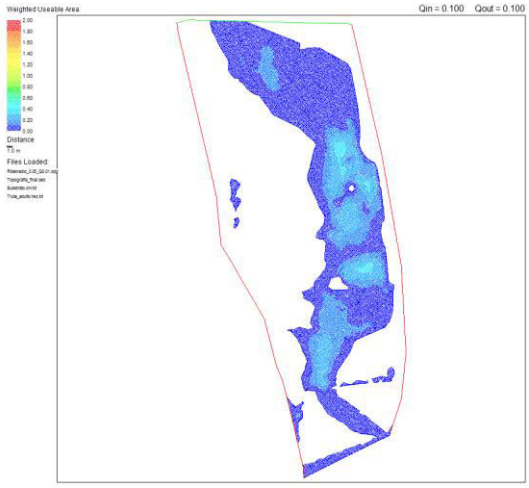


Fig. C. 197: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

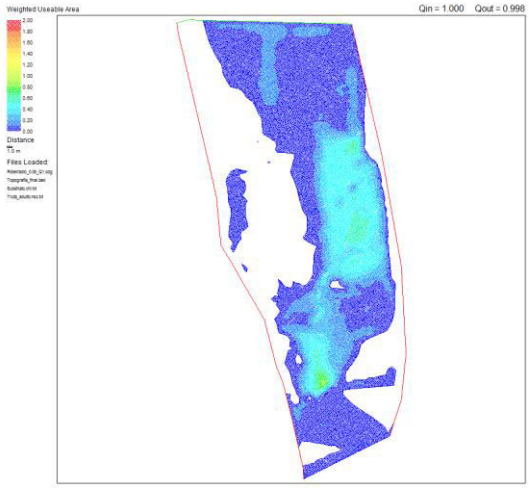


Fig. C. 198: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 1\ m^3/s$

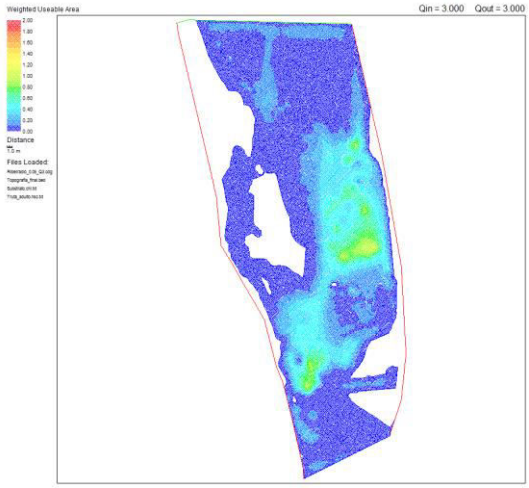


Fig. C. 199: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 3\ m^3/s$

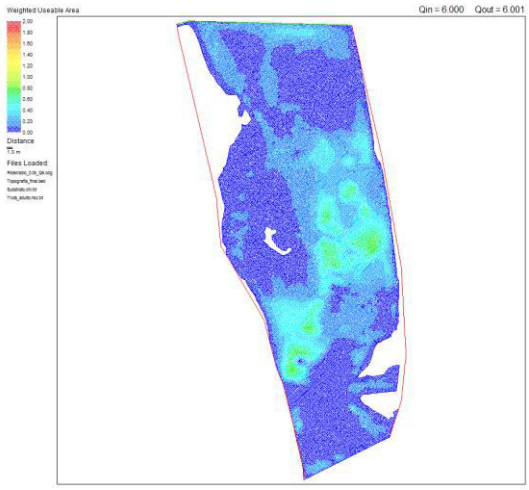


Fig. C. 200: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 6\ m^3/s$

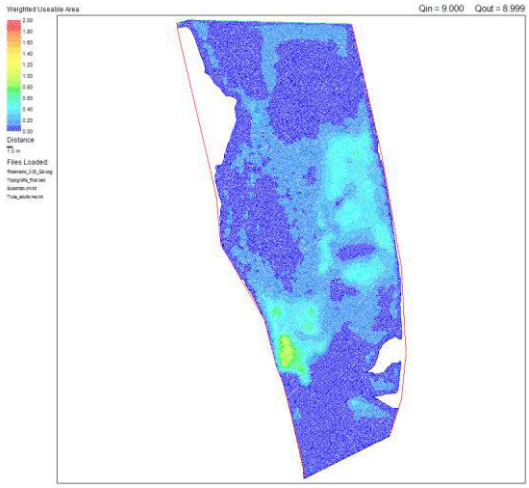


Fig. C. 201: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 9\ m^3/s$

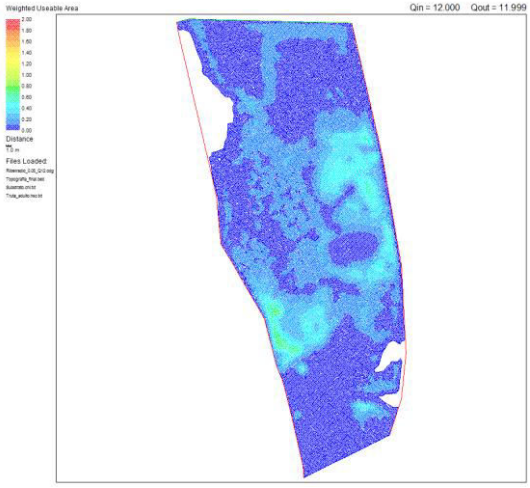


Fig. C. 202: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 12\ m^3/s$

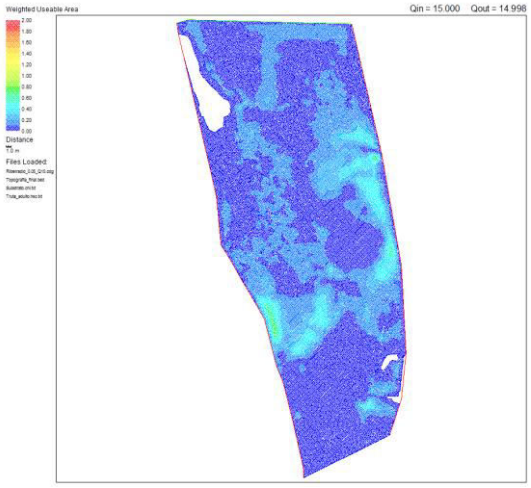


Fig. C. 203: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 15\ m^3/s$

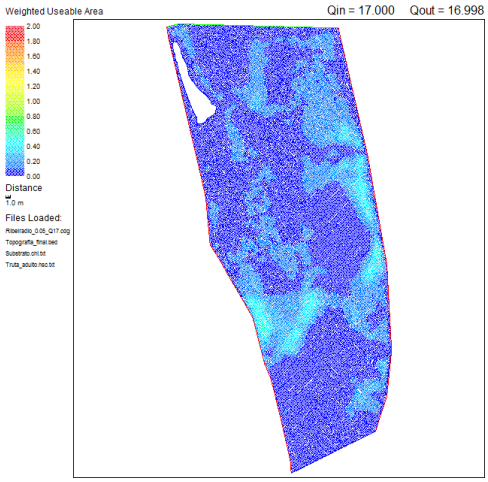


Fig. C. 204: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Adulto) para um $Q = 17\ m^3/s$

C.7.6. RESULTADOS OBTIDOS PARA A TRUTA-DO-RIO (JUVENIL)

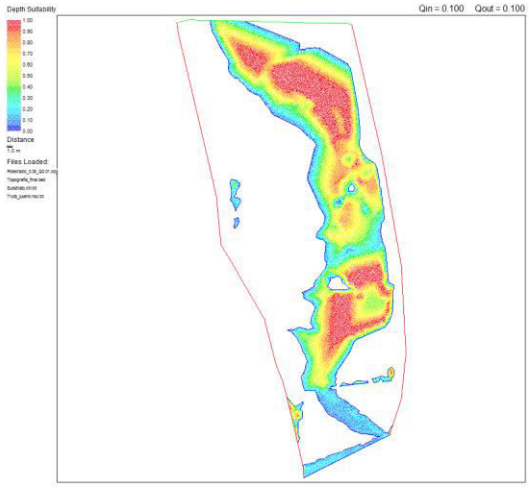


Fig. C. 205: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

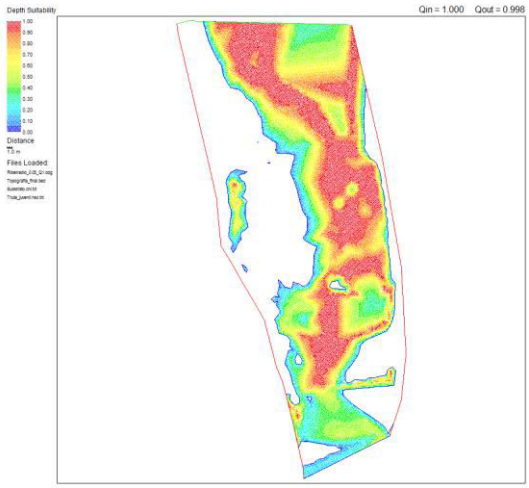


Fig. C. 206: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

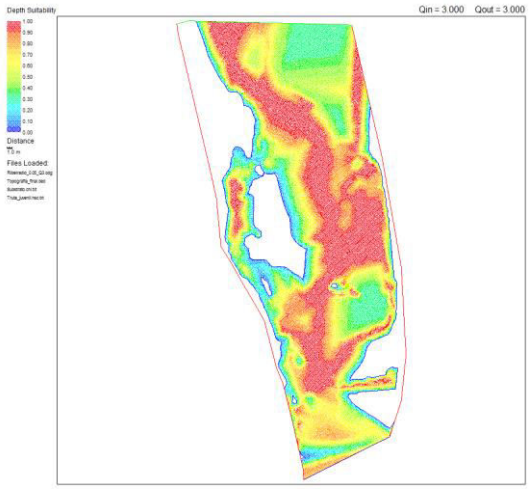


Fig. C. 207: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

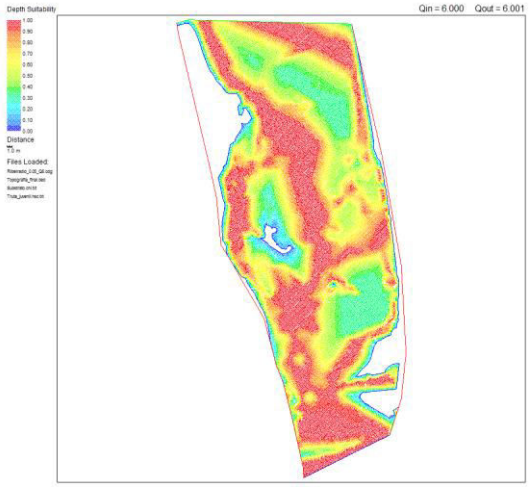


Fig. C. 208: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

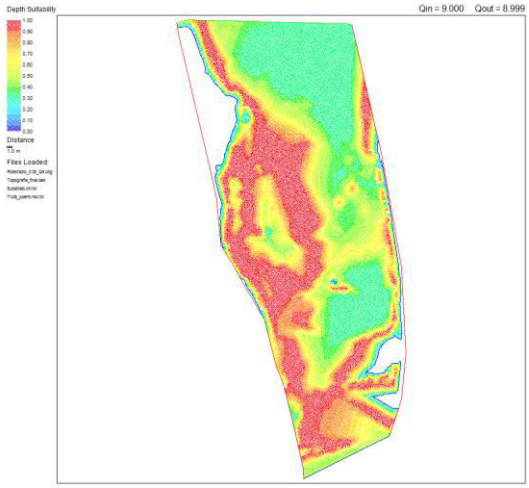


Fig. C. 209: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

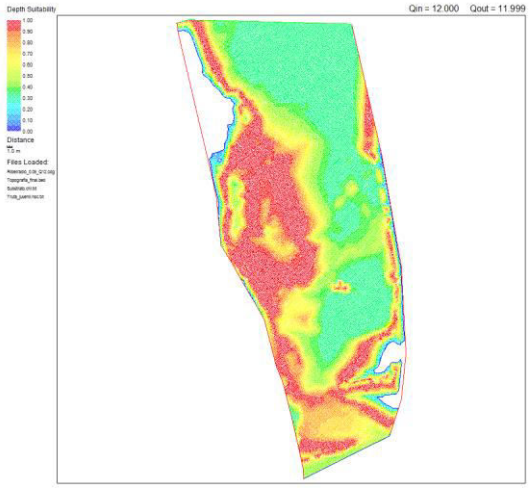


Fig. C. 210: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

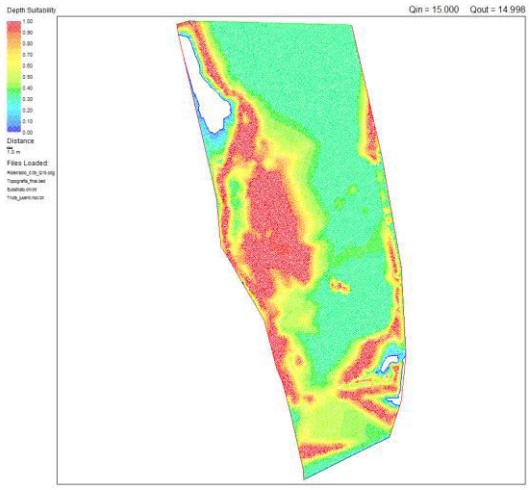


Fig. C. 211: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

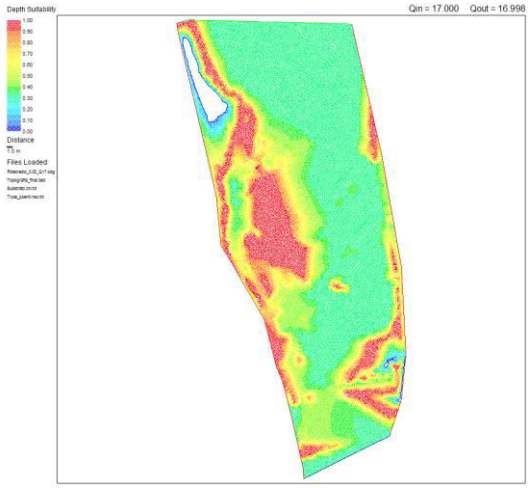


Fig. C. 212: Aptidão da **profundidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$

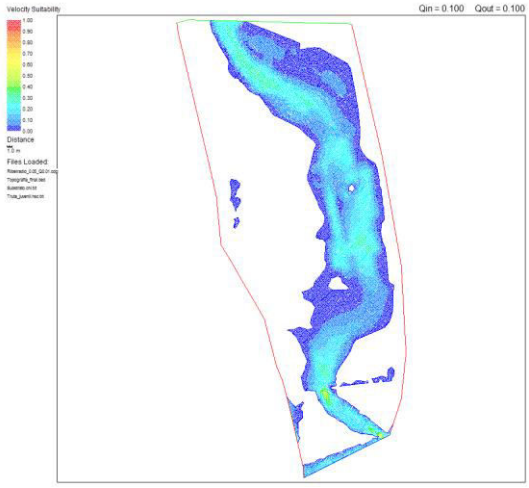


Fig. C. 213: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

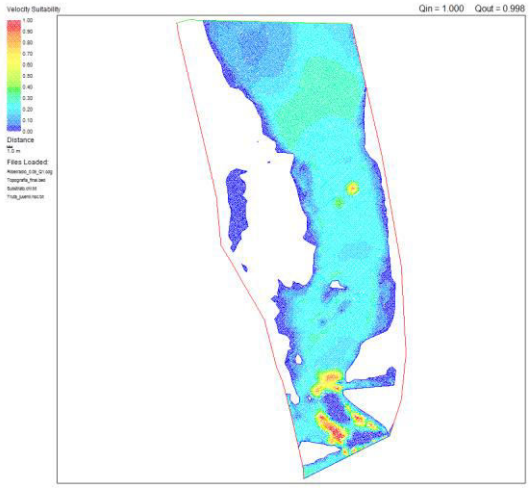


Fig. C. 214: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

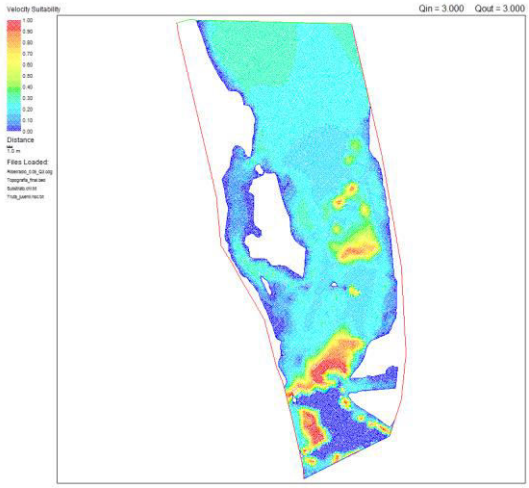


Fig. C. 215: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

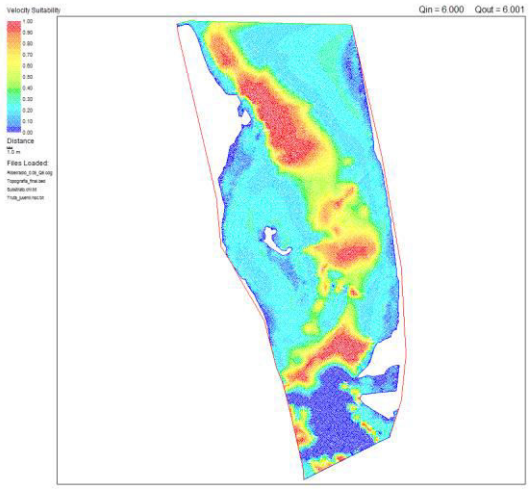


Fig. C. 216: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

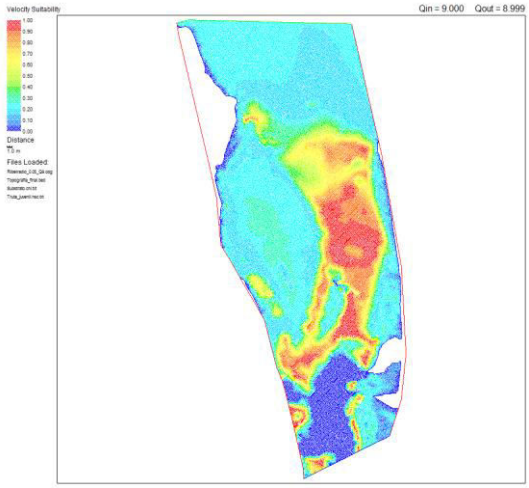


Fig. C. 217: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

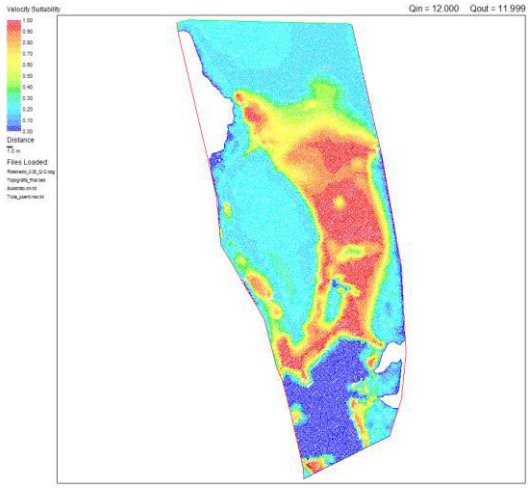


Fig. C. 218: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

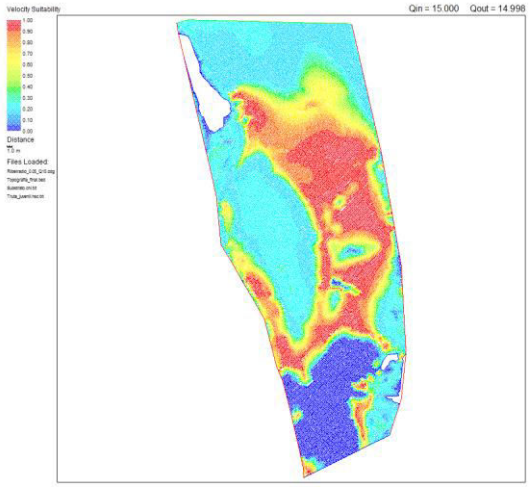


Fig. C. 219: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $\boldsymbol{Q = 15\ m^3/s}$

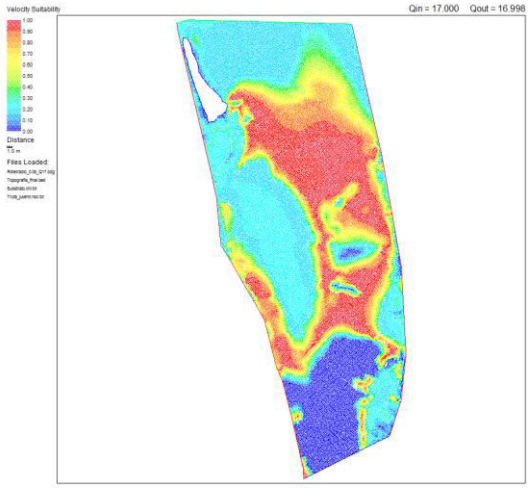


Fig. C. 220: Aptidão da **velocidade** à Truta (Juvenil) para um $\boldsymbol{Q = 17\ m^3/s}$

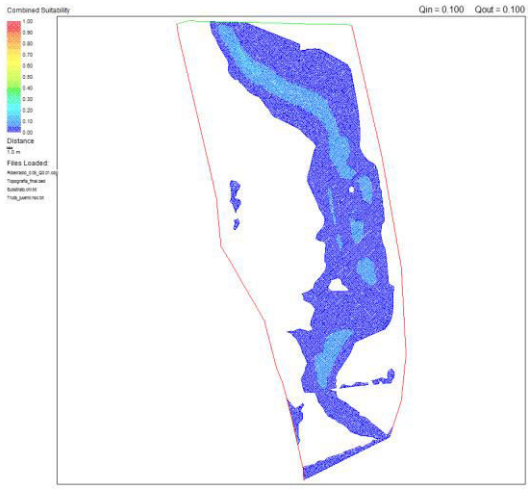


Fig. C. 221: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

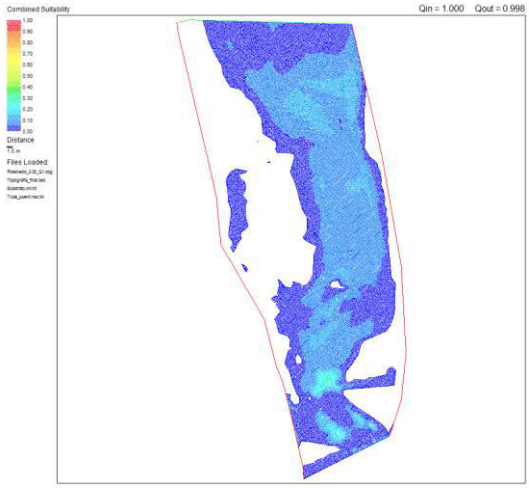


Fig. C. 222: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

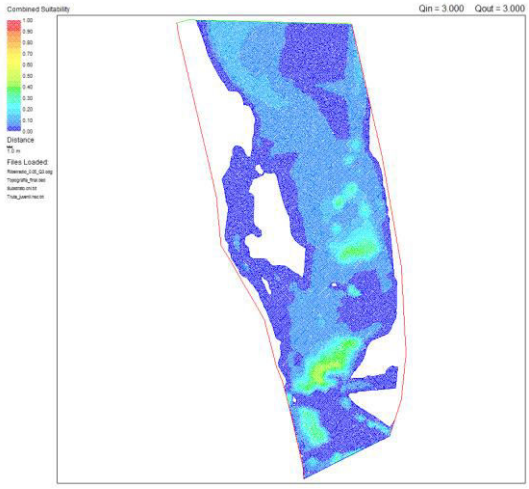


Fig. C. 223: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

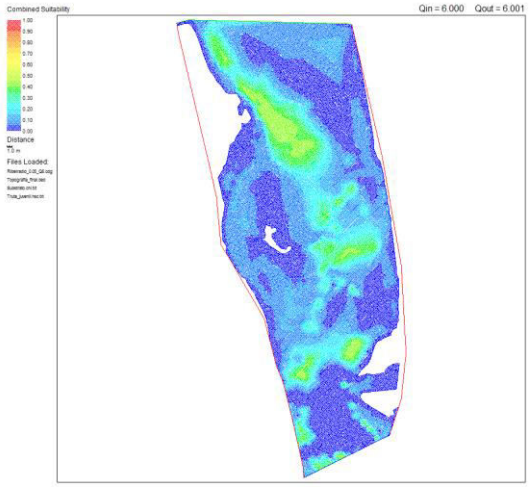


Fig. C. 224: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

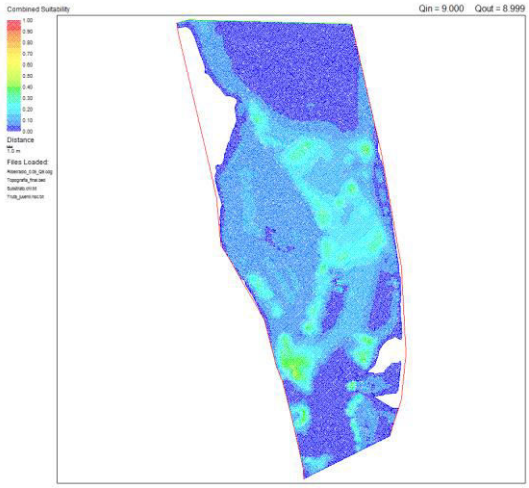


Fig. C. 225: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

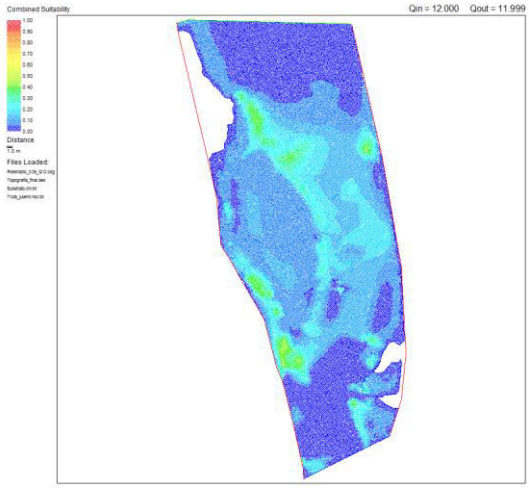


Fig. C. 226: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

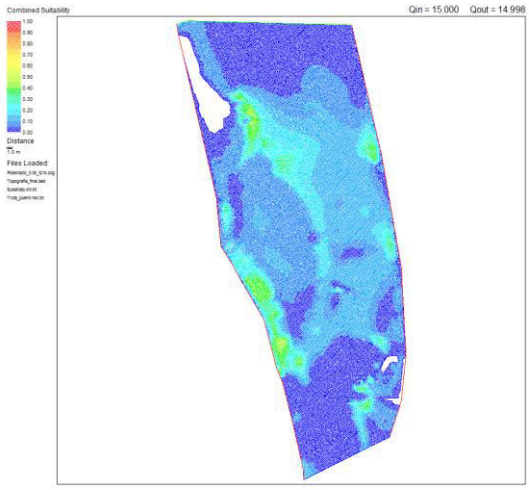


Fig. C. 227: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $\boldsymbol{Q = 15\ m^3/s}$

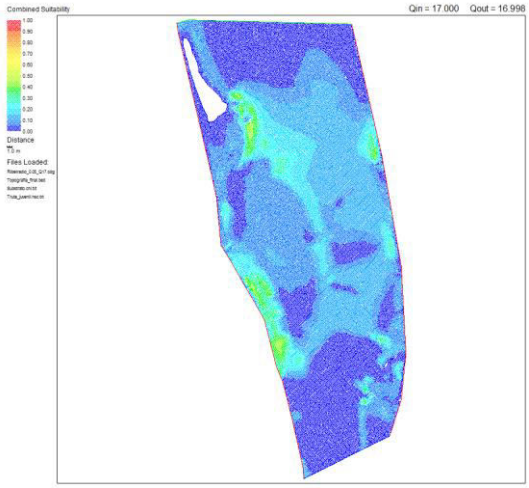


Fig. C. 228: Aptidão **combinada** para a Truta (Juvenil) para um $\boldsymbol{Q = 17\ m^3/s}$

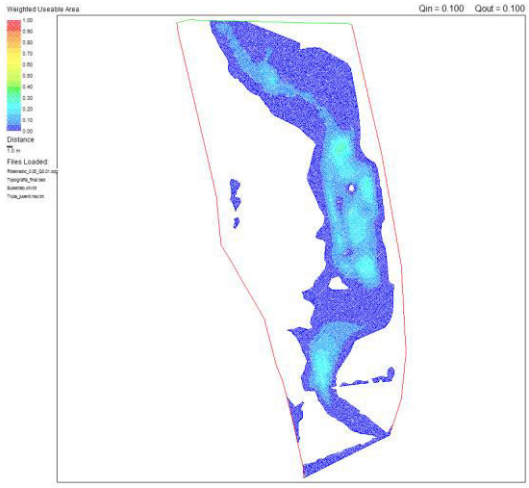


Fig. C. 229: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 0{,}1\ m^3/s$

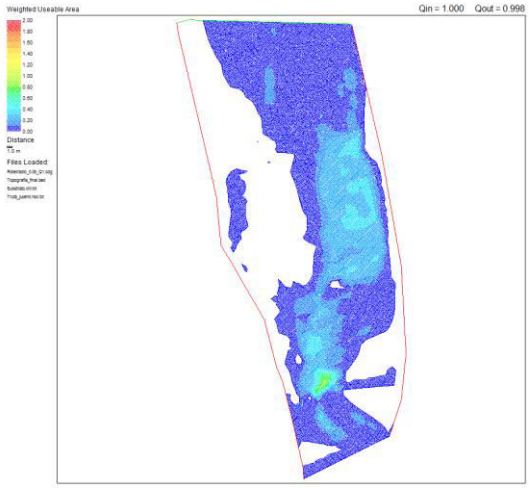


Fig. C. 230: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 1\ m^3/s$

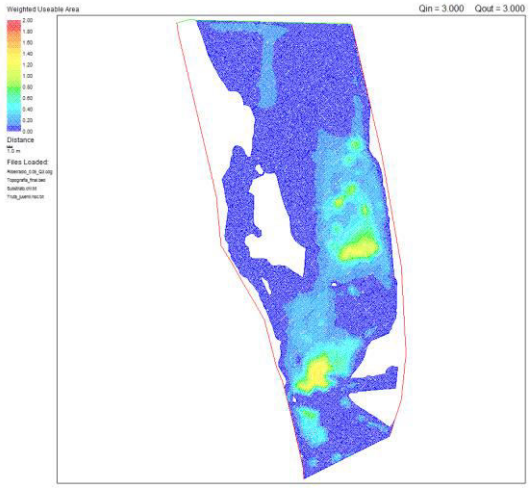


Fig. C. 231: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 3\ m^3/s$

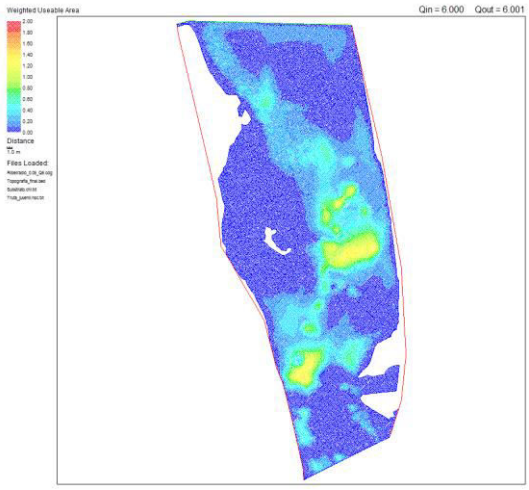


Fig. C. 232: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 6\ m^3/s$

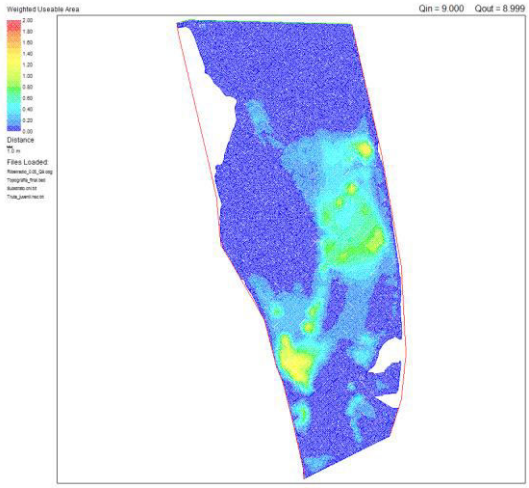


Fig. C. 233: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 9\ m^3/s$

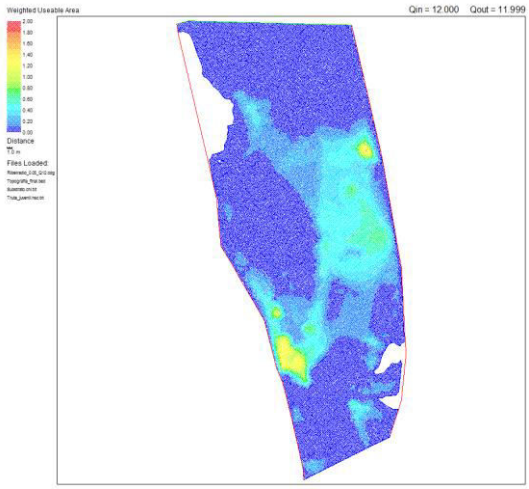


Fig. C. 234: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 12\ m^3/s$

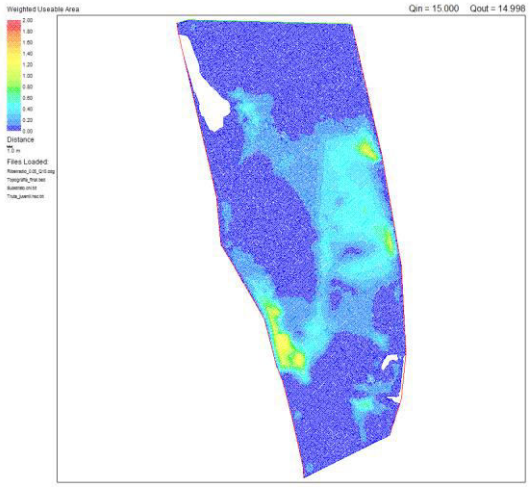


Fig. C. 235: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 15\ m^3/s$

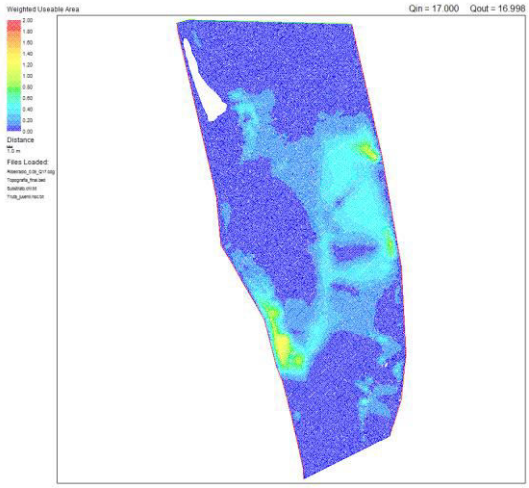


Fig. C. 236: **Superfície Ponderada Útil** para a Truta (Juvenil) para um $Q = 17\ m^3/s$