



# RT5

HIDROGRAFIA, HIDROSSEDIMENTOMETRIA  
E PROGNÓSTICOS

REVISÃO 02

PORTO ALEGRE, 21 DE AGOSTO DE 2020



## APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta o **RT5 - Hidrografia, hidrossedimentometria e prognósticos**, referente aos Serviços de elaboração de Zoneamento Ambiental para a Atividade de Mineração de Areia nos Cursos Médio e Baixo do Rio Jacuí.

O trabalho está orientado para atendimento do Termo de Referência do Processo Administrativo Eletrônico/PROA 17/0567-0001757-5.

Porto Alegre, 24 de agosto de 2020.



## INFORMAÇÕES GERAIS

---

### **a) Identificação do Projeto**

Zoneamento Ambiental - Atividade de Mineração de Areia nos Cursos Médio e Baixo do Rio Jacuí.

### **b) Empresa Consultora Contratada**

PROFILL Engenharia e Ambiente S.A.

Avenida Iguaçu, 451 – 6º andar – Petrópolis - Porto Alegre/RS

Fone: (51) 3211-3944

E-mail: [profill@profill.com.br](mailto:profill@profill.com.br)

### **c) Endereço para correspondência**

Avenida Iguaçu, 451 – 6º andar – Petrópolis - Porto Alegre/RS

Fone: (51) 3211-3944

E-mail: [patricia@profill.com.br](mailto:patricia@profill.com.br)



**d) Equipe Técnica Responsável**

<b>Nome</b>	<b>Formação</b>	<b>Registro</b>
Mauro Jungblut	Eng. Civil, Me.	CREA 77.501
Carlos Ronei Bortoli	Eng. Civil, Me.	CREA 93.660
Patrícia Luísa Cardoso	Eng. Civil, Me.	CREA 121.079
Sidnei Agra	Eng. Civil, Me.	CREA 103149
Juliana Jucélia Tonet	Arquiteta e Urbanista	CAU A41939-7
Daniel Pereira	Biólogo, Dr.	CRBio 28427-03
Juan Anza	Biólogo, Me.	CRBio 034805-03
Rodrigo Agra Balbuena	Biólogo, Me.	CRBio 08014-03
Willi Bruschi Junior	Biólogo, Dr.	CRBio 08459-03
André da Silva Scott Hood	Economista	CORECON 7493
Nilson Teixeira de Oliveira	Eng. Civil, Me.	CREA 125.231
André Bastos	Geólogo	CREA 93.626
André Luis Queiroz Araújo	Geógrafo	CREA 111.946
Isabel Rekowsky	Geógrafa, Me.	CREA 187.829
Guilherme Joaquim	Geógrafo	CREA 173.142
Pedro Souza	Geógrafo	CREA RS 169.380
Nilson Lopes	Sociólogo	-



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADCP	Perfilador de Corrente Acústico Doppler ( <i>Acoustic Doppler Current Profilers</i> )
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEPAC Civil	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
APAEDJ	Área de Proteção Ambiental Estadual Delta do Jacuí
APP	Área de Preservação Permanente
AVA-DANs	Avaliação de Danos
CBRO	Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos
CESA	Companhia Estadual de Silos e Armazéns
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração
CGBH	Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica
CGEO/CGTIG	Coordenação de Geoprocessamento
CNPM	Conselho Nacional de Política Mineral
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONGAPES	Conselho Gaúcho de Aquicultura e Pesca Sustentáveis
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
COPELMI	Companhia de Pesquisas e Lavras Minerais
COPELMI	Companhia Petroquímica do Sul
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CEPED	Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
Cs	Concentrações de Sedimentos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DIOUT	Divisão de Outorga e Fiscalização dos Recursos Hídricos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul
DISME/INMET	Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia
DMAE	Departamento de Água e Esgoto
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DOU	Diário Oficial da União
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
DUC	Divisão de Unidades de Conservação
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
Eletróbrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ETE	Estação Tratamento de Esgoto



FCP	Fundação Cultural Palmares
FEE	Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler
FESINPERS	Federação dos Sindicatos de Pescadores do Rio Grande do Sul
FIDE	Formulário de Informações sobre Desastres
FURG	Universidade Federal de Rio Grande
FZB	Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul
GM	Grupamentos Mineiros
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDESE	Índice de Desenvolvimento Socioeconômico
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INSS	Instituto Nacional de Seguro Social
IQA	Índice de Qualidade da Água
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
ISA	Instituto Socioambiental
IVAB	Indústria por percentual de potencial poluidor
LP	Licença Prévia
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LPI	Licença Prévia de Instalação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
METROPLAN	Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPA	Ministério da Pesca e Aquicultura
MPF	Ministério Público Federal
NOPRED	Notificação Preliminar de Desastre
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
PCA	Plano de Controle Ambiental
PEDJ	Parque Estadual do Delta do Jacuí
PHE	Plano Hidroviário Estratégico
PIB	Produto Interno Bruto
PK	Ponto Quilométrico
PERH-RS	Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
PROTEGER	Programa técnico para o gerenciamento da região metropolitana de Porto Alegre
Q	Vazão Líquida
Qsd	Descarga de Material em Suspensão Proveniente da Bacia Hidrográfica
Qsf	Descarga Sólida Transportada por Arrasto de Fundo
Qsl	Descarga de Material em Suspensão Proveniente do Leito do Rio
Qss	Descarga Sólida em Suspensão
RADAM	Projeto Radar da Amazônia



RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RCA	Relatório de Controle Ambiental
RGP	Registro Geral da Pesca
REBIO	Reserva Biológica
RIMA	Relatório de Impacto ambiental
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RTID	Relatório Técnico de Identificação e Delimitação
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SDR	Secretaria do Desenvolvimento Rural, Pesca e Cooperativismo
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
SINDUSCON-RS	Sindicato das Indústrias da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPH	Superintendência de Portos e Hidrovias
SUPRG	Superintendência do Porto de Rio Grande
SUREG-PA	Superintendência Regional de Porto Alegre da CPRM
TR	Termo de Referência
TI	Terra Indígena
TUP	Terminal de Uso Privado
UC	Unidades de Conservação
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UPG	Unidade de Planejamento e Gestão
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>
UTE	Usina Termelétrica
UTM	Universal Transversa de Mercator
VAB	Valor Adicionado Bruto



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>HIDROLOGIA</b>	<b>13</b>
3.1	Caracterização fisiográfica da bacia	13
3.2	Condições hidrológicas	16
3.3	Regionalização de vazão	17
3.3.1	Estações fluviométricas	17
3.3.2	Metodologia	20
3.3.3	Resultados da regionalização	23
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS</b>	<b>34</b>
4.1	Granulometria das Seções	34
4.2	Curvas-chave de Sedimento	46
4.3	Aporte de Sedimentos	50
<b>5</b>	<b>MODELO HIDRODINÂMICO</b>	<b>51</b>
5.1	Descrição do Modelo	51
5.1.1	Modulo Hidráulico (perfil de linha d'água)	51
5.1.2	Módulo de Transporte de Sedimentos	54
5.2	Elaboração do MNT (Modelo Numérico do Terreno)	59
5.2.1	Dados para representação da calha do Rio Jacuí	59
5.2.2	Dados para representação do entorno (margens)	60
5.2.3	Modelo Numérico do Terreno (MNT)	60
5.3	Cenários Considerados na Simulação	63
5.3.1	Cenário 1	63
5.3.2	Cenário 2	63
5.4	Simulação Hidrodinâmica	66
5.4.1	Elaboração do modelo no HEC-RAS	66
5.4.2	Condições de contorno	68
5.4.3	Calibração do modelo	73
5.4.4	Volumes de sedimentos: taxas de transporte de sedimento	77
<b>6</b>	<b>RESULTADOS DA SIMULAÇÃO</b>	<b>79</b>
6.1	Cenário 1	79
6.1.1	Perfil longitudinal	79
6.1.2	Seções topobatimétricas	88
6.1.3	Alteração do leito (planta baixa)	108
6.1.4	Velocidade de escoamento (planta baixa)	108
6.2	Cenário 2	111
6.2.1	Perfil longitudinal	111
6.2.2	Seções topobatimétricas	120
6.2.3	Alteração do leito (planta baixa)	141
6.2.4	Velocidade de escoamento (planta baixa)	141
6.3	Análise comparativa	144
6.3.1	Alteração do leito nas seções	144
6.3.2	Velocidade de escoamento	144
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>148</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>150</b>





## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Postos Fluviométricos selecionados para o estudo de regionalização. ....	17
Quadro 3.2 – Vazões Qmlt e variação sazonal.....	23
Quadro 3.3 – Estações Fluviométricas utilizadas no ajuste do modelo de regressão linear. ....	24
Quadro 3.4 – Comparativo das Qmlt calc. e Qmlt observ. para as sub-bacias.....	24
Quadro 3.5 – Variáveis Explicativas das sub-bacias para Qmlt estimada. ....	25
Quadro 3.6 – Resultado da estimativa da vazão Qmlt para sub-bacias.....	28
Quadro 3.7 – Estações fluviométricas utilizadas para a regressão da sub-bacia Vacacaí. ....	29
Quadro 3.8 – Comparativo das Qmlt calculada e Qmlt observada - sub-bacia Vacacaí.....	29
Quadro 3.9 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia do Rio Vacacaí.....	30
Quadro 3.10 – Estações fluviométricas utilizadas para a regressão da sub-bacia Rio Pardo. ....	30
Quadro 3.11 – Comparativo das Qmlt calculada e Qmlt observada - sub-bacia Rio Pardo.....	30
Quadro 3.12 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia do Rio Pardo. ....	31
Quadro 3.13 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia do Taquari. ....	31
Quadro 3.14 – Vazões específicas das estações a montante do Rio Jacuí.....	31
Quadro 3.15 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia a montante do Rio Jacuí.....	32
Quadro 3.16 – Vazão Específica utilizada para o sub-bacias laterais.....	32
Quadro 3.17 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia com contribuição lateral. ....	32
Quadro 3.18 – Resumo das vazões Qmlt e das vazões mensais para todas sub-bacias analisadas. ....	33
Quadro 4.1 – Distribuição das curvas de sedimento (estações) nas sub-bacias. ....	50
Quadro 5.1 – IC adotados para simulação de sedimentos. ....	68
Quadro 5.2 – Níveis médios da Estação Harmonia – condição de jusante.....	69
Quadro 5.3– Profundidades máximas de erosão das seções de referências. ....	72
Quadro 5.4 – Valores da razão e do ID. ....	76
Quadro 5.5 – Aporte de Sedimentos Rio Jacuí (trecho a montante) e afluentes. ....	77
Quadro 5.6 – Taxas de transporte de sedimentos para o trecho do Rio Jacuí em estudo. ....	77
Quadro 5.7 – Taxas de transporte de sedimentos acumuladas para os cenários 1 e 2. ....	78



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Comparativo entre as vazões do levantamento de campo e as vazões médias .....	16
Figura 3.2 – Vazão média mensal adimensional da estação cód. 85630000 .....	26
Figura 3.3 – Vazão média mensal adimensional da estação cód.85730000 .....	26
Figura 3.4 – Vazão média mensal adimensional da estação cód.85850000 .....	27
Figura 4.1 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 1.....	34
Figura 4.2 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 2.....	35
Figura 4.3 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 3.....	35
Figura 4.4 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 4.....	36
Figura 4.5 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 5.....	36
Figura 4.6 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 6.....	37
Figura 4.7 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 7.....	37
Figura 4.8 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 8.....	38
Figura 4.9 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 9.....	38
Figura 4.10 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 10.....	39
Figura 4.11 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 11.....	39
Figura 4.12 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 12.....	40
Figura 4.13 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 14.....	40
Figura 4.14 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 15.....	41
Figura 4.15 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 16.....	41
Figura 4.16 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 17.....	42
Figura 4.17 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 18.....	42
Figura 4.18 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 20.....	43
Figura 4.19 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 21.....	43
Figura 4.20 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 22.....	44
Figura 4.21 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 23.....	44
Figura 4.22 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 24.....	45
Figura 4.23 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 25.....	45
Figura 4.24 – Curvas de Sedimento – Estação Dona Francisca (Rio Jacuí – montante). .....	47
Figura 4.25 – Curvas de Sedimento – Estação Passo das Tunas (Rio Vacacaí). .....	48
Figura 4.26 – Curvas de Sedimento – Estação Rio Pardo (Rio Jacuí).....	48
Figura 4.27 – Curvas de Sedimento – Estação Candelária (Rio Pardo) .....	49
Figura 4.28 – Curvas de Sedimento – Estação Muçum (Rio Taquari) .....	49
Figura 4.29 – Curvas de Sedimento – Estação São Sepé (Rio São Sepé).....	50
Figura 5.1– Representação dos termos da equação de energia (HEC-RAS, 2016).....	52
Figura 5.2 – Subdivisão das seções - cálculo da condutância (HEC-RAS, 2016) .....	52
Figura 5.3 – Diagrama de corpo livre (Fonte: USACE, 2016a).....	57
Figura 5.4 – Exemplo da seção alterada – critério (iv).....	64
Figura 5.5 – Exemplo da seção alterada - critério (v) .....	64
Figura 5.6 – Diagrama Unifilar Ortogonal para simulação do trecho do Rio Jacuí.....	70
Figura 5.7 – Croqui com localidades do trecho do Rio Jacuí, utilizado na simulação.....	71
Figura 5.8 – Perfil da linha d’água – calibração do coeficiente de Manning. ....	74
Figura 6.1 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – Cenário 1.....	80
Figura 6.2 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 0 a 40 km, Cenário 1.....	81
Figura 6.3 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 40 a 80 km, Cenário 1.....	82
Figura 6.4 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 80 a 120 km, Cenário 1.....	83
Figura 6.5 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 120 a 160 km, Cenário 1.....	84
Figura 6.6 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 160 a 200 km, Cenário 1.....	85
Figura 6.7 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 200 a 240 km, Cenário 1.....	86
Figura 6.8 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 240 a 261 km, Cenário 1.....	87
Figura 6.9 – Seção Transversal S1, Cenário 1.....	88
Figura 6.10 – Seção Transversal S2, Cenário 1.....	89
Figura 6.11 – Seção Transversal S3, Cenário 1.....	89
Figura 6.12 – Seção Transversal S4, Cenário 1.....	90
Figura 6.13 – Seção Transversal S5, Cenário 1.....	90
Figura 6.14 – Seção Transversal S6, Cenário 1.....	91



Figura 6.15 – Seção Transversal S7, Cenário 1.....	91
Figura 6.16 – Seção Transversal S8, Cenário 1.....	92
Figura 6.17 – Seção Transversal S9, Cenário 1.....	93
Figura 6.18 – Seção Transversal S9, com escala aumentada, Cenário 1.....	93
Figura 6.19 – Seção Transversal S10, Cenário 1.....	94
Figura 6.20 – Seção Transversal S10, com escala aumentada, Cenário 1.....	94
Figura 6.21 – Seção Transversal S11, Cenário 1.....	95
Figura 6.22 – Seção Transversal S11, com escala aumentada, Cenário 1.....	95
Figura 6.23 – Seção Transversal S12, Cenário 1.....	96
Figura 6.24 – Seção Transversal S12, com escala aumentada, Cenário 1.....	96
Figura 6.25 – Seção Transversal S13, Cenário 1.....	97
Figura 6.26 – Seção Transversal S13, com escala aumentada, Cenário 1.....	97
Figura 6.27 – Seção Transversal S14, Cenário 1.....	98
Figura 6.28 – Seção Transversal S14, com escala aumentada, Cenário 1.....	98
Figura 6.29 – Seção Transversal S15, Cenário 1.....	99
Figura 6.30 – Seção Transversal S15, com escala aumentada, Cenário 1.....	99
Figura 6.31 – Seção Transversal S16, Cenário 1.....	100
Figura 6.32 – Seção Transversal S17, Cenário 1.....	100
Figura 6.33 – Seção Transversal S18, Cenário 1.....	101
Figura 6.34 – Seção Transversal S18, com escala aumentada, Cenário 1.....	101
Figura 6.35 – Seção Transversal S19, Cenário 1.....	102
Figura 6.36 – Seção Transversal S19, com escala aumentada, Cenário 1.....	102
Figura 6.37 – Seção Transversal S20, Cenário 1.....	103
Figura 6.38 – Seção Transversal S20, com escala aumentada, Cenário 1.....	103
Figura 6.39 – Seção Transversal S21, Cenário 1.....	104
Figura 6.40 – Seção Transversal S22, Cenário 1.....	104
Figura 6.41 – Seção Transversal S23, Cenário 1.....	105
Figura 6.42 – Seção Transversal S23, com escala aumentada, Cenário 1.....	105
Figura 6.43 – Seção Transversal S24, Cenário 1.....	106
Figura 6.44 – Seção Transversal S24, com escala aumentada, Cenário 1.....	106
Figura 6.45 – Seção Transversal S25, Cenário 1.....	107
Figura 6.46 – Seção Transversal S25, com escala aumentada, Cenário 1.....	107
Figura 6.47 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – Cenário 2.....	112
Figura 6.48 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 0 a 40 km, Cenário 2.....	113
Figura 6.49 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 40 a 80 km, Cenário 2.....	114
Figura 6.50 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 80 a 120 km, Cenário 2.....	115
Figura 6.51 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 120 a 160 km, Cenário 2.....	116
Figura 6.52 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 160 a 200 km, Cenário 2.....	117
Figura 6.53 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 200 a 240 km, Cenário 2.....	118
Figura 6.54 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 240 a 261 km, Cenário 2.....	119
Figura 6.55 – Seção Transversal S1, Cenário 2.....	120
Figura 6.56 – Seção Transversal S2, Cenário 2.....	120
Figura 6.57 – Seção Transversal S3, Cenário 2.....	121
Figura 6.58 – Seção Transversal S4, Cenário 2.....	121
Figura 6.59 – Seção Transversal S5, Cenário 2.....	122
Figura 6.60 – Seção Transversal S6, Cenário 2.....	122
Figura 6.61 – Seção Transversal S7, Cenário 2.....	123
Figura 6.62 – Seção Transversal S7, com escala aumentada, Cenário 2.....	123
Figura 6.63 – Seção Transversal S8, Cenário 2.....	124
Figura 6.64 – Seção Transversal S9, Cenário 2.....	124
Figura 6.65 – Seção Transversal S9, com escala aumentada, Cenário 2.....	125
Figura 6.66 – Seção Transversal S10, Cenário 2.....	125
Figura 6.67 – Seção Transversal S10, com escala aumentada, Cenário 2.....	126
Figura 6.68 – Seção Transversal S11, Cenário 2.....	126
Figura 6.69 – Seção Transversal S11, com escala aumentada, Cenário 2.....	127
Figura 6.70 – Seção Transversal S12, Cenário 2.....	127
Figura 6.71 – Seção Transversal S12, com escala aumentada, Cenário 2.....	128



Figura 6.72 – Seção Transversal S13, Cenário 2 .....	128
Figura 6.73 – Seção Transversal S13, com escala aumentada, Cenário 2 .....	129
Figura 6.74 – Seção Transversal S14, Cenário 2 .....	129
Figura 6.75 – Seção Transversal S14, com escala aumentada, Cenário 2 .....	130
Figura 6.76 – Seção Transversal S15, Cenário 2 .....	130
Figura 6.77 – Seção Transversal S15, com escala aumentada, Cenário 2 .....	131
Figura 6.78 – Seção Transversal S16, Cenário 2 .....	131
Figura 6.79 – Seção Transversal S16, com escala aumentada, Cenário 2 .....	132
Figura 6.80 – Seção Transversal S17, Cenário 2 .....	132
Figura 6.81 – Seção Transversal S17, com escala aumentada, Cenário 2 .....	133
Figura 6.82 – Seção Transversal S18, Cenário 2 .....	133
Figura 6.83 – Seção Transversal S18, com escala aumentada, Cenário 2 .....	134
Figura 6.84 – Seção Transversal S19, Cenário 2 .....	134
Figura 6.85 – Seção Transversal S19, com escala aumentada, Cenário 2 .....	135
Figura 6.86 – Seção Transversal S20, Cenário 2 .....	135
Figura 6.87 – Seção Transversal S20, com escala aumentada, Cenário 2 .....	136
Figura 6.88 – Seção Transversal S21, Cenário 2 .....	136
Figura 6.89 – Seção Transversal S22, Cenário 2 .....	137
Figura 6.90 – Seção Transversal S23, Cenário 2 .....	137
Figura 6.91 – Seção Transversal S23, com escala aumentada, Cenário 2 .....	138
Figura 6.92 – Seção Transversal S24, Cenário 2 .....	138
Figura 6.93 – Seção Transversal S24, com escala aumentada, Cenário 2 .....	139
Figura 6.94 – Seção Transversal S25, Cenário 2 .....	139
Figura 6.95 – Seção Transversal S25, com escala aumentada, Cenário 2 .....	140

## LISTA DE MAPAS

Mapa 3.1 – Delimitação das sub-bacias e principais afluentes. ....	15
Mapa 3.2 – Localização dos postos fluviométricos na Bacia do Rio Jacuí. ....	19
Mapa 5.1 – Modelo Numérico do Terreno para o trecho em estudo do Rio Jacuí. ....	62
Mapa 5.2 – Áreas de mineração em que foi alterada as seções .....	65
Mapa 5.3 – Representação do trecho do Rio Jacuí no HEC-RAS. ....	67
Mapa 6.1 – Variação do leito entre as seções, Cenário 1 .....	109
Mapa 6.2 – Velocidade de escoamento ao longo do Rio Jacuí, Cenário 1 .....	110
Mapa 6.3 – Variação do leito entre as seções, Cenário 2 .....	142
Mapa 6.4 – Velocidade de escoamento ao longo do Rio Jacuí, Cenário 2 .....	143
Mapa 6.5 – Análise comparativa da variação do leito entre as seções. ....	146
Mapa 6.6 – Velocidade de escoamento, diferença entre o Cenário 2 e o Cenário 1. ....	147



## 1 INTRODUÇÃO

A Profill Engenharia e Ambiente apresenta o Relatório Técnico 5 denominado **RT5 - Hidrografia, hidrossedimentometria e prognósticos**, no âmbito do serviço de elaboração do Zoneamento Ambiental para a Atividade de Mineração de Areia nos Cursos Médio e Baixo do Rio Jacuí/RS.

A seguir, é feito um breve relato do conteúdo abordado em cada capítulo:

- O Capítulo 2 apresenta os principais objetivos do estudo da modelagem hidrológica.
- O Capítulo 3 apresenta as condições hidrológicas, a caracterização fisiográfica da bacia e o estudo de regionalização das vazões utilizadas na modelagem.
- O Capítulo 4 apresenta a caracterização granulométrica das seções de referência e as curvas-chave de sedimento das estações escolhidas para o estudo.
- O Capítulo 5 apresentado a simulação hidrodinâmica, com uma breve descrição do modelo, elaboração do modelo no HEC-RAS, condições de contorno, cenários adotados e os volumes de aporte de sedimentos adotados e resultantes da simulação.
- O Capítulo 6 apresenta os resultados em forma gráfica com relação a variação do leito e dos padrões de velocidades para os dois cenários simulados
- O Capítulo 7 apresenta as considerações finais do resultado da modelagem.



## 2 OBJETIVOS

Os principais objetivos do estudo da modelagem hidrológica são os seguintes:

- i). Mostrar os padrões de escoamento (velocidades e nível d'água) no trecho do Rio Jacuí em estudo, quando submetido as condições hidrológicas simuladas;
- ii). Estimar o aporte de sedimentos ao trecho de interesse (Rio Jacuí), considerando as contribuições de montante e dos afluentes;
- iii). Avaliar o comportamento das seções topobatimétricas, ao longo da simulação, com relação as variações do leito, classificando os trechos como “deposição”, “erosão” ou “sem alteração”;
- iv). Avaliar as alterações nos padrões de escoamento e no comportamento das seções, resultantes de um cenário quando alteradas pela mineração.

## 3 HIDROLOGIA

Neste item é apresentada a caracterização da bacia, as condições hidrológicas adotadas e a regionalização das vazões para serem empregadas no modelo hidrodinâmico.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA

A delimitação das sub-bacias e da caracterização da rede hidrográfica e altimetria da área de estudo, referente ao trecho de aproximadamente 246 km do Rio Jacuí, entre a Barra do Rio Vacacaí e a foz do Rio Jacuí foi realizada a partir de trabalhos já consolidados na base cartográfica disponível para o Estado. Dentre esses trabalhos, pode-se citar o Plano da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, cujos cursos médio e baixo do Rio Jacuí, objeto deste estudo, já se encontram integralmente inseridos nesta bacia, o Zoneamento Ambiental da Silvicultura – Diretrizes da Silvicultura por Unidade de Paisagem e Bacia Hidrográfica (SEMA, 2010), a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul (Hasenack, H.; Weber, E.(org.) e o Projeto de Estruturação do Desenvolvimento Hidroviário no Rio Grande do Sul (Hidrovia Brasil – Uruguai) SEINFRA/DNIT. No Mapa 3.1 é apresentada a delimitação das sub-bacias e seus principais afluentes.



De acordo com a delimitação das sub-bacias e seus principais afluentes, foram definidas 14 sub-bacias com contribuição pontual (Rio Jacuí – trecho montante, Rio Vacacaí, Rio Irapuã, Arroio Capané, Rio Botucaraí, Arroio Iruí, Arroio Dom Marco, Arroio Tabatingai, Rio Pardo, Arroio Capivari, Arroio Francisquinho, Arroio do Conde, Rio Taquari e Arroio dos Ratos e; 6 sub-bacias com contribuição lateral. Com relação as sub-bacias com tipo de contribuição lateral, a delimitação foi adaptada do Plano da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, ou seja, foi realizada uma subdivisão destas sub-bacias afim de facilitar a inserção de dados no modelo hidrodinâmico.



**LEGENDA**

- Sede municipal
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- Sub-bacias afluentes (Unidades de Planejamento)
- Bacia do Baixo Jacuí
- Limite municipal

Elaboração  
**PROFILL**

RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS

Contratação e fiscalização  
**Fepam**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: 1:1.400.000

**Mapa 3.1 – Delimitação das sub-bacias e principais afluentes**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Rodovia: SEMARS (2018)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Sub-bacias e bacia: DRH/SEMA (2015)





### 3.2 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS

As simulações hidrodinâmicas e de sedimentos foram realizadas considerando o escoamento decorrente de condições hidrológicas médias, ou seja, a partir dos dados de vazões médias (no Jacuí e afluentes) e considerando a sazonalidade do regime hidrológico da bacia, foi gerado um hidrograma sintético de vazões médias mensais, com duração de um ano. Mais detalhes sobre este procedimento estão descritos no item 3.3, relativo à Regionalização de Vazões, a seguir.

A escolha por utilizar condições hidrológicas médias se deu em função da disponibilidade dos dados de granulometria, que foram levantados nas campanhas de campo deste trabalho. Trata-se de um parâmetro bastante sensível na simulação do transporte de sedimentos, e não há disponibilidade de informações granulométricas para eventos extremos (máximos e mínimos).

Quando comparadas com as duas campanhas de campo (1ª campanha: janeiro – março; 2ª campanha: outubro – dezembro), observa-se que os dados de vazões médias (utilizados nas simulações) são similares aos resultados da 2ª campanha. Na Figura 3.1, apresenta-se tal comparativo, indicando tal semelhança em quase todas as seções de referência, com exceção da seção 1, na qual o valor medido é superior, provavelmente atribuído a efeito de remanso do lago Guaíba próximo a foz do Rio Jacuí.

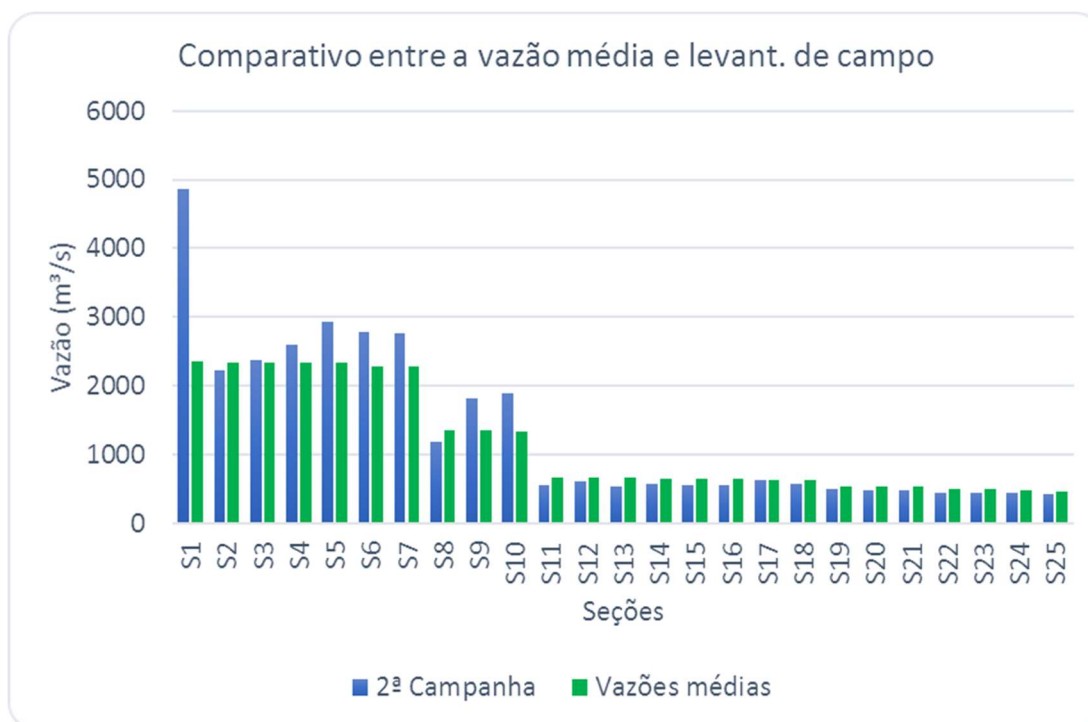


Figura 3.1 – Comparativo entre as vazões do levantamento de campo e as vazões médias



Por outro lado, há a hipótese de que os cenários extremos de cheia e estiagem, geram uma compensação de efeitos, tornando-se semelhantes ao cenário médio, ou seja, as vazões altas ocasionam alto aporte de sedimentos e, ao mesmo tempo, alta capacidade de transporte, já para as vazões baixas, verifica-se baixo aporte de sedimentos e baixa capacidade de transporte.

### 3.3 REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO

O estudo de zoneamento ambiental de ocorrência de areia para mineração nas calhas baixa e média do Rio Jacuí envolve em seu escopo a modelagem numérica hidrodinâmica e hidrossedimentológica do rio. Tais simulações podem obter tão satisfatórios resultados quanto confiáveis forem os dados de entrada e condições de contorno. A disposição média de sedimentos em quantidade e granulometria, ao longo do tempo e espaço na calha do rio, pode ser modelada a partir de leis hidrodinâmicas ao submeter-se o rio a sua vazão média de longo termo (Q<sub>mlt</sub>).

A fim de adquirir a Q<sub>mlt</sub> do Rio Jacuí e de seus tributários ao longo da extensão de interesse, foram inventariadas as estações fluviométricas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí, conforme apresentadas no item 3.3.1. A partir dessas estações foram determinadas as vazões Q<sub>mlt</sub> para cada estação e de posse desses dados pode-se ter uma razoável noção da Q<sub>mlt</sub> na calha principal do rio, bem como de sua variação ao longo do ano. Nos tópicos seguintes são descritos com mais detalhes a obtenção dessas vazões assim como também a metodologia aplicada.

#### 3.3.1 Estações fluviométricas

As estações fluviométricas utilizadas no estudo foram obtidas no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (Hidroweb), dentre as quais foram escolhidos 17 postos fluviométricos. No Quadro 3.1 são apresentadas as características desses postos e no Mapa 3.2 são apresentadas a localização na bacia.

Quadro 3.1 – Postos Fluviométricos selecionados para o estudo de regionalização.

Código	Nome da estação	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Município	Operadora
85400000	Dona Francisca	14000	DONA FRANCISCA	ANA
85438000	Restinga Seca	932	RESTINGA SECA	FEPAM-RS
85460000	Santa Brigida	753	SANTA BRÍGIDA	ANA
85470000	Ponte São Gabriel	956	SÃO GABRIEL	CPRM
85480000	Passo do Rocha	2970	SÃO GABRIEL	CPRM
85600000	Passo das Tunas	6780	FORMIGUEIRO	CPRM
85610000	Passo dos Freires	62	SÃO SEPÉ	CPRM



<b>Código</b>	<b>Nome da estação</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Município</b>	<b>Operadora</b>
85615000	Passo do Lajeado	69	CAÇAPAVA DO SUL	ANA
85623000	São Sepé (montante)	690	SÃO SEPÉ	CPRM
85630000	Passo São Sepé	743	SÃO SEPÉ	ANA
85642000	Passo São Lourenço	27300	CACHOEIRA DO SUL	CPRM
85730000	Passo Linha do Rio	1220	CANDELÁRIA	CPRM
85740000	Candelária	1370	CANDELÁRIA	CPRM
85830000	Santa Cruz (montante)	805	SANTA CRUZ DO SUL	CPRM
85850000	Santa Cruz	909	SANTA CUZ DO SUL	ANA
85900000	Rio Pardo	387000	RIO PARDO	ANA
86895000	Porto Mariante	24600	VENÂNCIO AIRES	CPRM



**LEGENDA**

- Sede municipal
- ▲ Estações Fluviométricas
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- Sub-bacias afluentes (Unidades de Planejamento)
- Bacia do Baixo Jacuí
- Limite municipal

Elaboração: **PROFILL** Contratação e fiscalização: **Fepam**

**RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: 1:1.400.000

**Mapa 3.2 - Localização dos postos fluviométricos**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Rodovia: SEMARS (2018)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Sub-bacias e bacia: DRH/SEMA (2015)  
- Postos Fluviométricos: ANA



### 3.3.2 Metodologia

A escolha dos métodos empregados no estudo de regionalização foi realizada a partir da classificação das sub-bacias em dois grupos: as sub-bacias com monitoramento de vazão e as sub-bacias sem monitoramento, isto porque nos trechos dos cursos médio e baixo do Rio Jacuí, a densidade de monitoramento é visivelmente mais expressivo na região norte do que na região sul.

Para as sub-bacias sem monitoramento foi escolhida a regionalização por regressão múltipla das variáveis explicativas, tais como: área de contribuição, comprimento do rio principal, a diferença de altitudes da nascente até a foz do rio principal, comprimento total de drenagem na bacia, o perímetro da bacia e a circularidade (razão entre a área e o perímetro da bacia). Já para as sub-bacias que contam com algum monitoramento fluviométrico, o método escolhido foi a regionalização por vazão específica. Além desses métodos escolhidos, foi aplicado também o conceito de vazão sazonal adimensional, ou seja, a razão entre a vazão média referente a cada mês e a  $Q_{mlt}$  da estação, que é variável ao longo do ano, a fim de estimar o comportamento sazonal da  $Q_{mlt}$  da bacia do Rio Jacuí. A seguir é apresentada uma breve descrição desses métodos escolhidos para regionalização da vazão.

#### 3.3.2.1 Regressão linear múltipla

A regionalização de vazões por regressão múltipla pressupõe o princípio de que, em uma região hidrológicamente homogênea, existirão correlações entre as ocorrências de vazões e variáveis explicativas independentes, tais como características climáticas e geomorfológicas da região de contribuição. Este método limita-se a modelar, em bacias não monitoradas, vazões específicas, como por exemplo a vazão média ou vazão de uma determinada probabilidade de ocorrer ou ser superada. Tradicionalmente, utiliza-se este método em casos que se necessita de praticidade e rapidez nos cálculos das estimativas, dada sua simplicidade. Esta metodologia se mostra interessante nas comuns situações em que a rede de monitoramento hidrológico não contempla boa parte da hidrografia de uma determinada região.

Métodos de regionalização relacionam vazões com as variáveis explicativas a partir de uma série de modelos algébricos, como o modelo linear, potencial, exponencial, logarítmico, entre outros. Neste estudo, o modelo utilizado foi o linear, que segundo SOUSA (2009) pode ser aplicado em regionalizações de vazões



médias, máximas, mínimas bem como para a curva de permanência. O modelo linear é descrito na forma da Equação 3.1, onde  $X_i$  são as variáveis explicativas com que relacionaremos as vazões a serem regionalizadas e  $B_i$  são coeficientes calibráveis.

$$Q = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots + B_nX_n \quad \text{Equação 3.1}$$

Os coeficientes  $B_i$  são ajustados a partir do conjunto de vazões observadas, utilizando como critério o conceito de soma dos erros quadrados (SEQ). Variando estes coeficientes, procura-se minimizar o somatório da Equação 3.2 e, desta forma, ajustar o modelo de regionalização aproximando-o aos dados observados. Por fim, pressupondo que as sub-bacias não monitoradas são suficientemente similares às monitoradas, isto é, hidrologicamente homogêneas, entende-se que o modelo calibrado estimará satisfatoriamente as vazões nas regiões de interesse.

$$SEQ = \sum_{i=0}^{i=n} (Q_{i,obs} - Q_{i,calc})^2 \quad \text{Equação 3.2}$$

A regressão linear neste estudo foi feita com a ferramenta solver do Microsoft Excel, onde se variou os coeficientes do modelo e se definiu como objetivo a minimização da função de SEQ. Ao aplicar o método de regressão linear múltipla se optou por desconsiderar da calibração dos coeficientes as estações localizadas na calha do rio Jacuí (85400000, 85642000 e 85900000). Admitiu-se que as regiões de contribuição destas estações seriam demasiadamente maiores do que as demais sub-bacias. De fato, após a mudança foram obtidos valores menores de SEQ se comparado à regressão considerando os postos. Obteve-se, portanto, resultados mais satisfatórios e um modelo de vazão melhor ajustado à faixa de características das sub-bacias de interesse.

### 3.3.2.2 Vazão específica

Nas sub-bacias onde há monitoramento, a estimativa de vazão é fundamentada na suposição de que a vazão específica observada nos postos fluviométricos se mantém aproximadamente constante até a foz da respectiva sub-bacia. Nos casos onde houve mais do que um posto fluviométrico dentro de uma mesma sub-bacia, a vazão específica utilizada foi calculada como sendo a média das vazões específicas ponderadas pelas suas respectivas áreas de contribuição monitoradas.

$$q_{esp} = \frac{Q_{mlt}}{A} \quad \text{Equação 3.3}$$



onde  $q_{esp}$  é a vazão específica ( $m^3/s.km^2$ ),  $Q_{mlt}$  é a vazão de longo termo ( $m^3/s$ ) e  $A$  é a área de contribuição da bacia ( $km^2$ ).

Com relação as sub-bacias de contribuição lateral, a estimativa foi realizada a partir da  $Q_{mlt}$  da estação de Rio Pardo (cod.: 85900000), localizada no Rio Jacuí, na qual foram subtraídas as  $Q_{mlt}$  das sub-bacias tributárias pontuais, previamente estimadas. O resultado dessa subtração corresponde a parcela da vazão que não foi entregue a calha do rio pelos tributários adjacentes, sendo, portanto, entregue ao rio em contribuições laterais. Da mesma forma que foram feitas as estimativas de vazão na foz das sub-bacias monitoradas, foi aceita a hipótese de que a vazão específica nas sub-bacias laterais observadas a montante da estação fluviométrica supracitada se manteria constante também a jusante desta estação. Sendo assim, multiplicou-se a área das sub-bacias laterais pela vazão específica calculada e estimou-se as vazões correspondentes contribuição laterais para o restante da bacia.

### 3.3.2.3 Sazonalidade

A análise da variação sazonal da vazão foi realizada também levando em consideração a divisão dos dois grupos de sub-bacias, ou seja, para as sub-bacias sem monitoramento a variação sazonal foi considerada igual a variação da estação fluviométrica mais próxima e, além disso, levou em consideração também apenas as estações cuja área de contribuição tivesse a área na mesma ordem de grandeza da sub-bacia analisada. Para as sub-bacias com monitoramento, a variação sazonal da vazão foi adotada igual a variação sazonal da estação mais próxima da foz da sub-bacia, no Rio Jacuí.

O comportamento e variação mensal das séries históricas de vazão utilizadas foi obtido através do cálculo da vazão média de cada mês do ano, dividindo este valor pelo  $Q_{mlt}$  das respectivas estações. Desta forma, obtém-se um valor adimensional correspondente aos respectivos meses, tal que distribui ao longo do ano a vazão média mensal relativa à vazão  $Q_{mlt}$ . Por fim, a vazão média mensal adimensional é a informação que, da melhor forma possível, é transferida para as sub-bacias a terem as vazões estimadas.

No item 3.3.3, onde são apresentados os resultados dos procedimentos de regionalização, as estações utilizadas como referência para o comportamento sazonal das vazões estimadas são apresentadas na forma de gráficos de barras, demonstrando a variação da vazão média mensal ao longo do ano.



### 3.3.3 Resultados da regionalização

A regionalização da vazão média de longo termo (Q<sub>mlt</sub>) foi realizada através de duas metodologias, verificando-se qual gerava os resultados mais consistentes para as sub-bacias afluentes ao Rio Jacuí: regionalização por vazão específica e regionalização por regressão múltipla.

A regionalização por vazão específica foi aplicada para a sub-bacia do Rio Taquari e para as sub-bacias de contribuição lateral, e de contribuição a montante do Rio Jacuí. As demais sub-bacias tiveram seus resultados gerados com a metodologia de regressão linear múltipla.

A base de dados para o procedimento de regionalização, utilizou os dados disponíveis nos postos fluviométricos selecionados para o estudo, nos quais foram calculadas as vazões Q<sub>mlt</sub> e sua variação sazonal, de forma adimensional. A seguir, no Quadro 3.2, são apresentados os valores de Q<sub>mlt</sub>, e a estimativa do comportamento sazonal para cada estação.

Quadro 3.2 – Vazões Q<sub>mlt</sub> e variação sazonal.

Estação	Q mlt (m <sup>3</sup> /s)	Q adimensional											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
85400000	367.97	0.720	0.672	0.627	0.728	0.926	1.125	1.272	1.227	1.403	1.400	1.050	0.850
85438000	22.09	0.746	0.504	0.585	0.915	0.964	1.295	1.464	1.203	1.322	1.419	1.004	0.588
85460000	9.82	0.380	0.375	0.474	0.795	1.011	1.564	1.457	1.446	1.561	1.567	0.628	0.524
85470000	17.67	0.584	0.601	0.575	0.945	0.898	1.215	1.722	1.148	1.436	1.286	1.077	0.549
85480000	52.89	0.450	0.582	0.545	0.914	0.940	1.284	1.686	1.381	1.393	1.304	1.019	0.542
85600000	126.55	0.478	0.454	0.492	0.782	0.933	1.284	1.643	1.331	1.493	1.665	0.907	0.568
85610000	1.51	0.414	0.458	0.559	0.961	1.038	1.228	1.687	1.047	1.682	1.517	0.836	0.582
85615000	2.66	0.368	0.644	0.517	1.458	1.328	1.353	1.450	0.877	1.739	1.152	0.667	0.404
85623000	16.46	0.479	0.517	0.509	1.044	0.989	1.281	1.626	1.137	1.527	1.340	0.972	0.639
85630000	11.90	0.410	0.454	0.386	0.427	0.861	1.361	1.629	1.554	1.727	2.006	0.758	0.476
85642000	703.81	0.753	0.712	0.686	0.837	0.970	1.181	1.349	1.143	1.237	1.340	1.059	0.756
85730000	31.28	0.393	0.462	0.564	0.809	1.180	1.557	1.746	1.838	1.265	0.908	0.990	0.440
85740000	41.50	0.546	0.691	0.478	1.003	1.052	1.251	1.590	1.158	1.452	1.201	1.032	0.519
85830000	20.13	0.570	0.645	0.590	0.791	0.950	1.128	1.431	1.156	1.483	1.639	1.114	0.587
85850000	15.32	0.462	0.541	0.582	0.596	0.908	1.367	1.544	1.618	1.574	1.264	0.921	0.717
85900000	886.60	0.584	0.574	0.553	0.665	0.918	1.218	1.471	1.451	1.462	1.432	0.988	0.674
86895000	646.16	0.513	0.594	0.551	0.616	0.817	1.159	1.454	1.519	1.788	1.320	0.957	0.668





No Quadro 3.3 são apresentadas, para as estações fluviométricas, as variáveis explicativas a serem consideradas no processo de regionalização. A área de drenagem é considerada nos dois métodos, e as demais variáveis na regressão múltipla.

Quadro 3.3 – Estações Fluviométricas utilizadas no ajuste do modelo de regressão linear.

Estação	variáveis explicativas					
	Comprimento rio principal (km)	$\Delta H$ rio principal (m)	Área de contribuição (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Comprimento total rios (km)	Circularidade (km)
85615000	8.6	57.0	69.0	44.3	8.6	1.6
85610000	10.3	44.0	62.0	38.4	10.3	1.6
85438000	56.8	63.0	932.0	162.2	53.3	5.8
85460000	46.4	88.0	753.0	141.3	46.4	5.3
85470000	55.5	94.0	965.0	187.1	68.6	5.2
85480000	105.3	116.0	2970.0	313.5	188.2	9.5
85600000	197.7	150.0	6780.0	532.6	443.2	12.7
85623000	64.0	113.0	690.0	147.1	55.2	4.7
85630000	68.0	119.0	743.0	164.4	59.6	4.5
85730000	83.0	341.0	1220.0	235.0	78.7	5.2
85740000	91.0	365.0	1370.0	255.0	74.5	5.4
85830000	53.0	144.0	805.0	167.3	67.2	4.8
85850000	58.7	146.0	909.0	180.1	67.2	5.1
86895000	484.0	934.0	24600.0	1107.8	2049.2	22.2

As variáveis descritivas acima, são utilizadas para o cálculo dos coeficientes do modelo de regressão, que possibilitarão a geração de informações nas bacias sem dados de monitoramento.

O procedimento para o ajuste dos coeficientes do modelo de regressão, teve uma restrição, para evitar erro volumétrico: o somatório das Qmlt obtidas das sub-bacias à montante da estação de Rio Pardo (cod.: 85900000), deveria ser, necessariamente, menor do que a Qmlt calculada naquela estação. Nos quadros a seguir são apresentados os resultados desses ajustes.

Quadro 3.4 – Comparativo das Qmlt calc. e Qmlt observ. para as sub-bacias.

Estação	Qmlt observada (m <sup>3</sup> /s)	Qmlt calculada (m <sup>3</sup> /s)	erro <sup>2</sup>
85615000	2.7	1.3	1.79
85610000	1.5	1.2	0.10
85438000	22.1	17.3	23.38
85460000	9.8	14.0	17.78



Estação	Qmlt observada (m³/s)	Qmlt calculada (m³/s)	erro <sup>2</sup>
85470000	17.7	16.1	2.52
85480000	52.9	52.7	0.02
85600000	126.5	126.9	0.14
85623000	16.5	16.0	0.23
85630000	11.9	16.7	23.08
85730000	31.3	34.4	9.91
85740000	41.5	39.2	5.39
85830000	20.1	15.5	21.02
85850000	15.3	17.6	5.15
86895000	646.2	646.1	0.01
		soma erro <sup>2</sup>	110.53
<b>Coefficientes resultantes do ajuste</b>			
		x0	-0.0228
Comprimento rio principal (km)		x1	0.0016
ΔH rio principal (m)		x2	0.0001
Área de contribuição (km <sup>2</sup> )		x3	0.0195
Perímetro (km)		x4	-0.0002
Comprimento total rios (km)		x5	-0.0056
Circularidade (km)		x6	0.0167

O quadro abaixo apresenta as mesmas variáveis explicativas, estimadas para as sub-bacias que terão os dados de vazão gerados pelo modelo de regressão.

Quadro 3.5 – Variáveis Explicativas das sub-bacias para Qmlt estimada.

Sub-bacia	Compr. rio princ. (km)	ΔH rio principal (m)	Área de drenagem. (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Compr. total canais (km)	Circularidade (km)
Rio Irapuá	105.00	99.00	2771.20	384.20	166.20	7.21
Arroio Capané	38.00	72.00	461.10	132.30	23.30	3.49
Arroio Iruí	70.00	131.00	1909.20	232.00	165.90	8.23
Arroio Dom Marcos	36.30	93.00	328.70	129.80	13.00	2.53
Arroio Tabatingaí	25.50	45.00	318.10	101.50	25.20	3.13
Arroio Capivari	80.60	162.00	1233.80	262.20	80.00	4.71
Arroio Francisquinho	52.40	178.00	450.90	159.90	36.10	2.82
Arroio do Conde	42.40	58.00	385.10	121.20	24.40	3.18
Arroio dos Ratos	115.60	212.00	2079.80	469.00	169.20	4.43
Botucaraí	75.15	202.00	992.06	201.40	75.15	4.93



Para a estimativa do comportamento sazonal das vazões das sub-bacias do quadro anterior, nas quais aplicou-se o modelo de regressão linear múltipla, foi considerado, para cada uma delas, o comportamento sazonal da estação fluviométrica mais próxima. Assim, para este grupo, as estações de referência são: Passo São Sepé (cód. 85630000), Passo Linha do Rio (cód. 85730000) e Santa Cruz (cód. 85850000). As figuras 3.2, 3.3, e 3.4 apresentam o comportamento da vazão média mensal adimensional para as estações supracitadas.

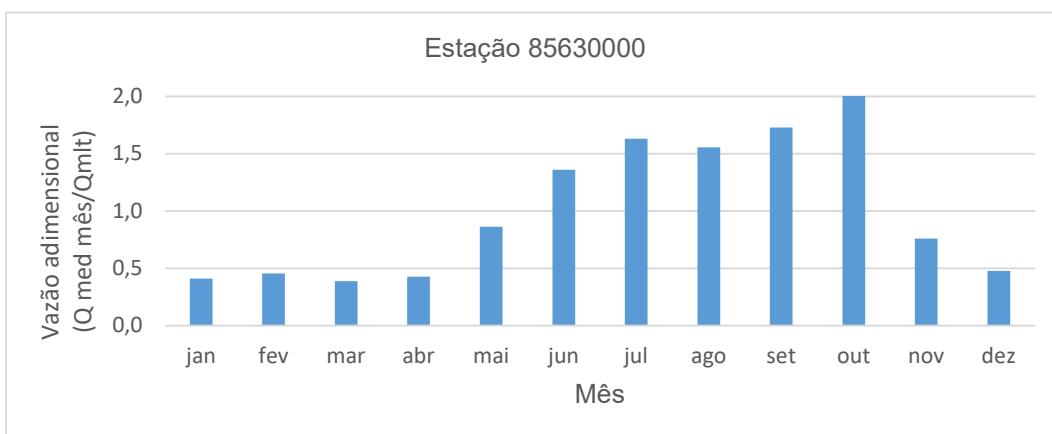


Figura 3.2 – Vazão média mensal adimensional da estação cód. 85630000.

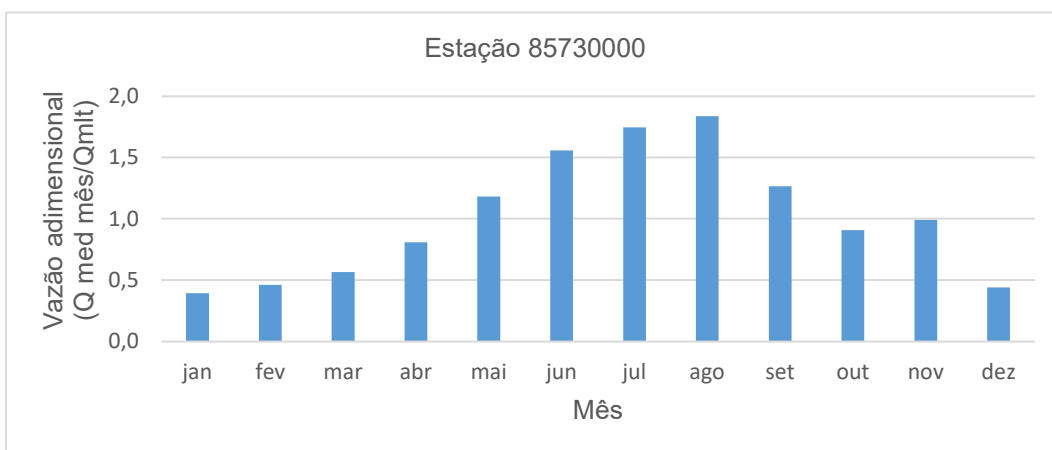


Figura 3.3 – Vazão média mensal adimensional da estação cód.85730000.

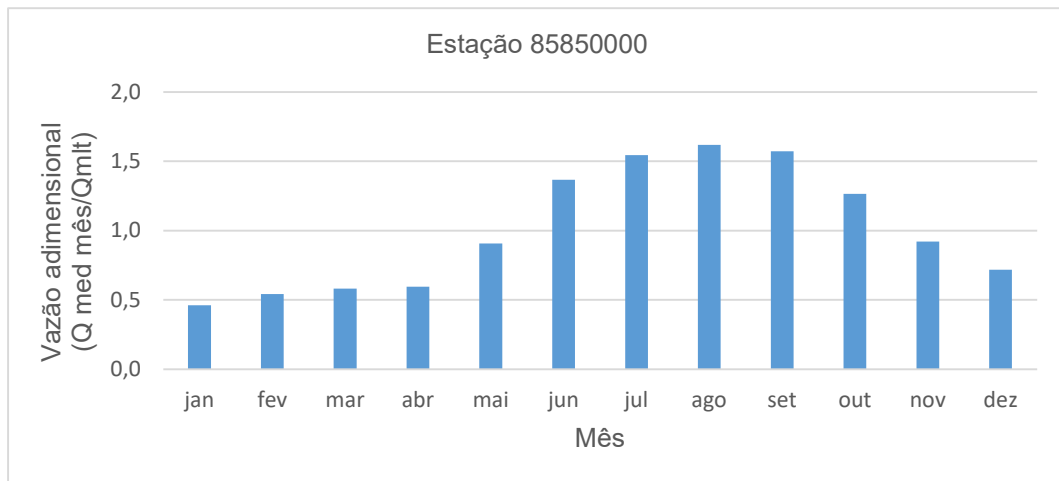


Figura 3.4 – Vazão média mensal adimensional da estação cód.85850000.

Finalmente, a seguir, apresentam-se os dados de vazões médias gerados para cada sub-bacia, com a respectiva variação sazonal. No mesmo quadro é indicada a estação de referência para cada sub-bacia.

Quadro 3.6 – Resultado da estimativa da vazão Q<sub>mlt</sub> para sub-bacias.

Sub-bacia	Estimativa Q <sub>mlt</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Estação de referência	Estimativa de vazão média mensal (m <sup>3</sup> /s)											
			jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Rio Irapuá	36.80	85630000	15.11	16.70	14.22	15.71	31.70	50.07	59.96	57.21	63.56	73.83	27.91	17.51
Arroio Capané	7.62	85730000	2.99	3.52	4.30	6.17	9.00	11.87	13.31	14.01	9.64	6.92	7.55	3.36
Arroio Iruí	33.36		13.10	15.41	18.81	26.99	39.38	51.94	58.26	61.31	42.20	30.30	33.03	14.69
Arroio Dom Marcos	5.43	85850000	2.51	2.94	3.16	3.24	4.93	7.43	8.39	8.79	8.55	6.87	5.00	3.90
Arroio Tabatingá	4.91		2.27	2.66	2.86	2.93	4.46	6.71	7.58	7.95	7.73	6.21	4.52	3.52
Arroio Capivari	20.63		9.53	11.17	12.01	12.30	18.73	28.20	31.85	33.38	32.47	26.09	19.00	14.79
Arroio Francisquinho	10.50		4.85	5.68	6.11	6.26	9.53	14.35	16.21	16.98	16.52	13.27	9.66	7.53
Arroio do Conde	7.14		3.30	3.87	4.16	4.26	6.49	9.76	11.03	11.56	11.24	9.03	6.58	5.12
Arroio dos Ratos	13.86		6.40	7.50	8.07	8.26	12.58	18.94	21.39	22.42	21.80	17.52	12.76	9.93
Rio Botucará	22.92		85730000	9.00	10.59	12.92	18.54	27.05	35.68	40.03	42.13	29.00	20.82	22.69



Para a sub-bacia do Rio Vacacaí, embora esta possua monitoramento fluviométrico bastante expressivo em sua região de contribuição, considerou-se adequado realizar uma regressão linear múltipla à parte, baseado no fato de que a maioria das estações contidas na sub-bacia monitoram áreas até duas ordens de grandeza menores do que a área total da sub-bacia. Para esse ajuste foram escolhidas duas variáveis explicativas, a área de contribuição e o comprimento do rio principal. No Quadro 3.7 apresenta as estações fluviométricas utilizada para ajuste assim como também suas variáveis explicativas e, o resultado do ajuste é apresentado no Quadro 3.8.

Quadro 3.7 – Estações fluviométricas utilizadas para a regressão da sub-bacia Vacacaí.

Estação	área contribuição (km <sup>2</sup> )	Comprimento rio principal (km)
85615000	69.0	8.6
85610000	62.0	10.3
85460000	753.0	46.4
85470000	965.0	55.5
85480000	2970.0	105.3
85600000	6780.0	197.7
85623000	690.0	64.0
85630000	743.0	68.0

Quadro 3.8 – Comparativo das Q<sub>mlt</sub> calculada e Q<sub>mlt</sub> observada - sub-bacia Vacacaí.

Estação	Q <sub>mlt</sub> observada (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>mlt</sub> calculada (m <sup>3</sup> /s)	erro <sup>2</sup>
85615000	2.66	1.48	1.39
85610000	1.51	1.39	0.01
85460000	9.82	13.12	10.89
85470000	17.67	16.90	0.59
85480000	52.89	52.15	0.54
85600000	126.5	126.67	0.01
85623000	16.46	13.31	9.96
85630000	11.90	14.43	6.39
		soma erro <sup>2</sup>	29.79
<b>Coefficientes resultantes do ajuste</b>			
		x0	0.3869
área (km <sup>2</sup> )		x1	0.0152
comprimento rio principal (km)		x2	0.0006

O comportamento sazonal da vazão média no Rio Vacacaí foi considerado igual ao comportamento sazonal da vazão média da estação fluviométrica de maior área de contribuição contida na sub-bacia, além disso foram considerados os seguintes valores para as variáveis explicativas: área de contribuição igual a 10051.3 km<sup>2</sup> e comprimento do rio principal igual a 330 km. No Quadro 3.9 é apresentado o resultado da vazão Q<sub>mlt</sub> para a sub-bacia do Rio Vacacaí.



Quadro 3.9 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia do Rio Vacacaí.

Estimativa de vazão média mensal (m³/s)												
Qmlt (m³/s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
153.69	73.40	69.70	75.55	120.18	143.36	197.35	252.44	204.50	229.45	255.84	139.37	87.32

Para a sub-bacia do Rio Pardo também foi estimada a Qmlt a partir do modelo de regressão linear. Particularmente, nesta sub-bacia, dado que as áreas de contribuição das estações fluviométricas possuem a mesma ordem de grandeza da área total da sub-bacia, se julgou adequado que a regressão fosse ajustada apenas à esta variável explicativa. Nos Quadros 3.10 e 3.11 são apresentadas as estações utilizadas e o resultado desse ajuste, respectivamente.

Quadro 3.10 – Estações fluviométricas utilizadas para a regressão da sub-bacia Rio Pardo.

Estação	Área contribuição (km²)
85730000	1220.0
85740000	1370.0
85830000	805.0
85850000	909.0

Quadro 3.11 – Comparativo das Qmlt calculada e Qmlt observada - sub-bacia Rio Pardo.

Estação	Qmlt observada (m³/s)	Qmlt calculada (m³/s)	erro <sup>2</sup>
85730000	31.28	33.06	3.17
85740000	41.50	39.31	4.80
85830000	20.13	15.77	19.04
85850000	15.32	20.10	22.80
Coeficientes resultantes do ajuste			
		x0	-17.78
área (km²)		x1	0.04
		soma erro <sup>2</sup>	49.82

A estimativa da variação sazonal da Qmlt da sub-bacia do Rio Pardo foi calculada como sendo a média das vazões adimensionalizadas, ponderada pela área monitorada relativa à área total das estações Candelárias (cod.: 85740000) e Santa Cruz (cod.: 85850000). Essas estações foram escolhidas para este ajuste, pois verificou-se que são as que, em conjunto, monitoram a maior parte da sub-bacia, cerca de 61% da área total. Desta forma, para o cálculo da média das vazões adimensionais atribuiu um peso maior à estação de maior área monitorada relativa, e um peso menor à outra, ou seja, para a estação Candelária o peso foi igual a 0.60 e para estação Santa



Cruz o peso foi igual a 0.40. No Quadro 3.12 é apresentado o resultado da vazão Qmlt para a sub-bacia do Rio Pardo.

Quadro 3.12 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia do Rio Pardo.

Qmlt m³/s	Estimativa de vazão média mensal (m³/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
136.13	69.74	85.96	70.70	114.42	135.41	176.63	213.96	182.57	204.24	166.96	134.46	81.40

As sub-bacias restantes (Rio Taquari, montante do Rio Jacuí e sub-bacias laterais) a estimativa da Qmlt foi obtida pelo método da vazão específica.

A sub-bacia do Rio Taquari conta com uma estação de monitoramento relativamente próxima à sua foz no Rio Jacuí, ou seja, a estação Porto Mariante (cod.: 86895000) cuja vazão específica é igual a 0.026 m³/(s.km²). Desta forma, a vazão Qmlt foi calculada multiplicando a vazão específica pela área total da bacia. Da mesma forma, a variação sazonal da vazão mensal foi considerada igual à sazonalidade observada na série histórica da estação. No Quadro 3.13 é apresentado o resultado da vazão média de longo termo, assim como também as vazões médias mensais

Quadro 3.13 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia do Taquari.

Qmlt m³/s	Estimativa de vazão média mensal (m³/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
699.41	358.78	415.33	385.12	430.77	571.12	810.80	1017.06	1062.52	1250.33	923.39	669.36	467.34

A sub-bacia no trecho do Rio Jacuí, à montante da região de interesse, teve a vazão Qmlt estimada a partir das vazões específicas observadas nas séries de vazões de estações fluviométricas em sua região de contribuição. Essa sub-bacia conta com duas estações relativamente próximas a sua foz. O cálculo de vazão específica foi realizado a partir da média das vazões específicas das duas estações fluviométricas ponderada pela área de monitoramento relativa à área total monitorada. O mesmo procedimento de cálculo foi realizado também para a variação sazonal da vazão média. Nos quadros a seguir são apresentadas as estações, utilizadas nesse cálculo, com suas respectivas vazões específicas assim como também o resultado da estimativa das vazões Qmlt e médias mensais.

Quadro 3.14 – Vazões específicas das estações a montante do Rio Jacuí.

Estação	Código	Vazão específica (m³/s.km²)
Dona Francisca	85400000	0.0263
Restinga Seca	85438000	0.0237





Quadro 3.15 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia a montante do Rio Jacuí.

Qmlt (m³/s)	Estimativa de vazão média mensal (m³/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
453.16	326.84	299.59	282.85	335.01	420.70	514.58	582.03	555.47	633.31	634.88	474.31	377.95

Para as sub-bacias com contribuição lateral, a vazão Qmlt foi calculada a partir da subtração entre a vazão Qmlt observada na estação Rio Pardo (cod.: 85900000) e a soma das vazões Qmlt das sub-bacias com contribuição pontual a montante desta estação. A vazão específica foi obtida utilizando a Qmlt das sub-bacias de todo o trecho do Rio Jacuí, conforme apresentado no Quadro 3.16. O comportamento sazonal das vazões médias mensais foi considerado igual ao da estação fluviométrica mais próxima da região compreendida pelas sub-bacias laterais e, o resultado dessa estimativa é apresentado no

Quadro 3.17.

Quadro 3.16 – Vazão Específica utilizada para o sub-bacias laterais.

Variáveis	Valores
Qmlt tributários a montante da estação Rio Pardo (m³/s)	854.04
Qmlt observada na estação Rio Pardo (m³/s)	886.59
Área sub-bacias laterais a montante de 85900000 (m²)	1657.13
Vazão específica (m³/s*km²)	0.0196

Quadro 3.17 – Resultado da estimativa da Qmlt para a sub-bacia com contribuição lateral.

Qmlt (m³/s)	Estimativa Q mensal m³/s											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
66.84	34.25	42.21	34.72	56.19	66.49	86.73	105.06	89.65	100.29	81.98	66.02	39.97

No Quadro 3.18 é apresentado o resumo das vazões Qmlt e das vazões médias das sub-bacias analisadas.



Quadro 3.18 – Resumo das vazões Qmlt e das vazões mensais para todas sub-bacias analisadas.

Sub-bacias	Qmlt	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Rio Taquari	699.41	358.78	415.33	385.12	430.77	571.12	810.80	1017.06	1062.52	1250.33	923.39	669.36	467.34
Rio Pardo	136.13	69.74	85.96	70.70	114.42	135.41	176.63	213.96	182.57	204.24	166.96	134.46	81.40
Rio Botucarai	22.92	9.00	10.59	12.92	18.54	27.05	35.68	40.03	42.13	29.00	20.82	22.69	10.10
Rio Jacuí (montante)	453.16	326.84	299.59	282.85	335.01	420.70	514.58	582.03	555.47	633.31	634.88	474.31	377.95
Rio Vacacai	153.69	73.40	69.70	75.55	120.18	143.36	197.35	252.44	204.50	229.45	255.84	139.37	87.32
Rio Irapuá	36.80	15.11	16.70	14.22	15.71	31.70	50.07	59.96	57.21	63.56	73.83	27.91	17.51
Arroio Capané	7.62	2.99	3.52	4.30	6.17	9.00	11.87	13.31	14.01	9.64	6.92	7.55	3.36
Arroio Iruí	33.36	13.10	15.41	18.81	26.99	39.38	51.94	58.26	61.31	42.20	30.30	33.03	14.69
Arroio Dom Marcos	5.43	2.51	2.94	3.16	3.24	4.93	7.43	8.39	8.79	8.55	6.87	5.00	3.90
Arroio Tabatingai	4.91	2.27	2.66	2.86	2.93	4.46	6.71	7.58	7.95	7.73	6.21	4.52	3.52
Arroio Capivari	20.63	9.53	11.17	12.01	12.30	18.73	28.20	31.85	33.38	32.47	26.09	19.00	14.79
Arroio Francisquinho	10.50	4.85	5.68	6.11	6.26	9.53	14.35	16.21	16.98	16.52	13.27	9.66	7.53
Arroio do Conde	7.14	3.30	3.87	4.16	4.26	6.49	9.76	11.03	11.56	11.24	9.03	6.58	5.12
Arroio dos Ratos	13.86	6.40	7.50	8.07	8.26	12.58	18.94	21.39	22.42	21.80	17.52	12.76	9.93
Sub-bacias laterais	66.84	34.25	42.21	34.72	56.19	66.49	86.73	105.06	89.65	100.29	81.98	66.02	39.97



## 4 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS

A caracterização da granulometria dos sedimentos do leito foi essencial, uma vez que os diferentes métodos de estimativa de descarga sólida utilizam esses dados no equacionamento, além disso, o entendimento da distribuição granulométrica das partículas é importante para o entendimento do carreamento de sedimentos e da movimentação do leito. Para isso foram utilizadas a granulometria das seções e também as curvas-chave de sedimento.

### 4.1 GRANULOMETRIA DAS SEÇÕES

A análise granulométrica do leito do Rio Jacuí foi realizada para todas as seções de referências, com exceção das seções 13 e 19, as quais não foram possíveis caracterizar devido a problemas na amostra. Para cada seção, as amostras de sedimento foram coletadas, quando viável tecnicamente, em três pontos diferentes do Rio Jacuí (próximo as margens direita e esquerda e no eixo do rio).

A metodologia e as análises dos sedimentos foram apresentadas no relatório técnico RT3, dessa forma nesse item são apresentadas as curvas granulométricas do sedimento utilizadas como dados de entrada para o modelo HEC-RAS, conforme as figuras a seguir.

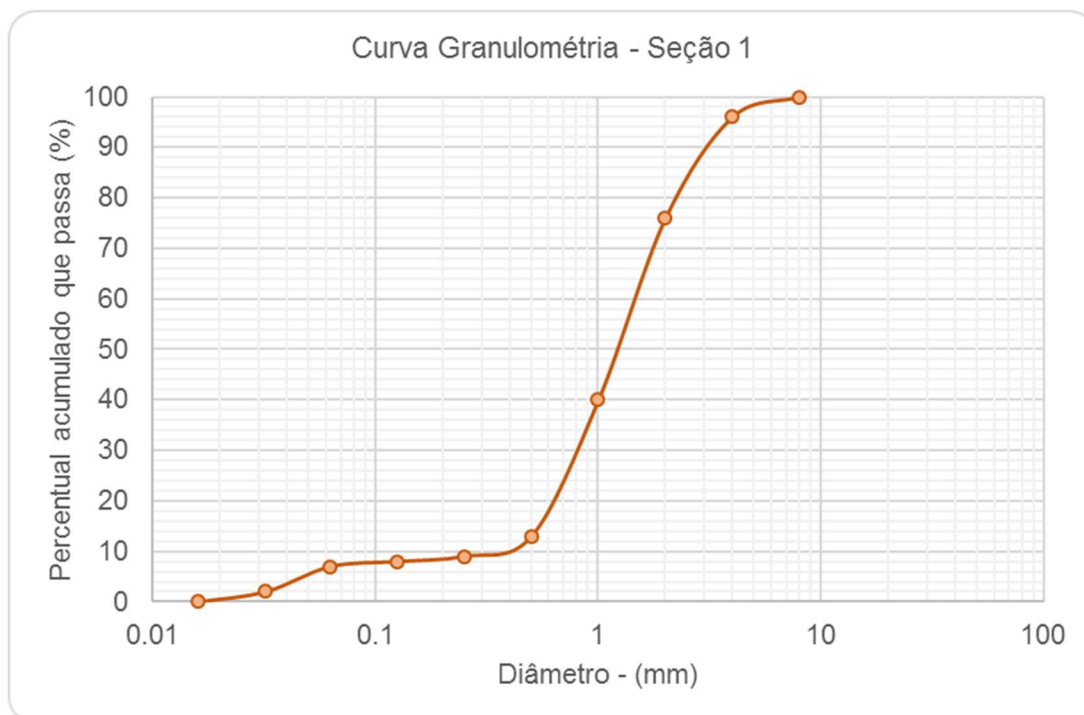


Figura 4.1 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 1.

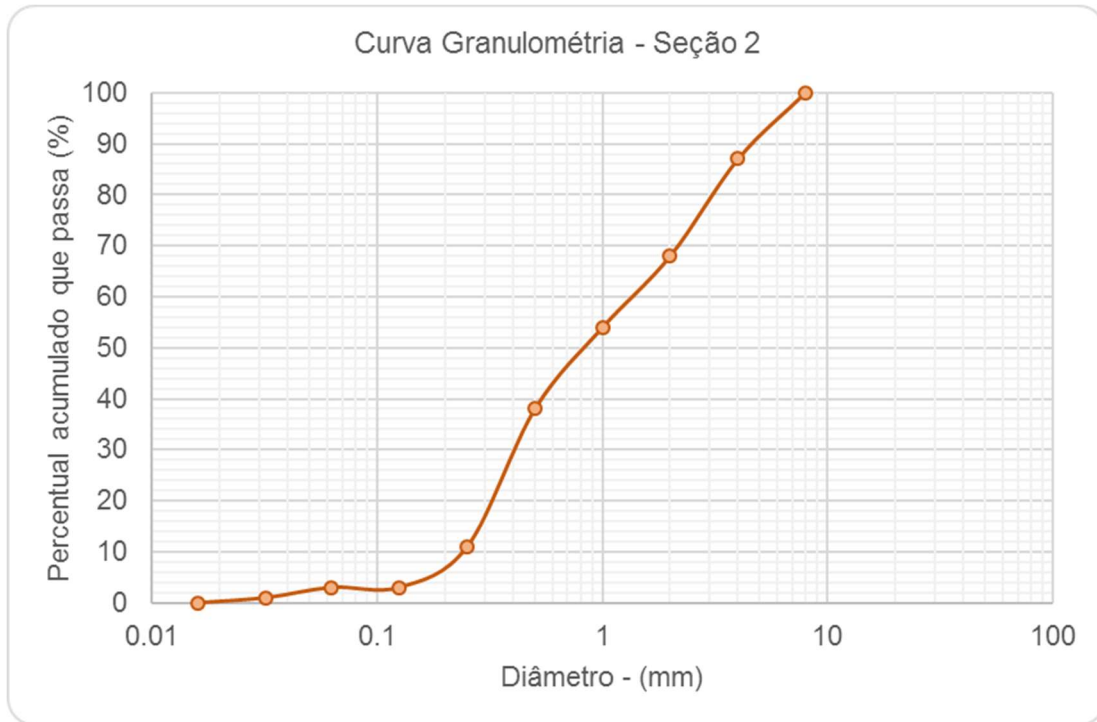


Figura 4.2 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 2.

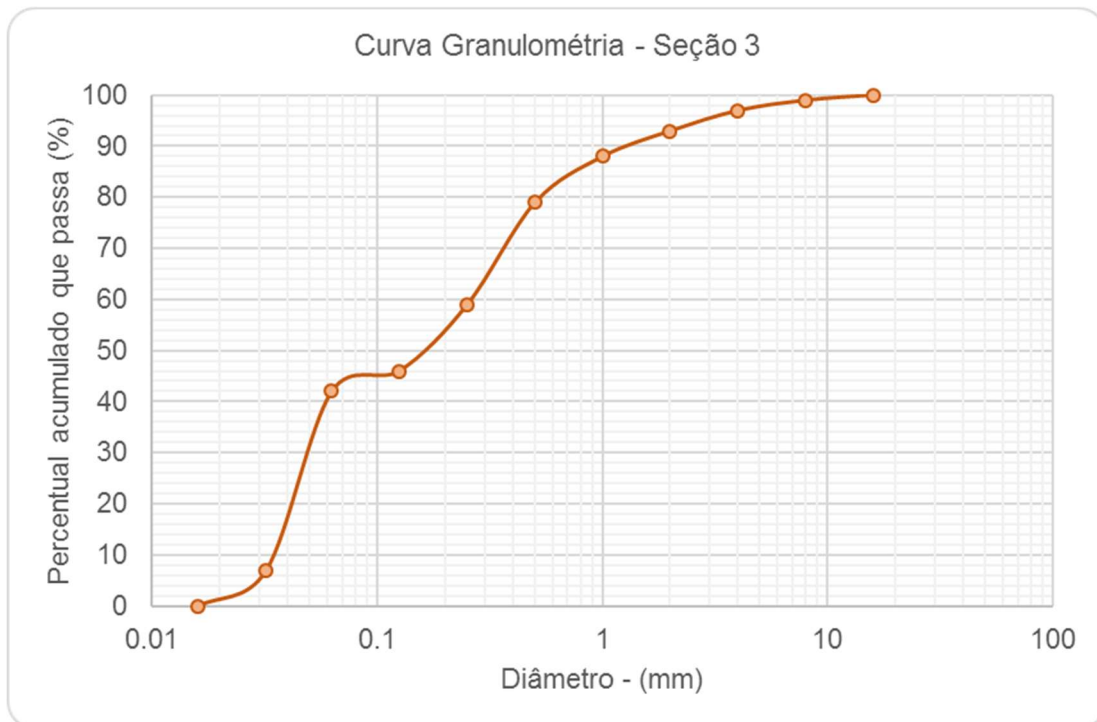


Figura 4.3 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 3.

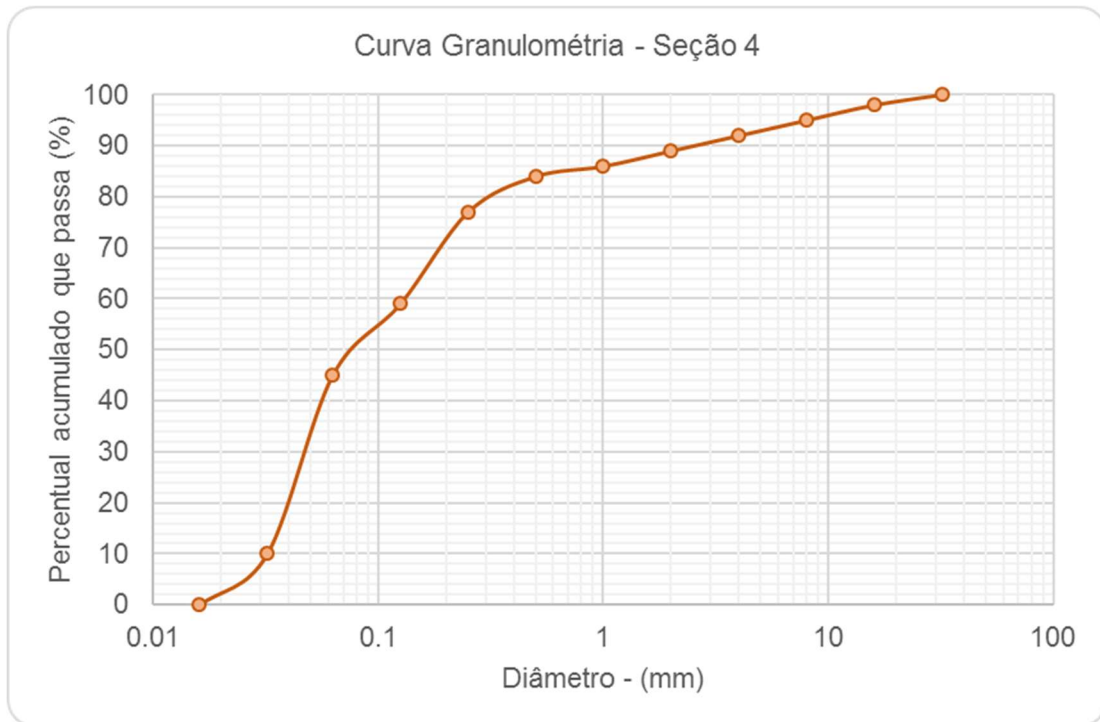


Figura 4.4 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 4.

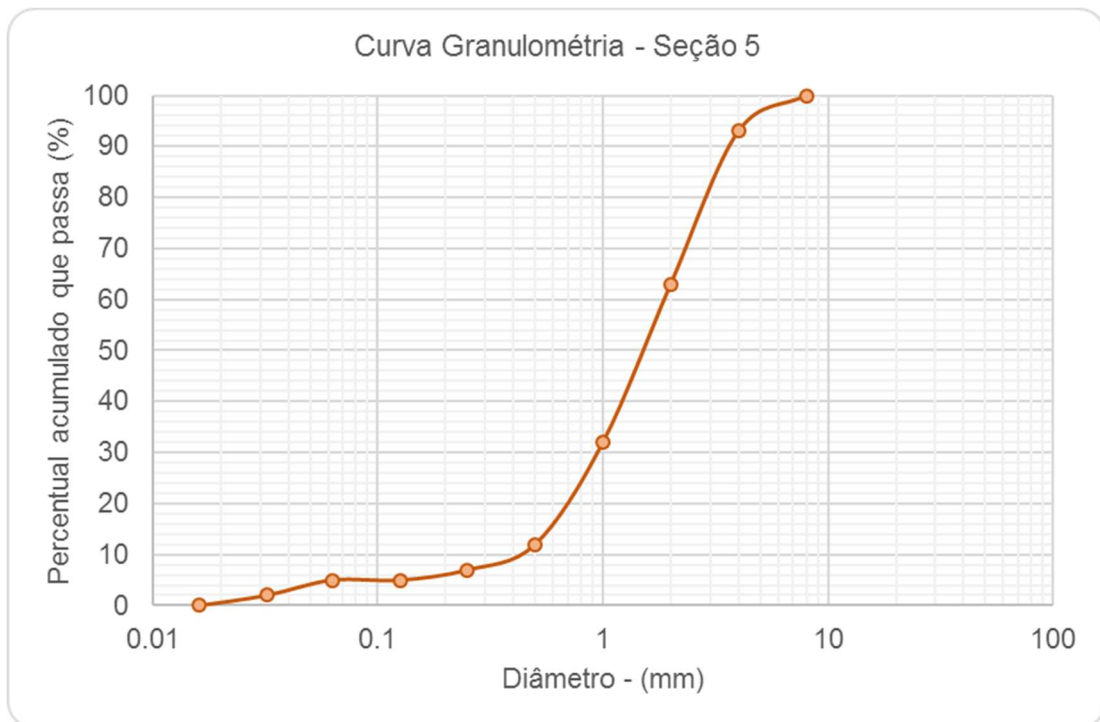


Figura 4.5 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 5.

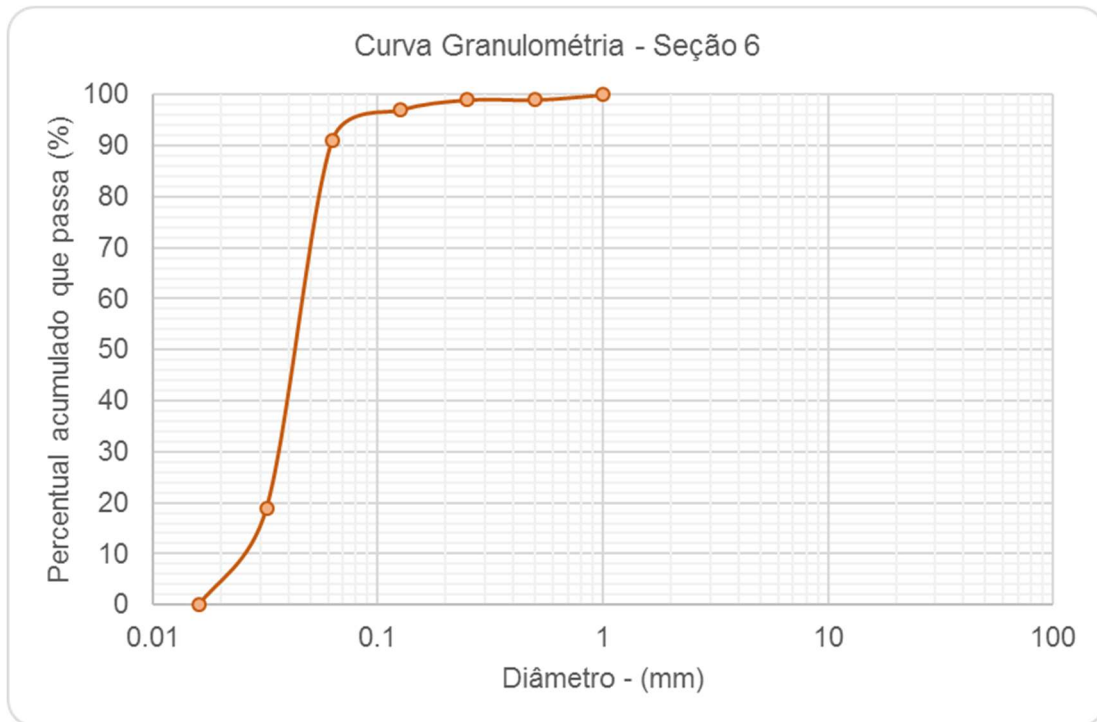


Figura 4.6 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 6.

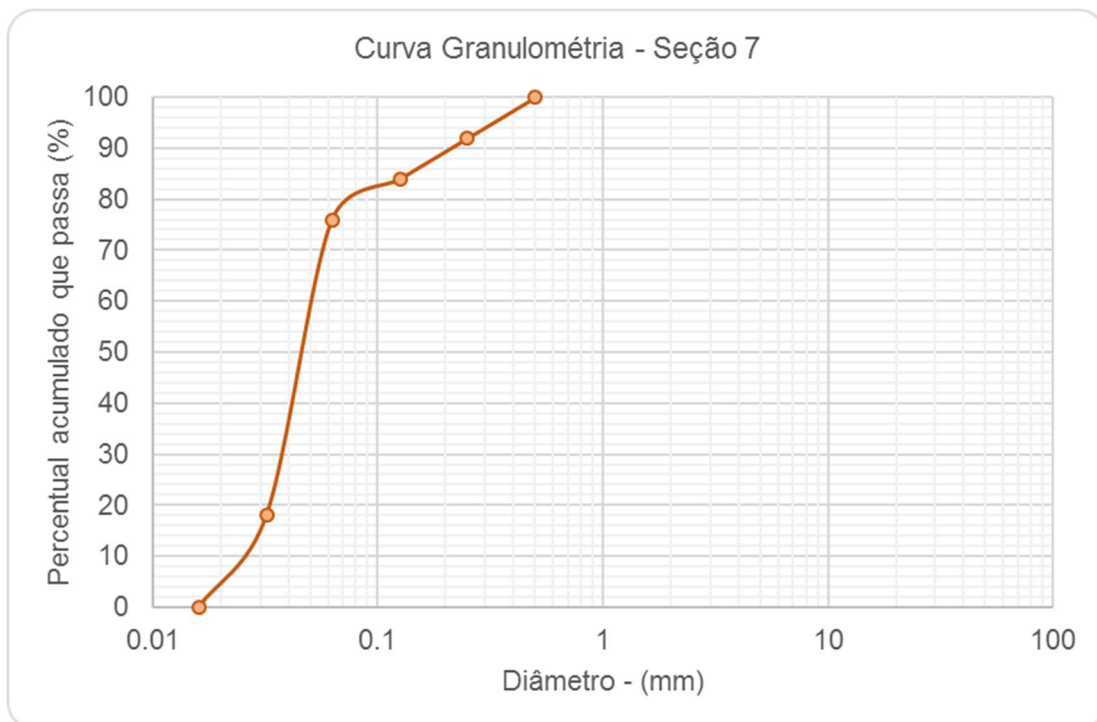


Figura 4.7 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 7.

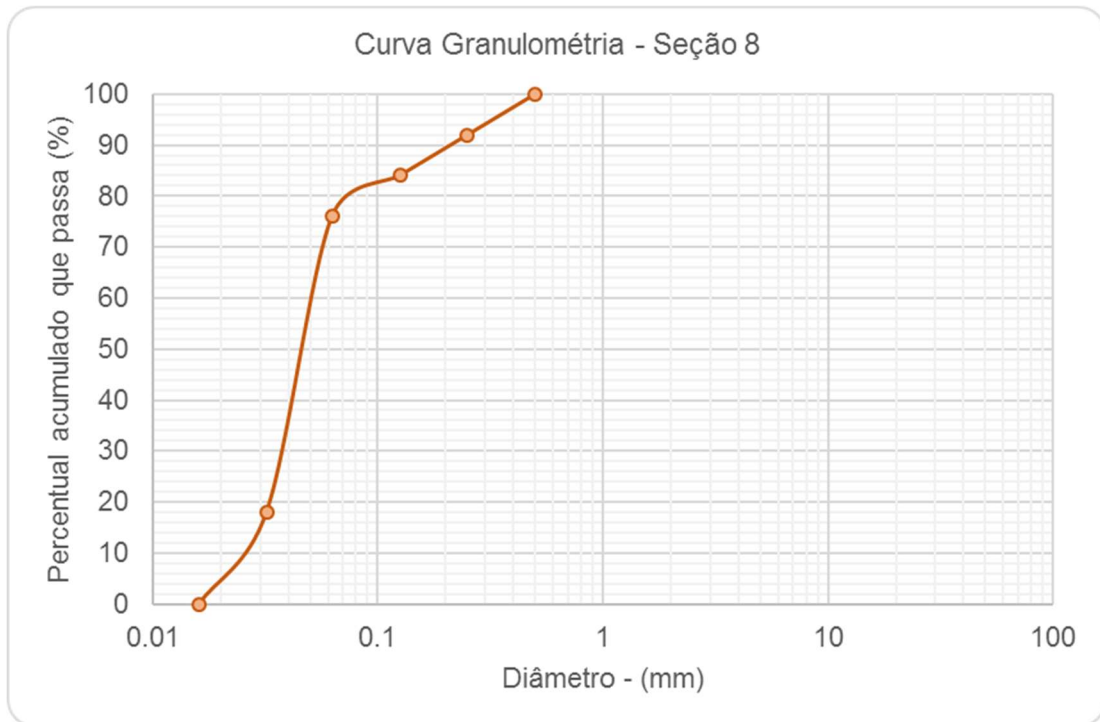


Figura 4.8 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 8.

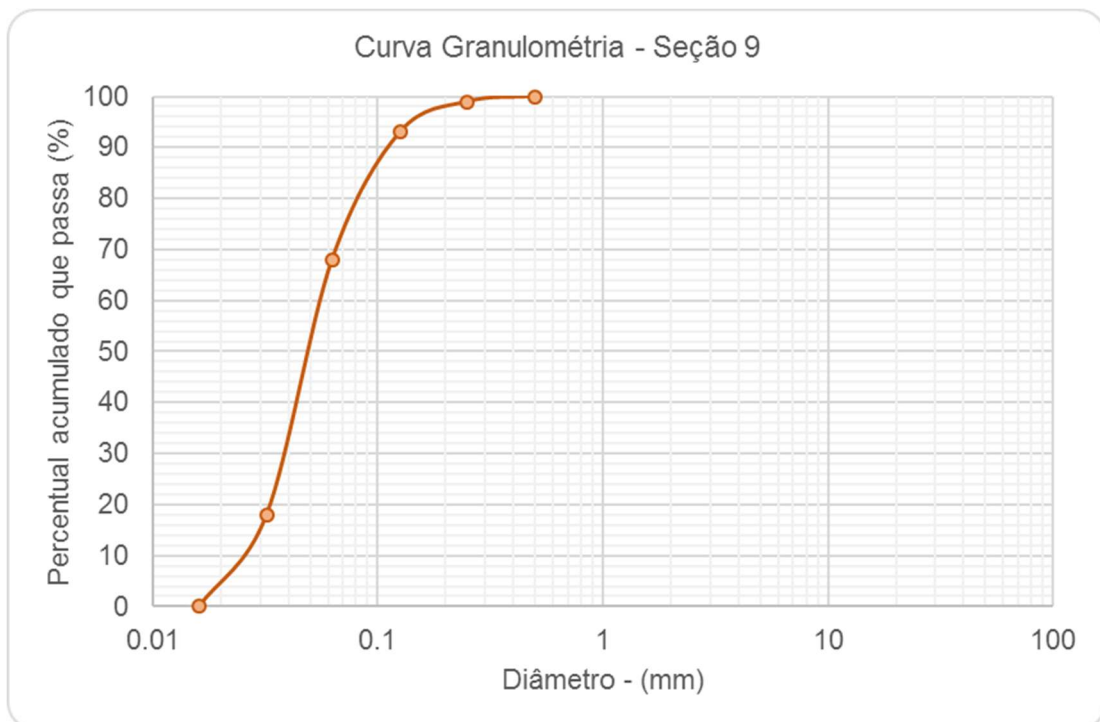


Figura 4.9 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 9.

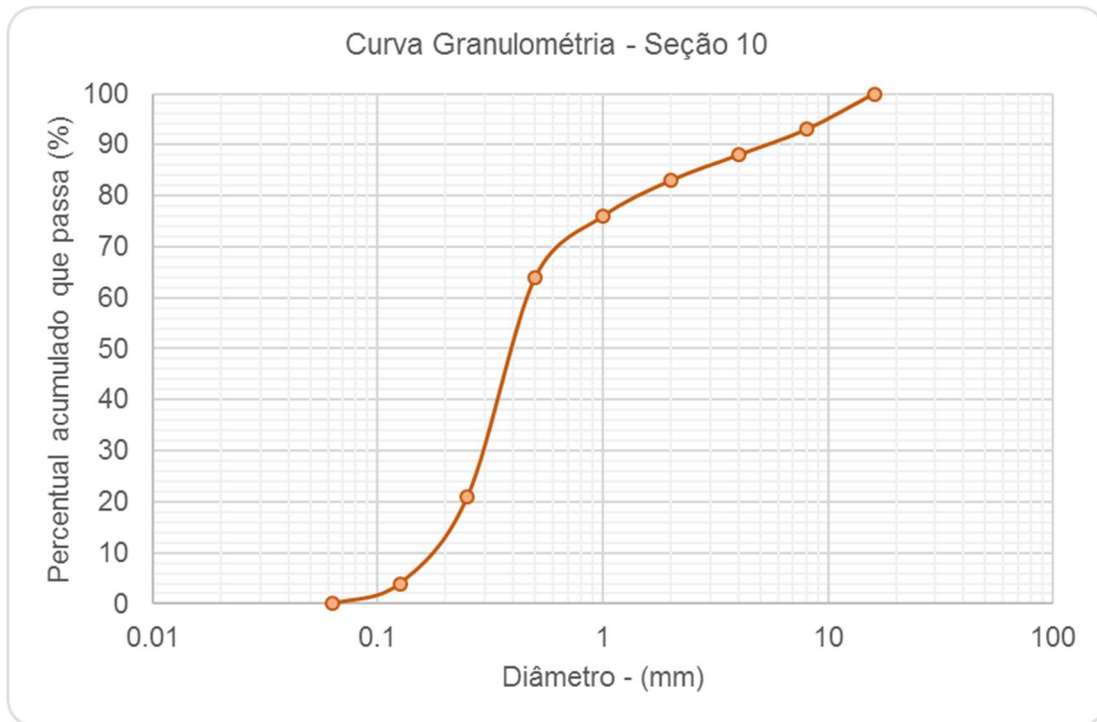


Figura 4.10 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 10.

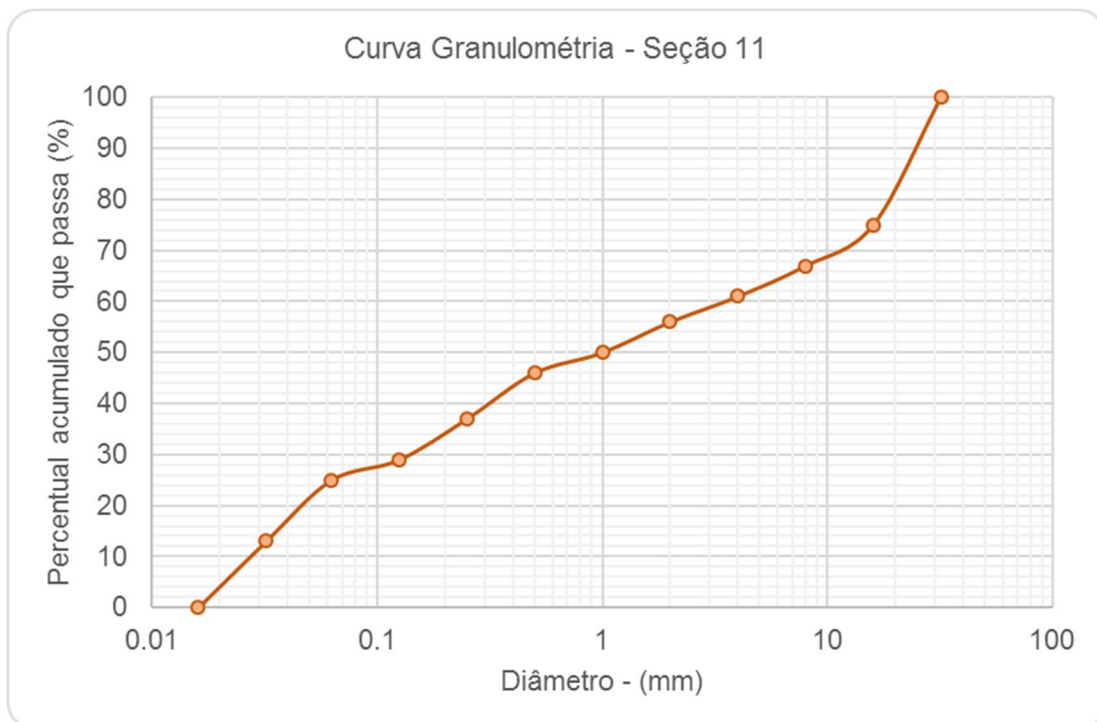


Figura 4.11 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 11.



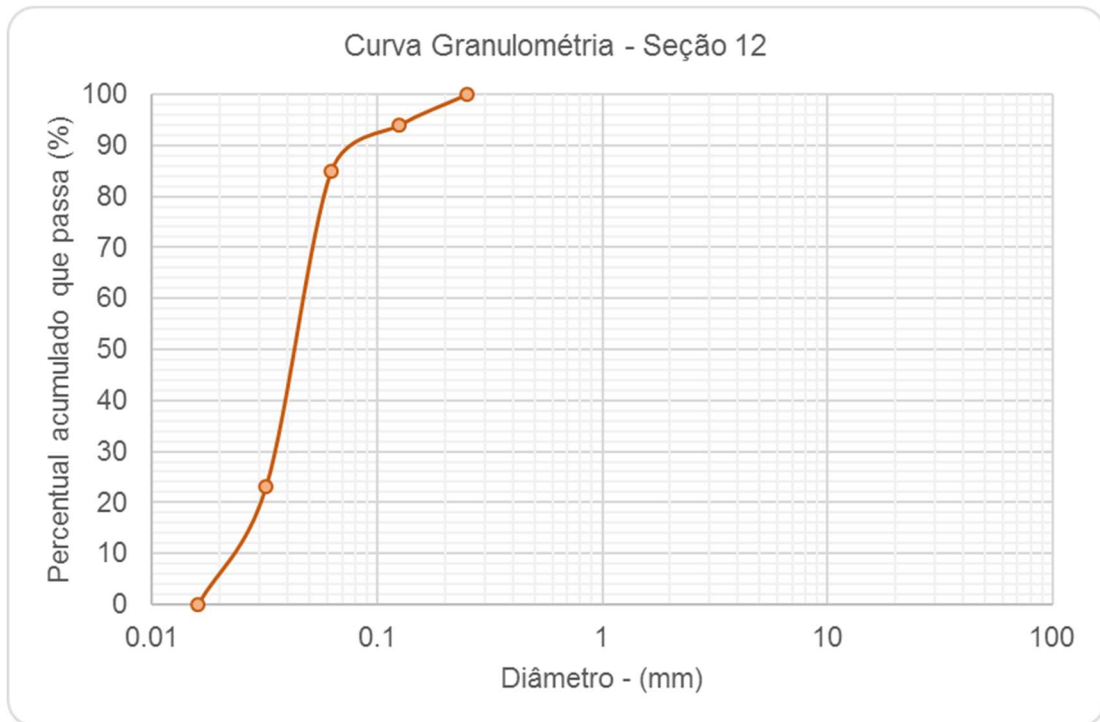


Figura 4.12 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 12.

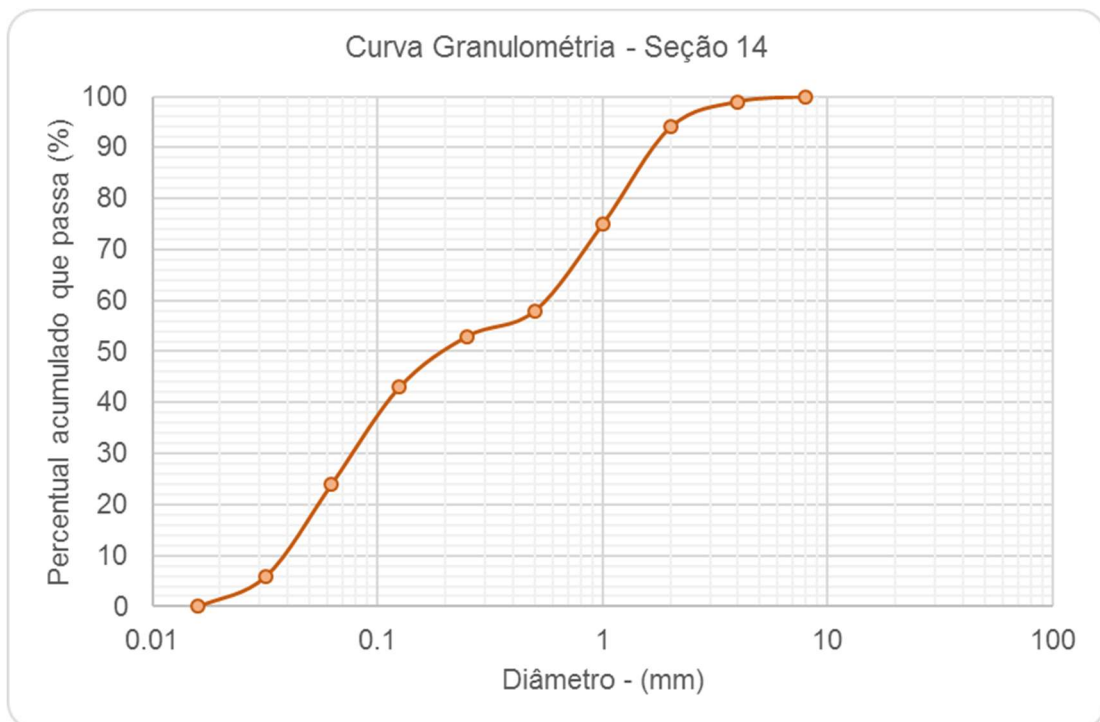


Figura 4.13 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 14.

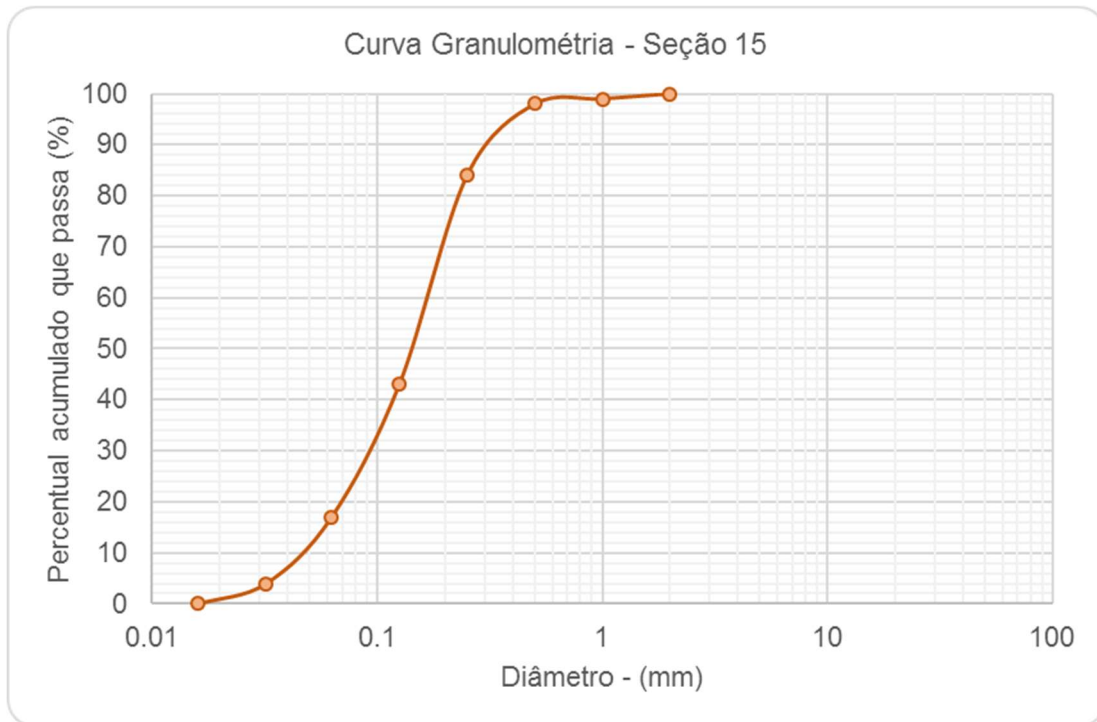


Figura 4.14 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 15.

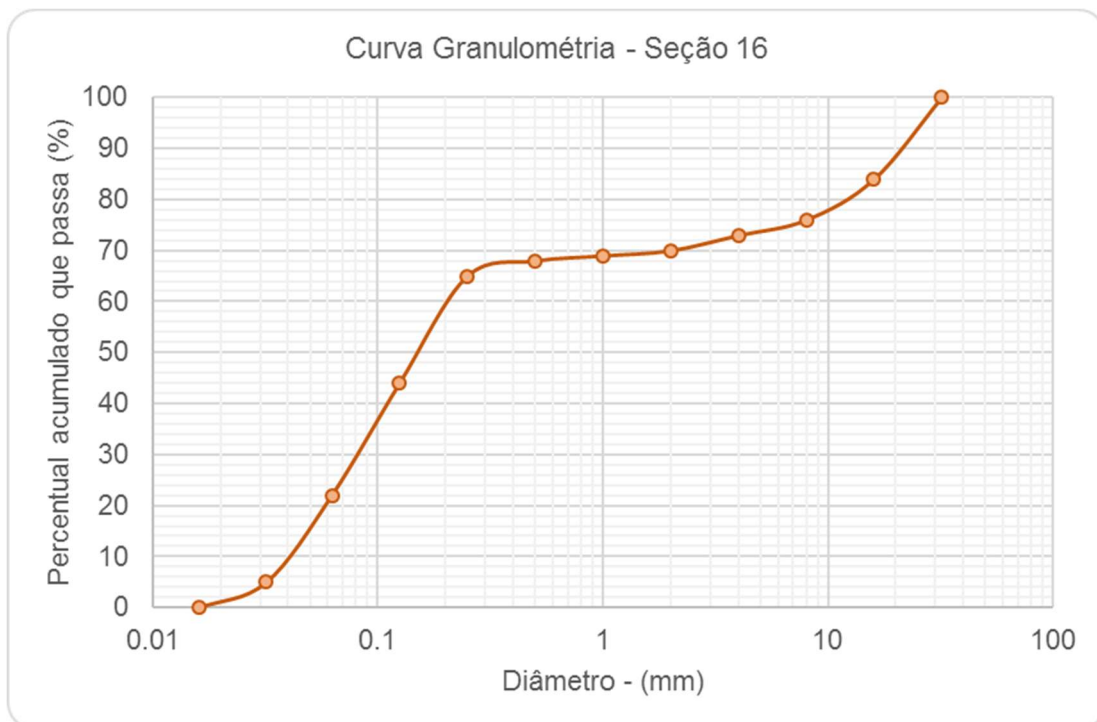


Figura 4.15 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 16.

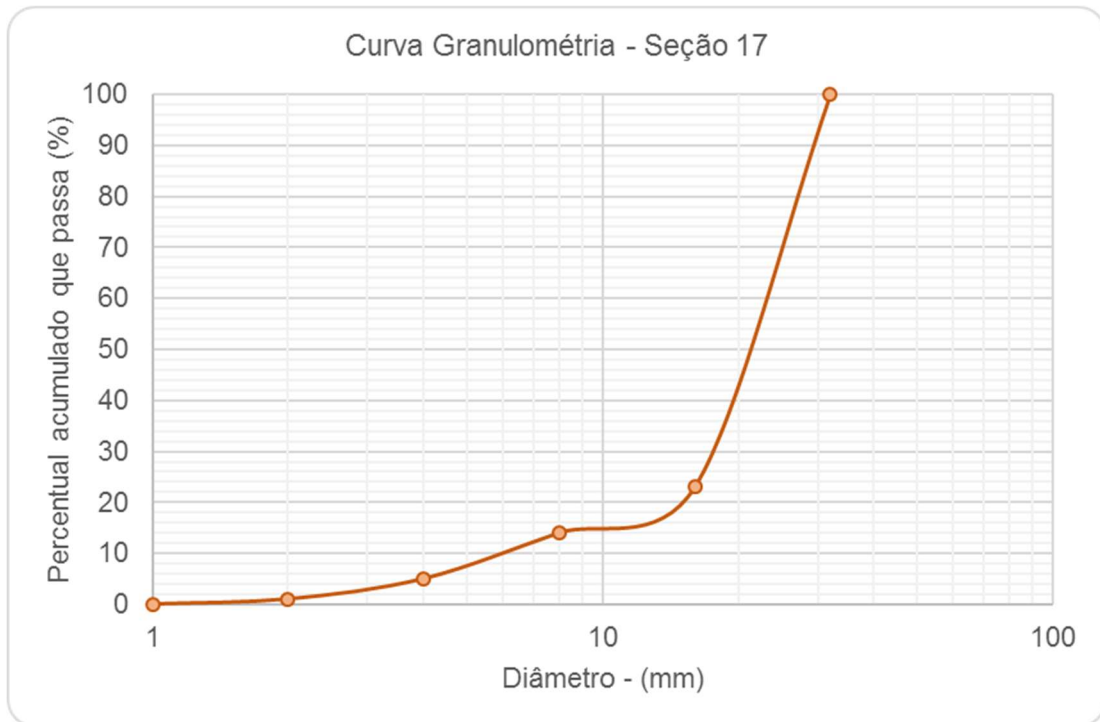


Figura 4.16 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 17.

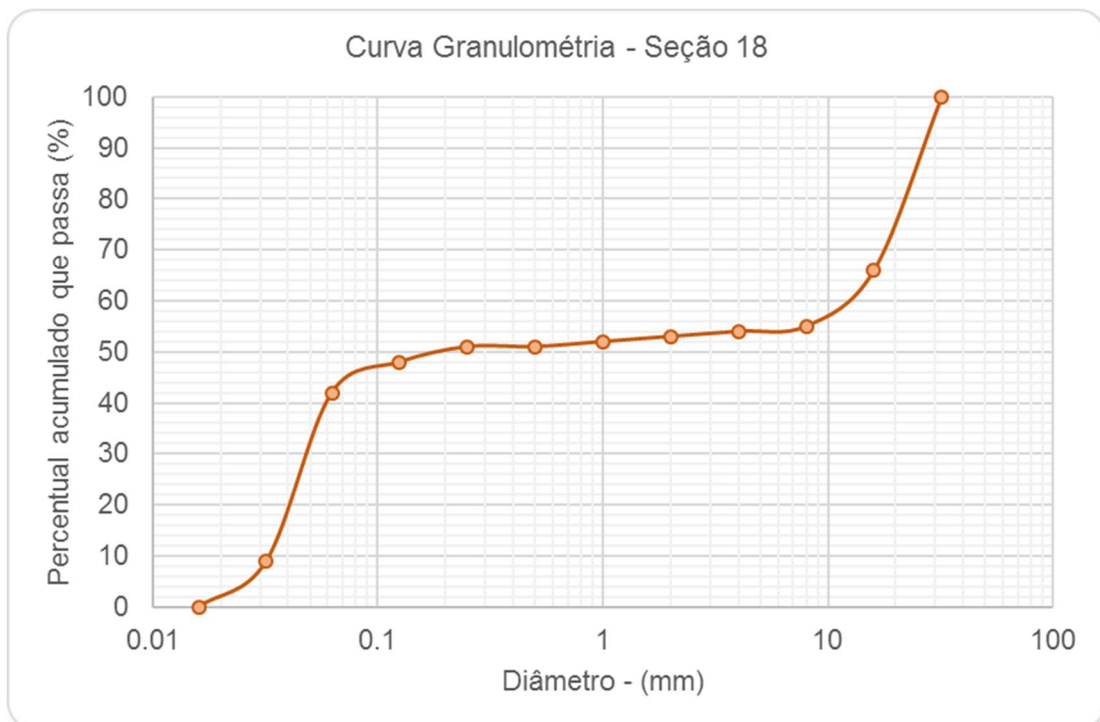


Figura 4.17 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 18.

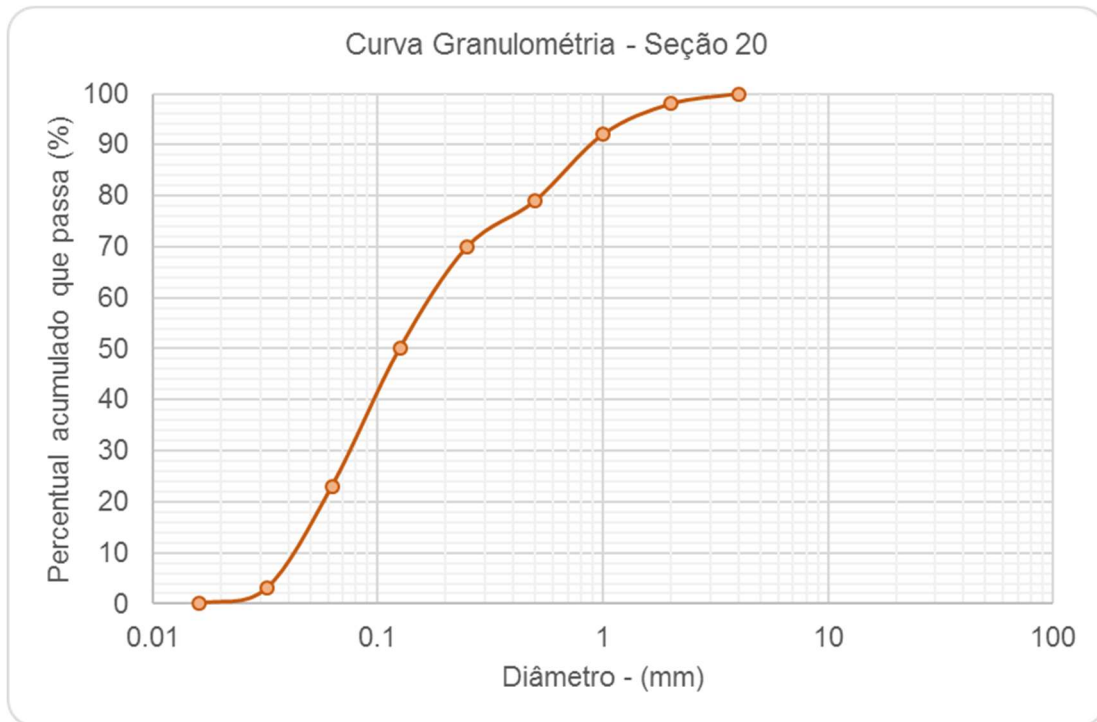


Figura 4.18 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 20.

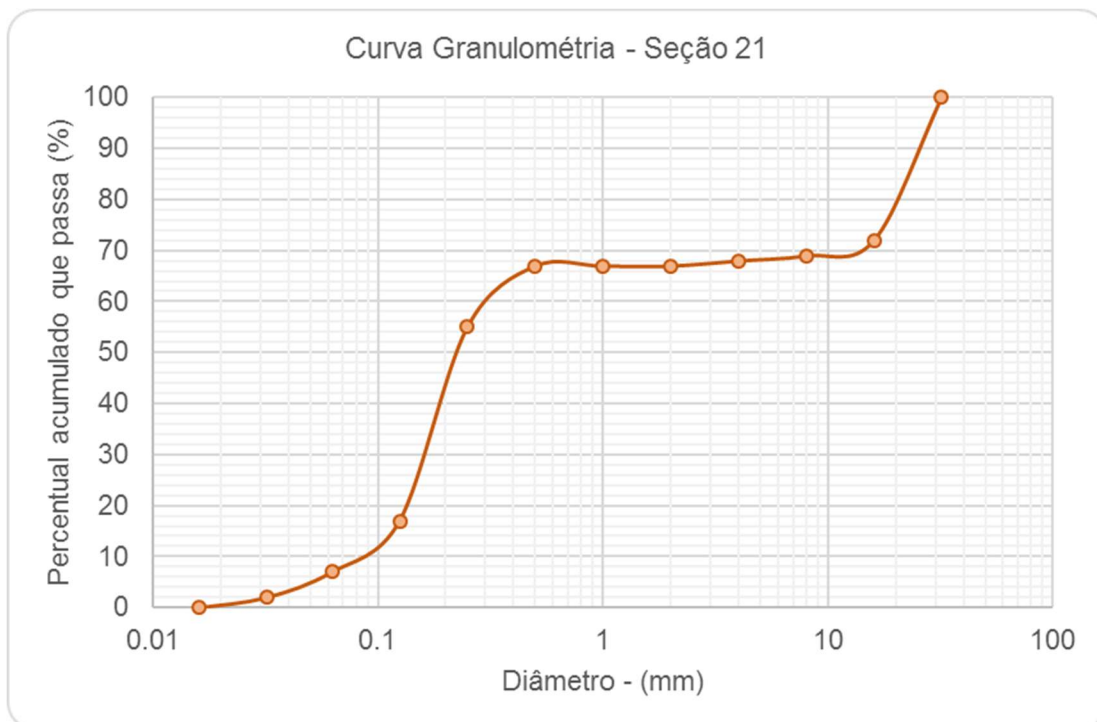


Figura 4.19 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 21.

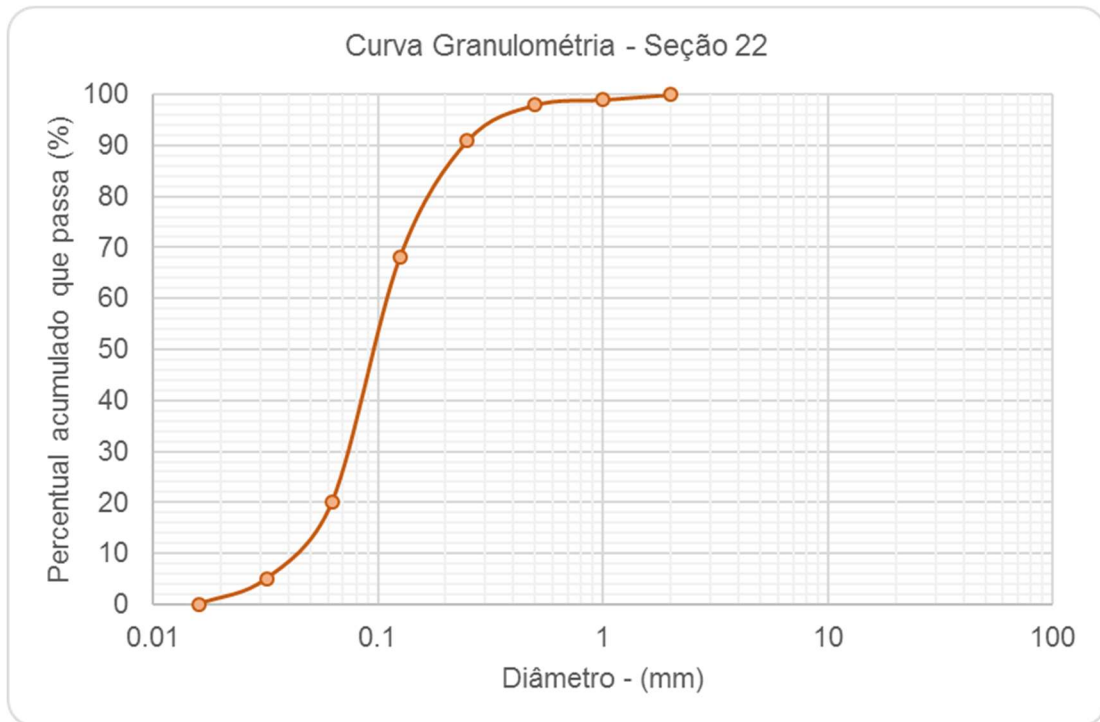


Figura 4.20 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 22.

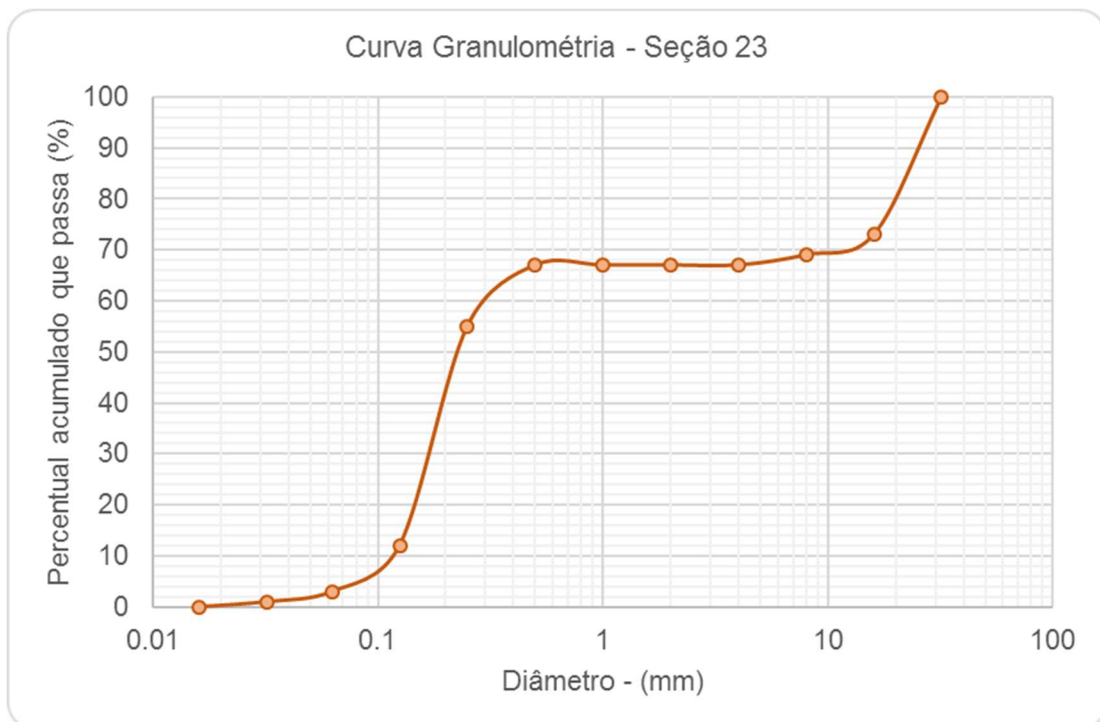


Figura 4.21 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 23.

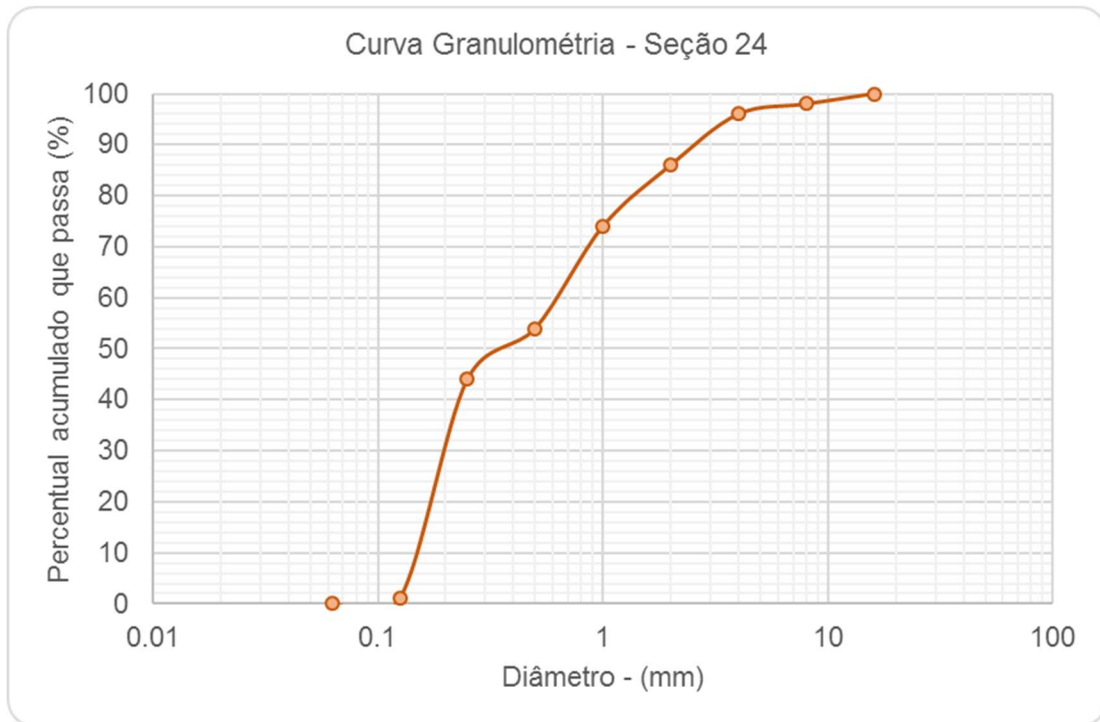


Figura 4.22 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 24.

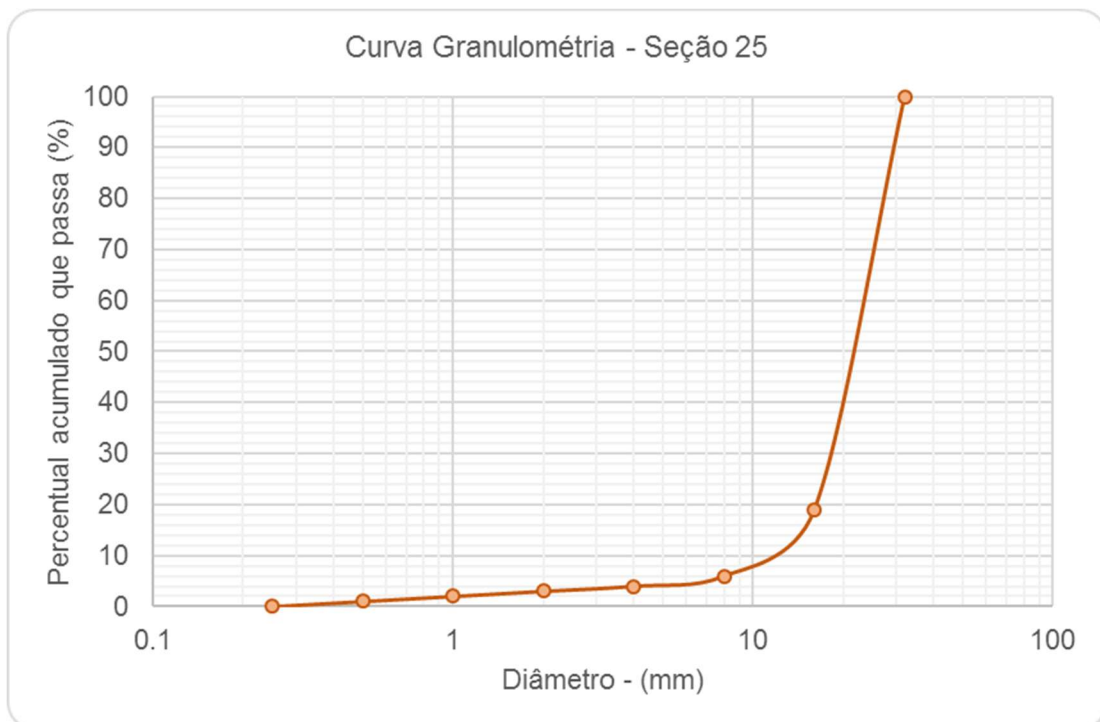


Figura 4.23 – Curva granulométrica do material do leito – Seção 25.

De acordo com a classificação textural pelo método de Shepard, a maioria das 25 seções de referência apresentam a textura de areia e cascalho, e em algumas delas uma mistura com areia e lama.



## 4.2 CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTO

As curvas-chave de sedimento foram utilizadas para determinar a descarga sólida total, as quais relaciona a descarga sólida em suspensão e a vazão líquida. Nesse estudo essas curvas foram utilizadas para condição de contorno do modelo e também para validação do método da capacidade de transporte, conforme descritos nos itens 5.4.2 e 5.4.3.

A metodologia utilizada para a estimativa da descarga sólida total ( $Q_{st}$ ) foi o método modificado de Einstein (ou método de Colby). Segundo Carvalho (2008), para o cálculo da  $Q_{st}$ , Colby desenvolveu três métodos, baseados no método de Einstein e em várias medições no campo. Um dos métodos usa basicamente três ábacos, dados de descarga líquida ( $m^3/s$ ), velocidade média ( $m/s$ ), profundidade média do rio ( $m$ ), largura da seção do rio ( $m$ ) e a concentração medida de sedimentos em suspensão ( $mg/L$ ), sendo a  $Q_{st}$  obtida pela soma da vazão sólida em suspensão ( $Q_{ss}$ , ton/dia) com a descarga sólida não medida ( $Q_{nm}$ , ton/dia), conforme a equação abaixo:

$$Q_{st} = Q_{ss} + Q_{nm}$$

A descarga sólida em suspensão ( $Q_{ss}$ ) pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$Q_{ss} = 0.0864 \cdot Q \cdot C_{ss}$$

Onde,  $Q$  é a descarga líquida ( $m^3/s$ ) e  $C_{ss}$  é a concentração de sedimento em suspensão ( $mg/L$ ).

A  $Q_{nm}$  é calculada a partir do produto da descarga sólida não medida aproximada pelo fator de correção e pela largura da seção, dado pela equação a seguir:

$$Q_{nm} = q_{nm} \cdot K \cdot L$$

Onde,  $Q_{nm}$  é a descarga sólida não medida (ton/dia),  $q_{nm}$  é a descarga sólida não medida aproximada (ton/dia.m),  $K$  é o fator de correção (adimensional) e  $L$  é o comprimento (m).



As estações selecionadas foram aquelas que possuem dados de sedimentos e que estivessem mais próximas do Rio Jacuí (início do trecho simulado e foz). Dentre as estações selecionadas foram escolhidas as seguintes:

v). Rio Jacuí: 85400000 (Est. Dona Francisca), 85900000 (Est. Rio Pardo) e 87035000 (Est. São Jerônimo - jusante). A estação São Jerônimo foi descartada devido à pouca quantidade de dados de sedimentos;

vi). Afluentes: 85600000 (Est. Passo das Tunas – Rio Vacacaí), 85735000 (Est. Candelária – Rio Pardo), 86510000 (Est. Muçum – Rio Taquari) e 85623000 (Est. São Sepé – Rio São Sepé, afluente do Vacacaí-Vacacaí Mirim).

Nas figuras a seguir são apresentadas as curvas-chave de sedimento para as estações escolhidas.

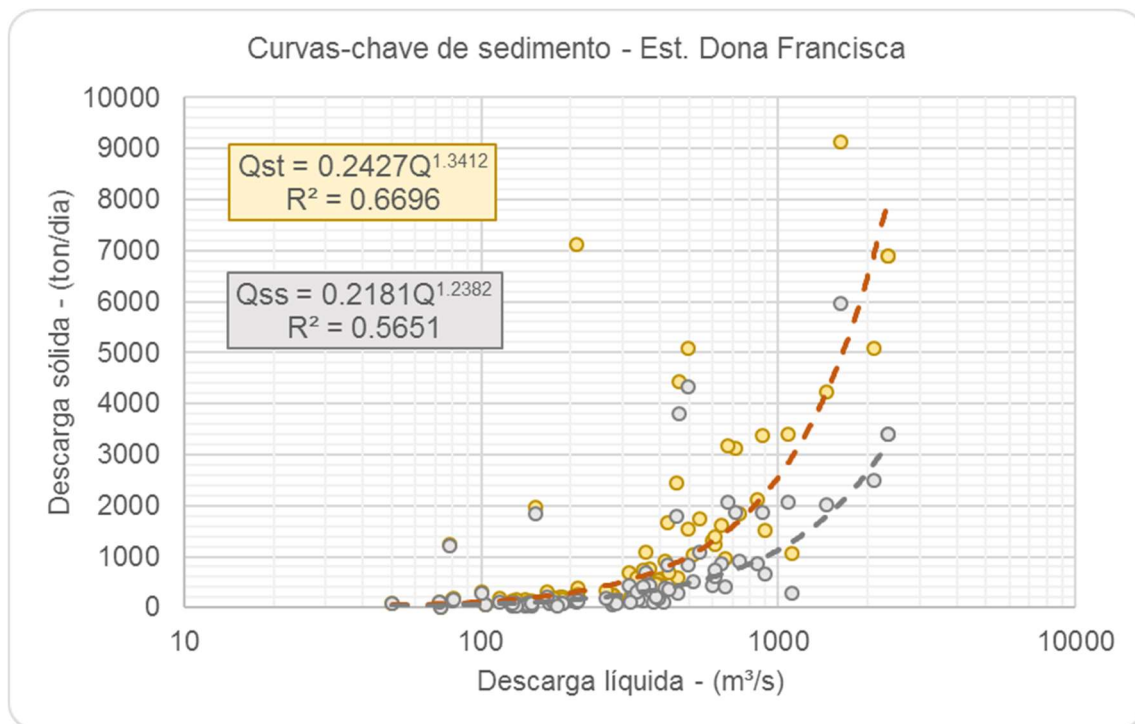


Figura 4.24 – Curvas de Sedimento – Estação Dona Francisca (Rio Jacuí – montante).



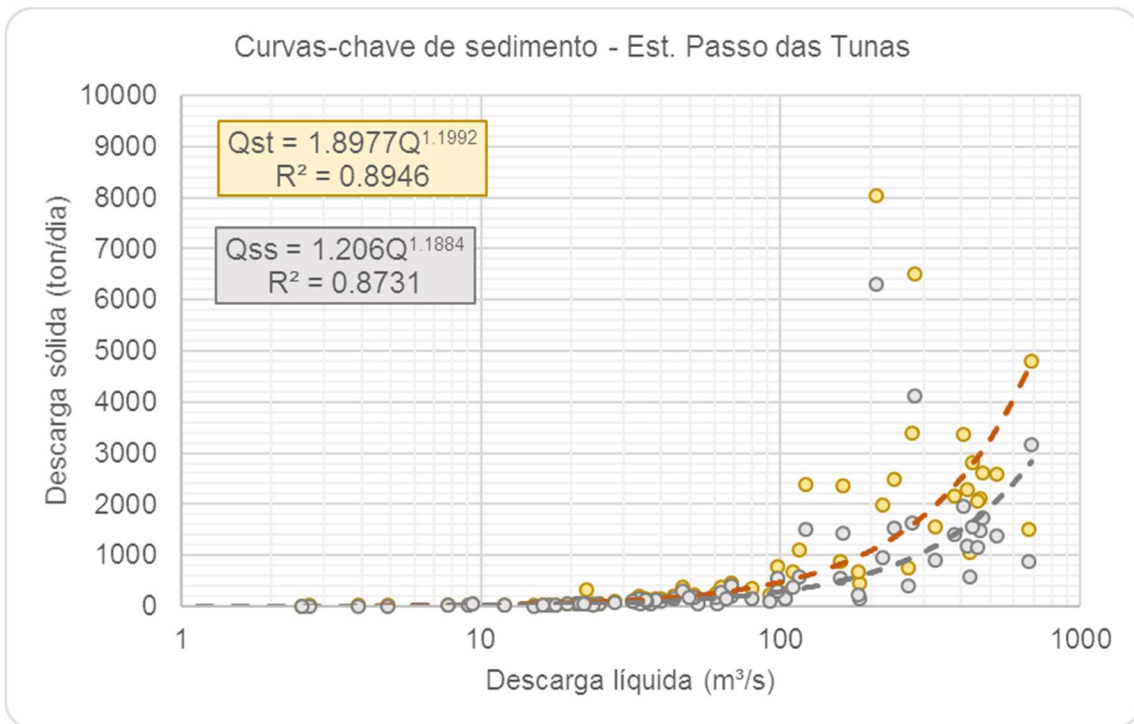


Figura 4.25 – Curvas de Sedimento – Estação Passo das Tunas (Rio Vacacaí).

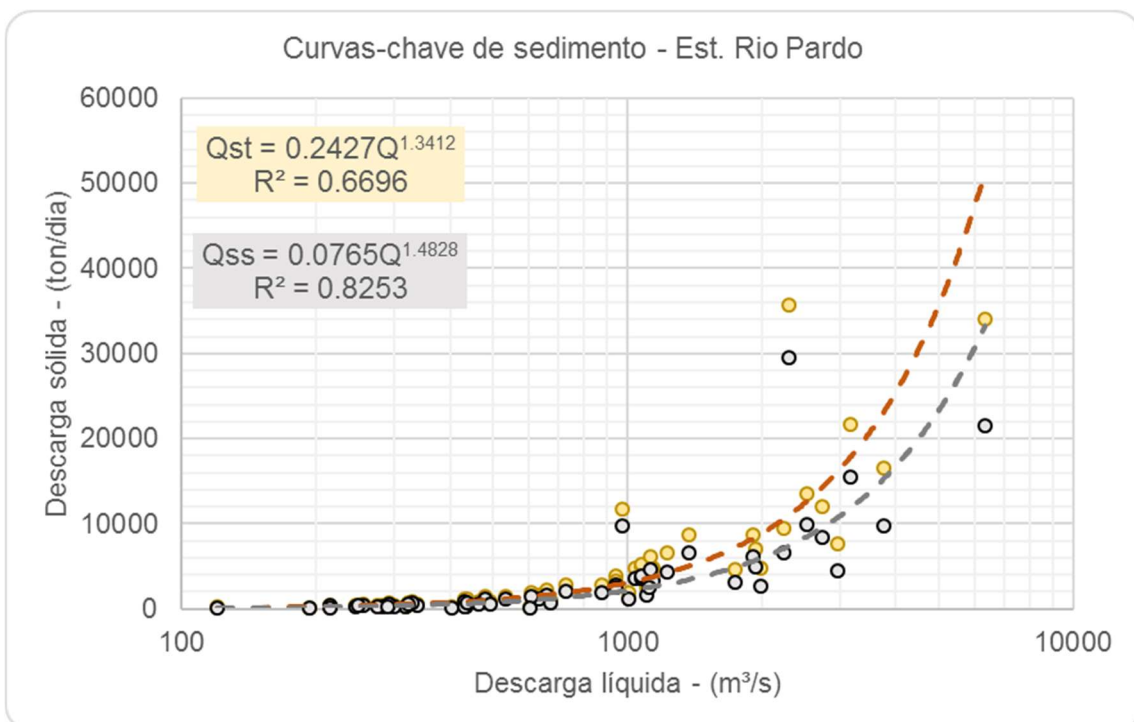


Figura 4.26 – Curvas de Sedimento – Estação Rio Pardo (Rio Jacuí).

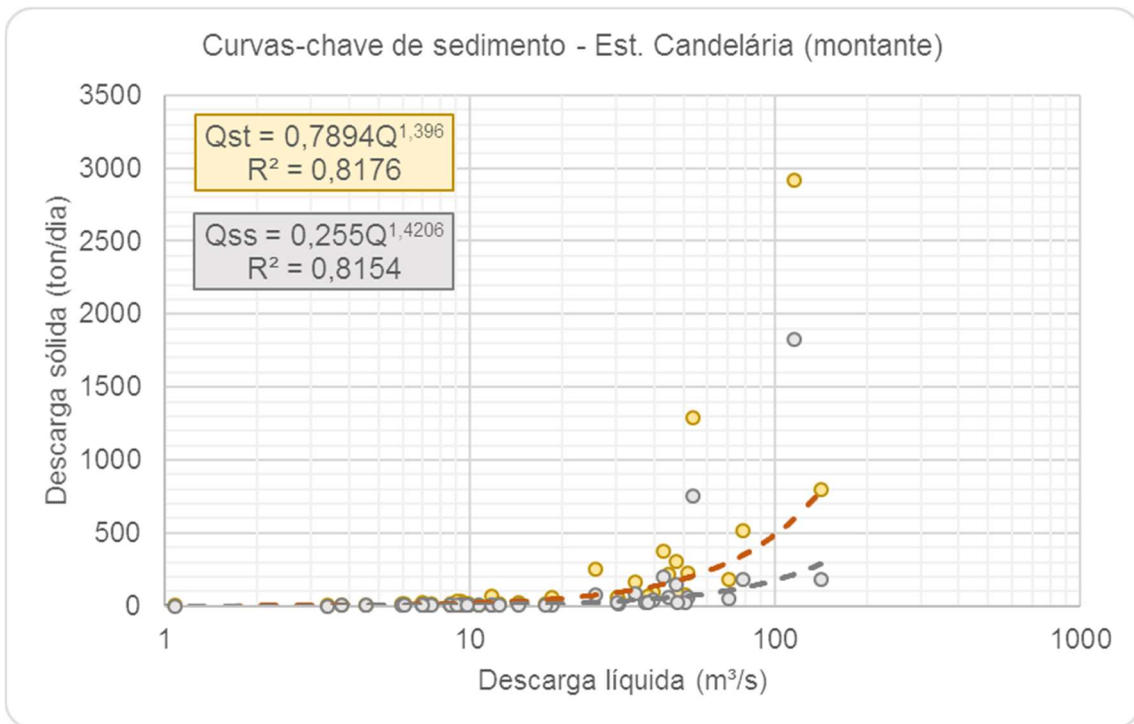


Figura 4.27 – Curvas de Sedimento – Estação Candelária (Rio Pardo).

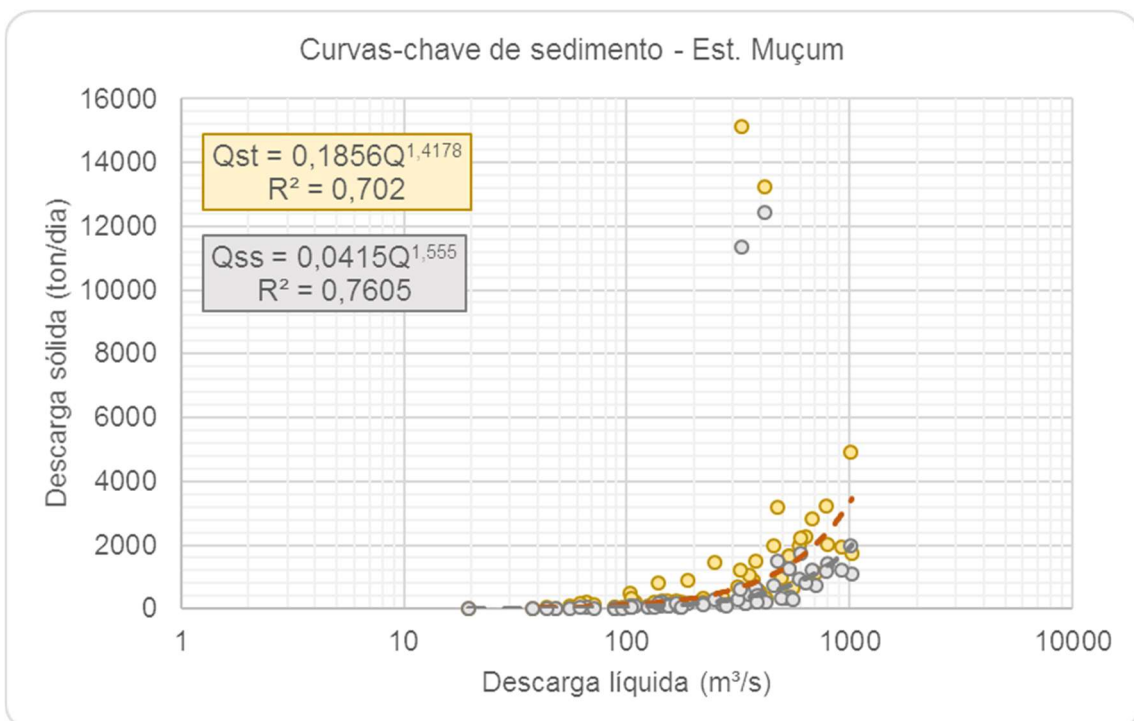


Figura 4.28 – Curvas de Sedimento – Estação Muçum (Rio Taquari).

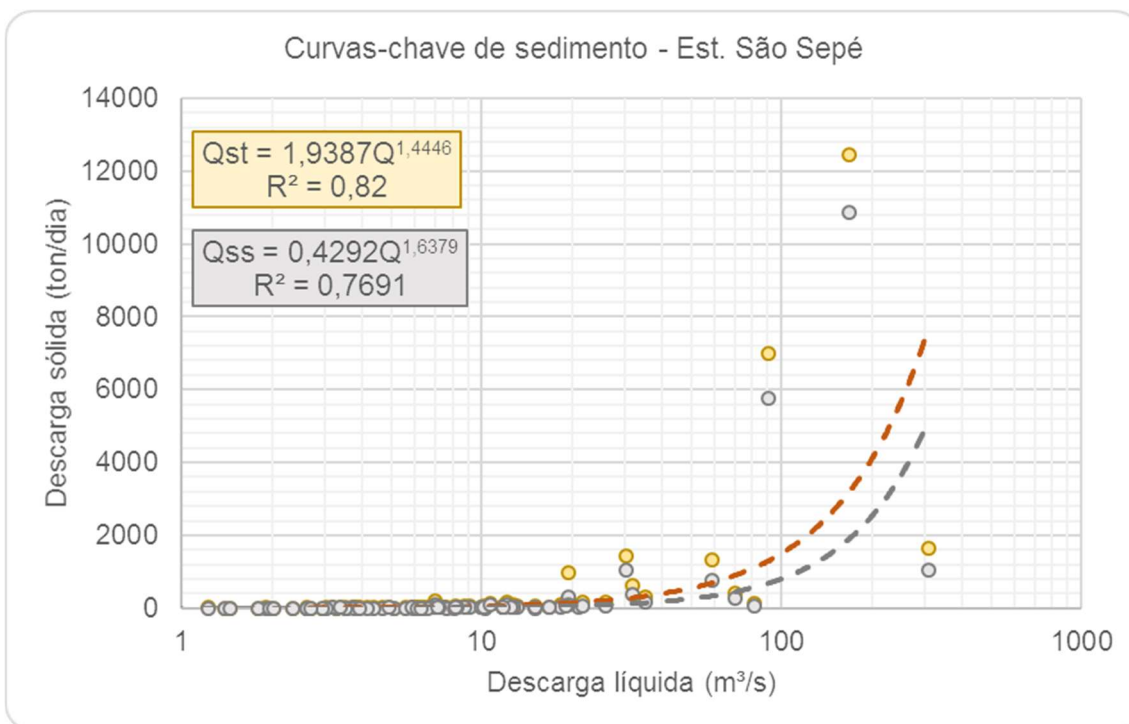


Figura 4.29 – Curvas de Sedimento – Estação São Sepé (Rio São Sepé).

### 4.3 APORTE DE SEDIMENTOS

O aporte de sedimentos utilizados no modelo foi obtido a partir das curvas de sedimento das estações mencionadas no item anterior, tanto para a condição de montante (Rio Jacuí) quanto para a condição lateral (afluentes) e sua distribuição foi realizada com base na área de drenagem mais próxima da estação fluviométrica. No Quadro 4.1 a seguir é apresentada a distribuição das curvas de sedimentos (estações fluviométricas) para cada sub-bacia.

Quadro 4.1 – Distribuição das curvas de sedimento (estações) nas sub-bacias.

Sub-bacias	Curvas de Sedimento (estações fluviométricas)
Rio Jacuí (trecho de montante)	Est. Dona Francisca e Passo das Tunas
Rio Irapuã	Est. Candelária (montante)
Arroio Capané	Est. São Sepé
Rio Botucarai	Est. São Sepé
Rio Iruí	Est. Candelária (montante)
Arroio Dom Marco	Est. São Sepé
Arroio Tabatingai	Est. São Sepé
Rio Pardo	Est. Candelária (montante)
Arroio Capivari	Est. Candelária (montante)
Arroio Francisquinho	Est. São Sepé
Arroio do Conde	Est. São Sepé
Rio Taquari	Est. Muçum
Arroio dos Ratos	Est. Candelária (montante)



## 5 MODELO HIDRODINÂMICO

A modelagem numérica do trecho em estudo do Rio Jacuí foi realizada utilizando o modelo HEC-RAS, o qual foi desenvolvido para simular cálculos hidráulicos unidimensionais em sistemas fluviais naturais ou canais artificiais. Trata-se de um programa computacional gratuito e vem sendo continuamente desenvolvido, possui uma boa interatividade com o usuário e interface gráfica (Graphical User Interface - GUI), ainda mantém alta eficiência e agilidade nos cálculos solicitados. Esse modelo contém quatro componentes básicos de análise: (1) escoamento permanente com determinação de perfis de linha de água; (2) escoamento não-permanente; (3) cálculo de transporte de sedimentos e, (4) análise de qualidade de água. Todos esses ferramentais utilizam-se da mesma representação geométrica do sistema físico e rotinas hidráulicas computacionais, o que proporciona facilidade de troca de informações entre os diferentes componentes.

### 5.1 DESCRIÇÃO DO MODELO

Neste item é apresentado o equacionamento e a metodologia do modelo, sob o ponto de vista operacional, sendo apresentadas as funcionalidades e rotinas utilizadas, mais detalhes sobre o programa podem ser observados nos manuais do mesmo.

#### 5.1.1 Modulo Hidráulico (perfil de linha d'água)

A simulação hidráulica unidimensional tem como objetivo principal estimar o perfil da linha d'água ao longo do canal. Em condições de escoamento permanente, uniforme ou gradualmente variado, a linha d'água entre duas seções consecutivas em um canal, pode ser resolvida pela expressão da conservação da energia, na qual é representada pelo programa HEC-RAS pela seguinte equação:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e$$

onde:  $Y_1$  e  $Y_2$  são as profundidades da água nas seções transversais;  $Z_1$  e  $Z_2$  são as cotas de fundo no canal principal;  $V_1$  e  $V_2$  são as velocidades médias (vazão total / área total de escoamento);  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são os coeficientes de ponderação da velocidade;  $g$  é aceleração gravitacional e  $h_e$  é a perda de energia. Na Figura 5.1 é apresentado os termos dessa equação.

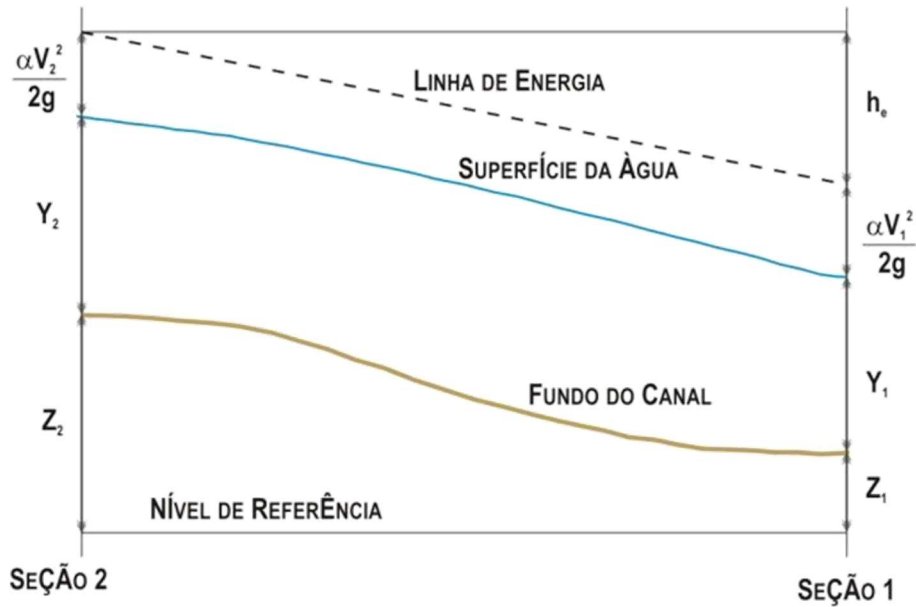


Figura 5.1– Representação dos termos da equação de energia (HEC-RAS, 2016)

A perda de energia é composta de uma perda linear e uma perda singular. Para o presente estudo, é apresentada a perda linear, calculada por  $LxSf$ , onde  $L$  é o comprimento, ponderado pela vazão, do trecho entre duas seções e  $Sf$  é a declividade da linha de atrito entre duas seções. A fórmula para o cálculo de  $L$  é a seguinte:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

onde:  $L_{lob}$ ,  $L_{ch}$ ,  $L_{rob}$  são os comprimentos entre duas seções tomados pela margem esquerda, pelo canal principal e pela margem direita, respectivamente e,  $\bar{Q}_{lob}$ ,  $\bar{Q}_{ch}$  e  $\bar{Q}_{rob}$  são as médias aritméticas, entre duas seções, das vazões tomadas pela margem esquerda, pelo canal principal e pela margem direita, respectivamente

O programa subdivide o escoamento em escoamento no canal principal e escoamento nas margens (ou planícies de inundação), como apresentado na Figura 5.2 a seguir.

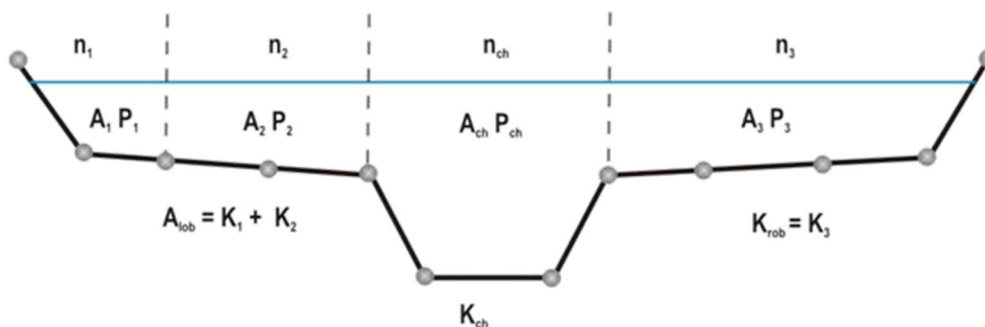


Figura 5.2 – Subdivisão das seções - cálculo da condutância  
Fonte: HEC-RAS (2016).



Usando Manning, a condutância hidráulica é calculada por  $K = \frac{A \cdot R^{2/3}}{n}$  para cada subdivisão. A condutância total da seção é soma das condutâncias  $K_{lob}$ ,  $K_{ch}$ ,  $K_{rob}$ . Do mesmo modo, devem ser adotados valores de coeficientes de rugosidade de Manning para as subdivisões. O cálculo das vazões, então, resulta em  $Q = K \cdot \sqrt{S_f}$ .

O coeficiente  $\alpha$  também é calculado, mediante a seguinte expressão:

$$\alpha = \frac{A_t^2 \cdot \left[ \frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3}$$

onde:  $A_t$  e  $K_t$  são, respectivamente, a área total de escoamento e a condutância total de escoamento.

As demais variáveis correspondem às áreas e condutâncias nas subdivisões. A declividade de atrito é calculada por:

$$\overline{S_f} = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

onde:  $Q_1$  e  $Q_2$  são as vazões nas duas seções consecutivas e  $K_1$  e  $K_2$  são as condutâncias nas duas seções consecutivas.

O procedimento de cálculo iterativo segue os passos descritos abaixo, para o caso do escoamento supercrítico:

1. É assumida uma cota da linha d'água na seção de montante (seção 2);
2. Com base na cota assumida no passo 1, a condutância e a taquicarga totais  $\left( \frac{v^2}{2g} \right)$  correspondentes são determinadas;
3. Com os valores do passo 2, calcula-se  $\overline{S_f}$  ;
4. Com os valores dos passos 2 e 3, resolve-se a Equação de Energia para a cota na seção de montante;
5. Os valores calculados no passo 4 e assumidos no passo 1 são comparados;
6. Repetem-se os passos do 1 ao 5 até que a diferença entre o calculado e o assumido seja menor que 0.01 ft (ou 0.003 m), ou outra tolerância definida pelo usuário.

No passo 1, o critério para se assumir uma cota na seção de montante é: na primeira tentativa, é feita uma projeção da profundidade da água da seção de jusante, na seção de montante; na segunda tentativa, a cota da linha d'água é igual à cota



assumida na tentativa anterior mais 70% do erro na primeira tentativa (calculado – assumido), Em outras palavras:

$$WS_{nova} = WS_{assumida} + 0.70 \cdot (WS_{calculada} - WS_{assumida})$$

A terceira e demais tentativas são geralmente baseadas em um método “secante” de projeção da taxa de variação da diferença entre os valores de cota calculados e assumidos nas tentativas anteriores. A equação do método “secante” é a seguinte:

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} \cdot Err\_Assum / Err\_Diff$$

onde:  $WS_I$  é a nova cota da superfície da água assumida;  $WS_{I-1}$  é a cota da superfície da água assumida na iteração anterior;  $WS_{I-2}$  é a cota da superfície da água assumida a duas iterações anteriores;  $Err_{I-2}$  é o erro entre a cota da superfície da água calculada e a assumida na iteração I-2;  $Err\_Assum = WS_{I-2} - WS_{I-1}$  e  $Err\_Diff = WS_{I-1} - WS_{Calc_{I-1}} + Err_{I-2}$ .

A mudança de uma tentativa para outra é restrita ao máximo de 50 % da profundidade assumida da tentativa anterior. Se  $Err\_Diff$  é menor que  $1 \times 10^{-2}$ , o método secante não é utilizado. Quando isto acontece, o programa calcula uma nova cota como a média entre os valores calculado e assumido na iteração anterior. O máximo número de iterações é de 20. Para maiores detalhes, consultar o Hydraulic Reference Manual (HEC-RAS, 2016)

### **5.1.2 Módulo de Transporte de Sedimentos**

O modelo HEC-RAS oferece duas abordagens hidrodinâmicas para simulação de transporte de sedimentos a partir da versão 5.0, que são: o escoamento quase permanente (utilizado nesse estudo) e não permanente. O modelo de escoamento quase permanente é uma simplificação que consiste em aproximar um hidrograma de escoamento não permanente em uma série de trechos de escoamento permanente. Estes perfis, se comparados a um modelo completo em movimento não permanente, permitem a execução de uma análise mais fácil e rápida para o programa.

#### **5.1.2.1 Continuidade de Sedimento**

Uma vez que o cálculo do escoamento quase permanente passa pela definição de uma série de perfis discretos de escoamento permanente, ele depende, preliminarmente, do ajuste do coeficiente n de Manning para a solução da linha d'água.



A partir daí, o transporte total de sedimentos é calculado pela equação da Continuidade de Sedimento ou Equação de Exner, conforme apresentado abaixo:

$$(1 - \lambda_p)B \frac{\partial Z}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x}$$

onde:  $\lambda_p$  é a porosidade da camada ativa do leito (material que está disponível ao transporte); B é a largura do canal;  $Q_s$  é a descarga sólida total (suspensão e arrasto); t é o tempo e x é a distância longitudinal ao canal. O lado direito da Equação de Exner representa o gradiente de sedimentos ao longo de um volume de controle sendo a entrada igual a saída do volume de controle a montante, e a saída igual a máxima quantidade de sedimento capaz de deixar o volume de controle, denominada de máxima capacidade de transporte de sedimento, que depende da energia do escoamento.

#### 5.1.2.2 Capacidade de Transporte

De acordo com García (2008), a capacidade de transporte de sedimentos é baseada na hipótese clássica de Einstein, a qual assume que a descarga sólida de determinada classe granulométrica é proporcional ao percentual relativo desta classe no leito do canal, conforme a expressão a seguir:

$$T_c = \sum_{j=1}^M n_j \cdot T_j$$

onde:  $T_c$  é a capacidade de transporte total de sedimentos; M é o número de classes granulométricas;  $n_j$  é o percentual relativo de sedimentos da classe j e  $T_j$  é a capacidade de transporte de sedimentos calculado para a classe j. Para o cálculo dessa capacidade de transporte de sedimentos, o modelo HEC-RAS utiliza a classificação padronizada pela *American Geophysical Union*, a qual é dividida em 20 classes de grãos, com diâmetros variando entre 0.002 mm e 2048mm, da argila (*clay*) à blocos de pedra (*large boulder*).

#### 5.1.2.3 Funções de Capacidade de Transporte

O programa HEC-RAS dispõe de 8 funções para determinar a capacidade de transporte de sedimento, são elas: Ackers e White, Meyer-Peter e Muller, Engenlund Hansen, Laursen-Copeland, Toffaleti, Toffaleti-MPM, Yang e Wilcock-Crowe. Todas essas funções foram desenvolvidas e aplicadas sob diferentes condições físicas, a partir de observações em campo e experimentações em laboratório, o que explica a





discrepância observada na capacidade de transporte de sedimentos quando calculada, para um mesmo rio, por diferentes equações. Sendo assim, a escolha de uma ou outra equação utilizada no estudo deve, sempre que possível, se pautar pela similaridade entre os parâmetros hidráulicos dos rios que serviram de base para a formulação da mesma. A seguir é apresentado um breve resumo dessas funções, mais informações sobre esses métodos podem ser consultadas através do manual do HEC-RAS.

vii). *Ackers e White (1973)*: esse método utiliza uma função de carga total, desenvolvida a partir de dados de canal para gradações relativamente uniformes, que variam de areia a cascalhos finos. Sendo seus coeficientes ajustados com base em experimentos que incluíram uma gama de configurações de leito, tais como: ondulações, dunas e condições de leito plano;

viii). *Meyer-Peter e Muller – PMP (1948)*: foi uma das primeiras equações desenvolvidas e ainda é uma das mais utilizadas, sendo basicamente uma função simples da tensão de arraste. Foi desenvolvida a partir de experimentos com cascalhos e areia em fundo plano;

ix). *Engenlund-Hansen (1967)*: essa função calcula a carga total de sedimentos, na qual fornece resultados adequados para rios arenosos e formado por dunas, sendo extensivamente testada em campo para obtenção de dados consistentes;

x). *Laursen-Copelan (1968)*: o método de Laursen é um indicador de carga total de sedimentos, derivado de uma combinação de análise qualitativa, experimentos originais e dados suplementados. O transporte de sedimentos é definido com base nas características hidráulicas (velocidade média, profundidade e gradiente de energia) e das características de gradação e velocidade de queda do sedimento. Copeland em 1989 generalizou a equação para transporte de cascalho, tornando-a aplicável a leitos graduados;

xi). *Toffaleti (1968)*: é a função de carga total de Einstein modificada que divide a distribuição da carga suspensa em zonas verticais. Essa função descreve a relação entre sedimentos, hidráulica e temperatura da água com um conjunto de regressões. O USACE a partir da aplicação desse método em alguns rios nos Estados Unidos, observou que esse método não apresentou um bom desempenho para partículas de tamanho de cascalho, devido a isso, a partir da versão HEC-RAS 5.0 foi incluída uma função combinada *Toffaleti-MPM* a fim de atenuar essa limitação;



xii). *Yang (1973)*: esse método propõe um equacionamento desenvolvido a partir de dados de campo e experimentais, para carga total de sedimentos, ou seja, sedimentos de leito e sedimentos em suspensão, desde areias até cascalhos. Essa função tende a ser muito sensível à velocidade da corrente e à velocidade de queda do que a maioria;

xiii). *Wilcock-Crowe (2001)*: essa função é utilizada para estimar sedimentos em suspensão baseado na teoria de que o transporte é dependente do material em contato direto com o fluxo. Sendo desenvolvida com base nas gradações de superfície de canais e rios. Na escolha dessa função, deve-se optar em escolher o método de classificação/mistura do leito “Active Layer”.

#### 5.1.2.4 Velocidade de Queda

A maioria das teorias de velocidade de queda é derivada do balanço da força gravitacional e da força de arraste de uma partícula em queda através de uma coluna d’água (USACE, 2016a). Na Figura 5.3 é apresentado o diagrama de corpo livre utilizado para o cálculo da velocidade de queda.

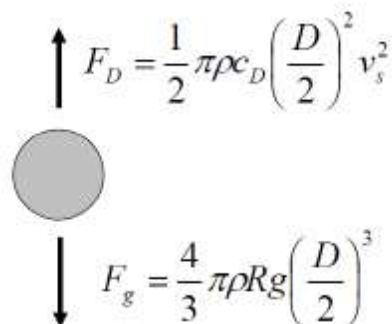


Figura 5.3 – Diagrama de corpo livre.  
Fonte: USACE (2016a).

O modelo HEC-RAS apresenta 4 métodos para o cálculo da velocidade de queda, são eles: Rubey, Toffaleti, Van Rijn e Report 12. O método de Rubey (1933) baseia-se em uma relação analítica entre propriedades do fluido e dos sedimentos para explicitar as funções e resolvê-las analiticamente, enquanto Toffaleti (1968) montou uma tabela de velocidade de queda para grãos com fator de forma 0.9 e peso específico do grão de 2.65 tf/m<sup>3</sup>, na qual possui valores para diferentes temperaturas e granulometrias, com as classes de grãos variando entre areia muito fina e cascalho médio. O método de Van Rijn (1993) são curvas baseadas nos resultados de experimentos do comitê Norte-Americano Inter-Agencial de Recursos Hídricos (IACWR), utilizando partículas não esféricas com fator de forma 0.7 e temperatura de



20°C. O método Report 12 é uma solução iterativa que usa as curvas de Van Rijn como hipótese inicial, encontrado um valor inicial para a velocidade de queda e, a partir desta, recalcula o número de Reynolds, fazendo o processo iterativo até a convergência dos resultados com tolerância aceitável.

#### 5.1.2.5 Método de Classificação / Mistura do Leito

Esse método é utilizado para calcular a espessura do leito móvel, ou seja, ele mantém um registro da gradação utilizado para calcular a capacidade de transporte de sedimento e simula processos que regulam o processo de erosão.

Essa gradação do leito é coberta por uma camada de material mais grosseiro, chamada de camada de blindagem ou encouraçamento do leito. Essa camada é formada por uma blindagem estática ou pela diferença de transporte de materiais finos. Segundo Elsayed (2013), a maioria dos fluxos transportam partículas finas, enquanto o material grosso é estático e protege o material mais profundo do transporte.

O modelo HEC-RAS possui três métodos para calcular essa camada: o método de Thomas, o método de Copeland (1993) e o método Active Layer.

- i). *Método de Thomas (1982)*: propõe três camadas que subdivide a camada ativa em duas, uma de cobertura e outra de subsuperfície. De acordo com esse método, se os grãos mais finos são transportados mais rapidamente do que os mais grosseiros, a camada de cobertura aumenta, reduzindo o transporte de arrasto;
- ii). *Método de Copeland (1993)*: Copeland ajustou o método de Thomas para torná-lo mais aplicável aos leitos de areia. Ele subdivide a camada ativa em camadas de cobertura e superficial, permitindo que a gradação da primeira regule a erosão a partir da última. O procedimento de cálculo é em função dos diâmetros de partículas equivalentes das classes de grãos mais grossos, permitindo mais erosão e tornando adequado para grandes rios;
- iii). *Método Active Layer*: nesse método a espessura da camada é definida como padrão para o  $d_{90}$ . É válido para cascalho e condicionada para a utilização da equação de transporte de Wilcock e Crowe.



## 5.2 ELABORAÇÃO DO MNT (MODELO NUMÉRICO DO TERRENO)

Para a realização da simulação hidrodinâmica, é necessário dispor de um modelo numérico do terreno que represente de maneira adequada a calha do curso d'água na qual a vazão será propagada, assim como também as regiões de entorno (margens). Para isso foram utilizadas quatro fontes: dados secundários (conforme apresentado no relatório RT2), dados primários (conforme apresentado no relatório RT3), Projeto de Estruturação do Desenvolvimento Hidroviário no Rio Grande do Sul e a base cartográfica vetorial contínua do Estado do Rio Grande do Sul.

### 5.2.1 *Dados para representação da calha do Rio Jacuí*

Com base nas informações disponíveis, foi desconsiderado o aspecto temporal dos dados de batimetria, sendo utilizados para a representação da calha do Rio Jacuí, os dados primários e secundários oriundos de produtos anteriores e o Projeto de Estruturação do Desenvolvimento Hidroviário no Rio Grande do Sul.

Com relação aos dados primários, conforme apresentado no relatório RT3, parte do estudo tinha como objetivo o levantamento topobatimétrico de 25 seções de referência distribuídas ao longo do Rio Jacuí, na qual foi gerada uma malha de pontos para cada seção transversal.

Sobre os dados secundários, foram utilizados os dados de batimetria disponíveis dos processos de licenciamento ambiental disponibilizados pela FEPAM e apresentados no relatório RT2. Com base nessas informações foi realizada uma análise da consistência dos dados com base nos dados primários (seções topobatimétricas) de modo a evitar discrepâncias, com isso foram escolhidos dados de batimetria de 29 processos.

No Projeto de Estruturação do Desenvolvimento Hidroviário no RS, foi realizado o levantamento batimétrico dos principais rios de navegação do Estado, entretanto esse levantamento só abrange o canal navegável. Em alguns casos a largura desse canal é menor que a calha do rio, caso do Rio Jacuí. Outro ponto em questão foi com relação a amarração dos dados com o levantamento do estudo. Em certos trechos, comparando com o levantamento de campo, os resultados eram bastante diferentes, já em outros estavam adequados. Dessa forma, não foram utilizados todos os dados disponíveis desse estudo, apenas aqueles que estavam coerentes e adequados ao levantamento de campo.



A maioria dos dados de batimetria existentes a partir do levantamento dos dados secundários e do Projeto de Estruturação do Desenvolvimento Hidroviário no RS, se concentrava mais no trecho de jusante do Rio Jacuí. Para suprir as falhas nos trechos onde não se tinham dados, foi realizado uma interpolação linear entre as seções do levantamento de campo com os dados de batimetria existente. Essa interpolação foi realizada da seguinte forma: (i) primeiramente foram definidas seções ao longo do trecho a ser simulado, com equidistância máxima de 150 m nos trechos retilíneos, sendo menor para os trechos com sinuosidade; (ii) para cada seção foram atribuídos 9 pontos (4 pontos para as margens e 5 pontos para a calha) e distribuídos conforme as seções do levantamento topobatimétrico e/ou dos dados de batimetria existentes; (iii) a partir desses pontos foi realizada a interpolação linear para cada trecho, ou seja, entre as seções do levantamento topobatimétrico e dos dados de batimetria existentes; (iv) o resultado gerado foi uma malha de pontos interpolados com base nas informações dos dados primários.

### **5.2.2 Dados para representação do entorno (margens)**

Para representação da planície de inundação foram utilizados os dados primários (levantamento topográfico das margens das 25 seções de referências) e a base cartográfica vetorial contínua do Estado do Rio Grande do Sul.

O levantamento topográfico das seções de referência foi realizado para todas as seções abrangendo uma largura de 100 metros de cada margem. Para complementação dos trechos entre as seções foi utilizada base cartográfica vetorial contínua do Estado do RS, especificamente os elementos de altimetria (pontos cotados e curvas de nível).

### **5.2.3 Modelo Numérico do Terreno (MNT)**

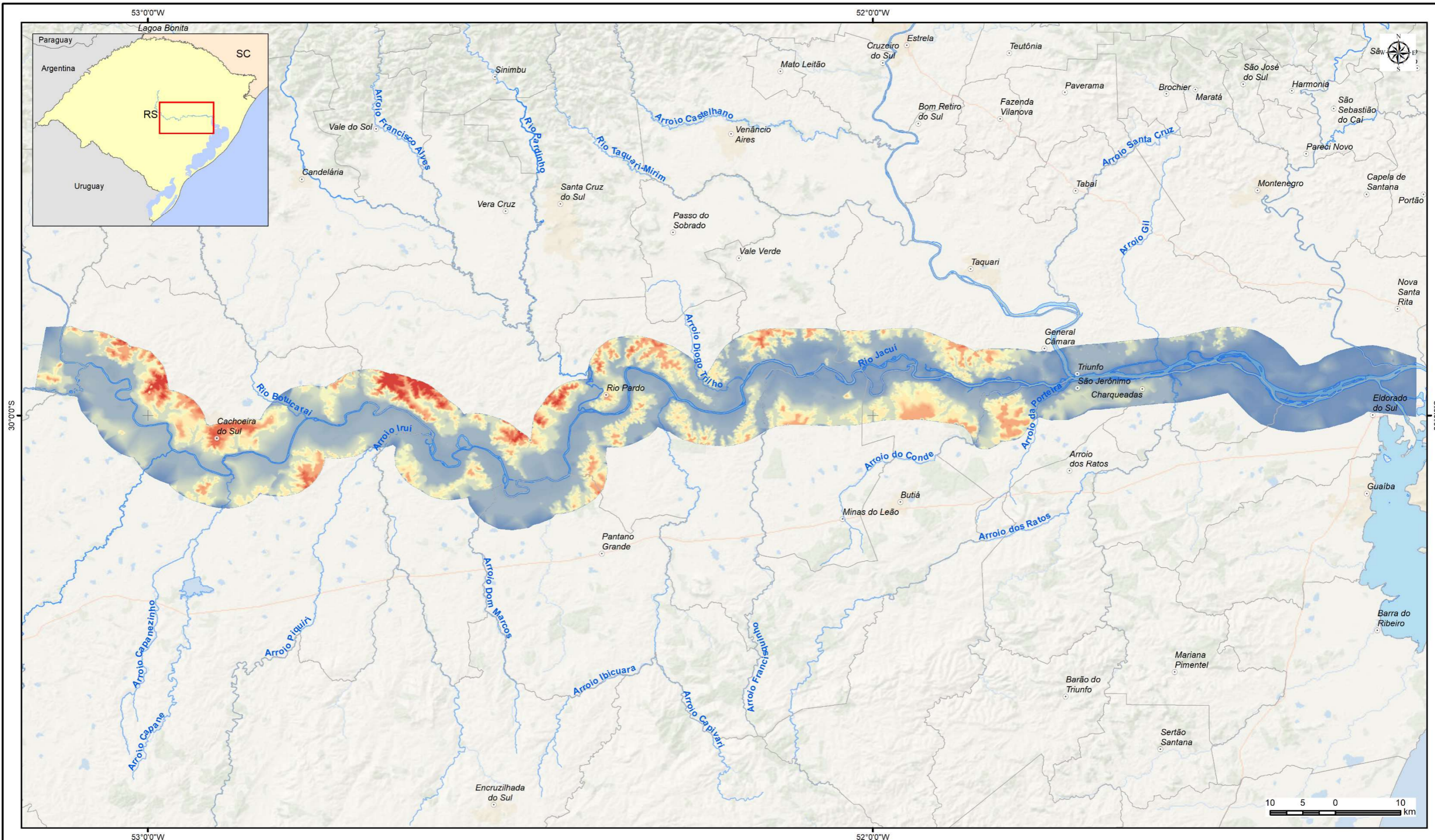
O MNT foi obtido a partir das informações vetoriais (pontos e curvas de nível) conforme descrito nos itens anteriores. Para sua construção foram utilizadas as ferramentas do software ArcGIS, ou seja, a partir dos arquivos de pontos e curvas de nível em formato shapefile foi gerado um arquivo TIN (barra de ferramentas: *3D Analyst / Create TIN from features*) utilizando como variável de interpolação as cotas dos pontos e das curvas de nível. Esta ferramenta do ArcGIS utiliza como metodologia para geração da malha a “Triangulação de Delaunay”, cujo critério para sua triangulação é o de maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo, ou seja, a malha final deve conter triângulos o mais próximo de equiláteros possível evitando-se a criação de triângulos



com ângulos internos muito agudos. O arquivo TIN resultante foi utilizado como subsídio para elaboração do modelo hidrodinâmico como descrito no item 5.3.

Essa metodologia para obtenção do MNT tem sido utilizada em diversos trabalhos que envolvem a simulação hidrodinâmica, dos quais podem-se citar: *“Estudo de Alternativas para Minimização do Efeito das Cheias do Trecho Baixo do Rio Cai”* elaborado para Secretaria de Obras Públicas, Irrigação e Desenvolvimento Urbano do Estado RS e *“Elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá”* elaborado para Fundação Agência das Bacias PCJ.

O Resultado do Modelo Numérico do Terreno é apresentado no Mapa 5.1



**LEGENDA**

- Sede municipal
  - Rios principais
  - Espelho d'água
  - Limite municipal
- Altimetria (m)**
- Máximo : 154.0
  - Mínimo : -16.5

Elaboração: **PROFILL** Contratação e fiscalização: **Fepam**

**RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: 1:575.000

**Mapa 5.1 - Modelo Numérico do Terreno (MNT) para o trecho em estudo do Rio Jacuí**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Modelo de terreno: Profill, 2019



### 5.3 CENÁRIOS CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO

Para avaliar as alterações nos padrões de escoamento e no comportamento das seções, foram definidos dois cenários com base na geometria, denominados neste relatório de Cenário 1 e Cenário 2, conforme descritos nos itens seguintes.

#### 5.3.1 Cenário 1

O Cenário 1 representa a geometria elaborada a partir dos dados primários e secundários (Modelo Número do Terreno – MNT, ver item 5.2).

#### 5.3.2 Cenário 2

O Cenário 2 representa a mesma geometria do Cenário 1, porém com alteração da seção nas áreas de mineração, essas áreas representam os ativos do DNPM e os ativos que possuem licença na FEPAM, conforme apresentado no relatório RT2. Para definição dessa nova geometria, foram adotados alguns critérios para a alteração das seções, conforme apresentados abaixo:

- i). *Afastamento das margens: 50 metros;*
- ii). *Afastamento das ilhas: 50 metros;*
- iii). *Afastamento das estruturas (pontes e outras obras): conforme a legislação;*
- iv). *Limitação em relação ao bedrock<sup>1</sup>: 1 metro, ou seja, mantém uma espessura de 1 metro entre o bedrock e a cota de fundo da seção (Figura 5.4);*
- v). *Lança máxima de mineração: 11 metros a partir do nível d'água (Figura 5.5).*

Nas figuras a seguir são apresentados exemplos de seções alteradas para ilustrar os critérios (iv) e (v). No Mapa 5.2 são apresentados os locais onde as seções foram alteradas para representar o Cenário 2. Cabe ressaltar que algumas áreas de mineração ficaram de fora da seleção devido a espessura entre o *bedrock* e a cota de fundo da seção ser menor que 1 metro.

<sup>1</sup> Substrato Rochoso, cuja profundidade foi obtida a partir da sondagem a percussão SPT.



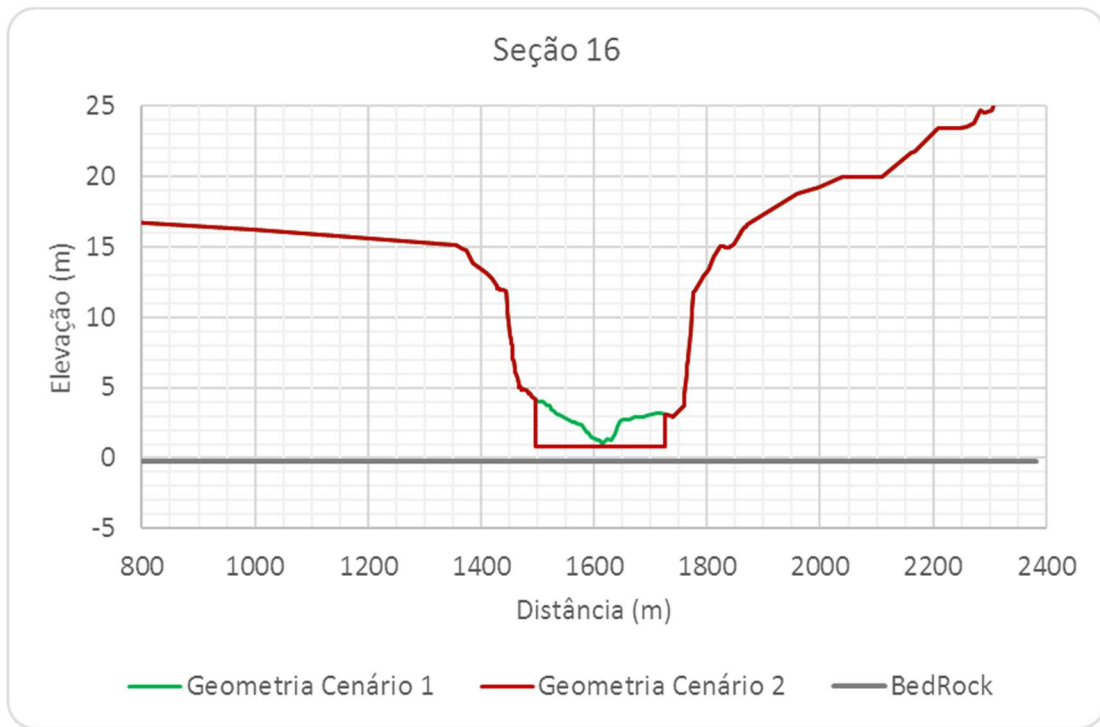


Figura 5.4 – Exemplo da seção alterada – critério (iv).

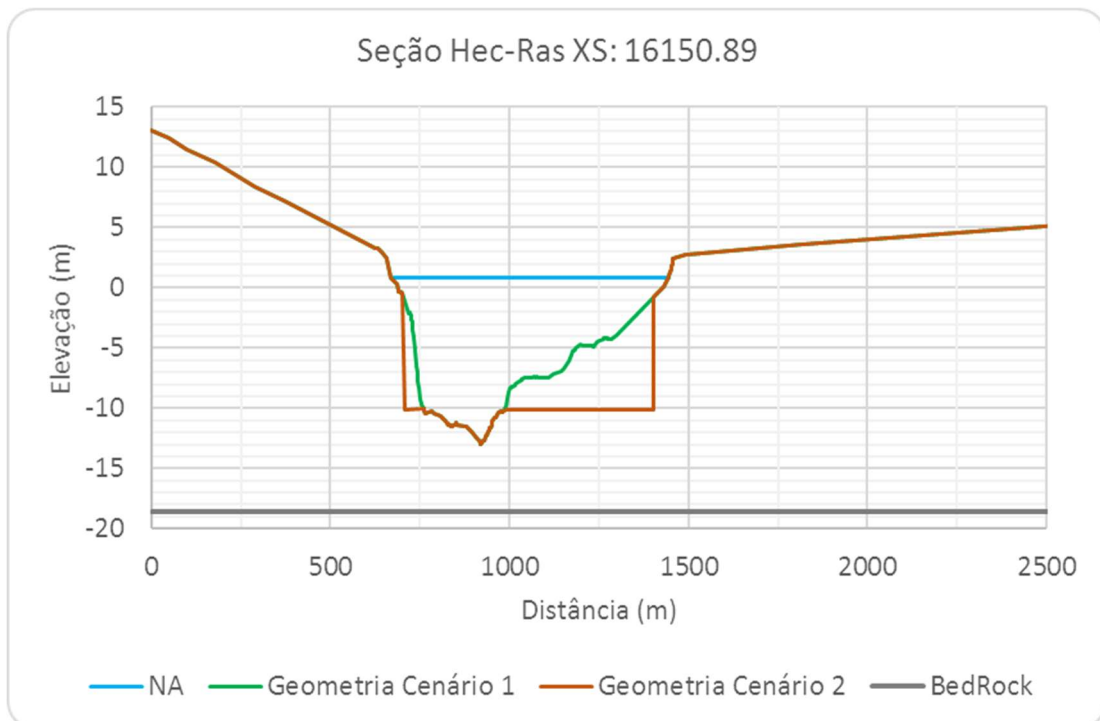
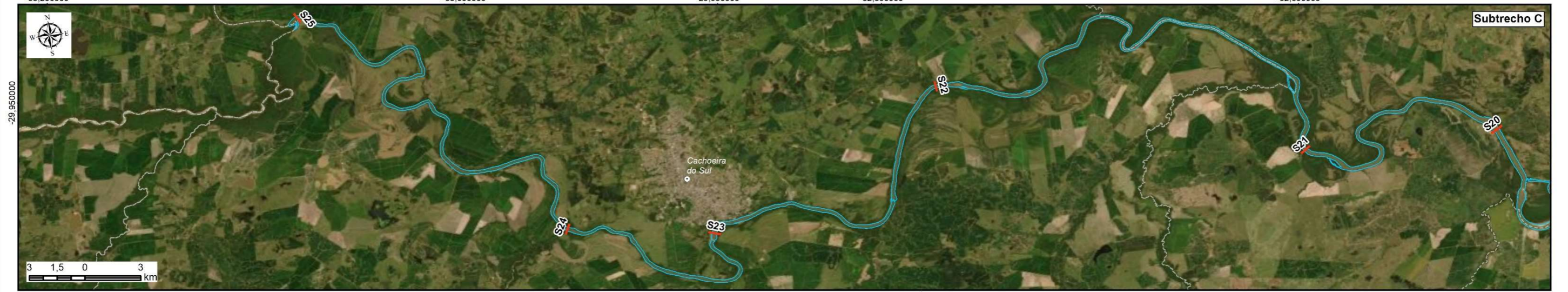
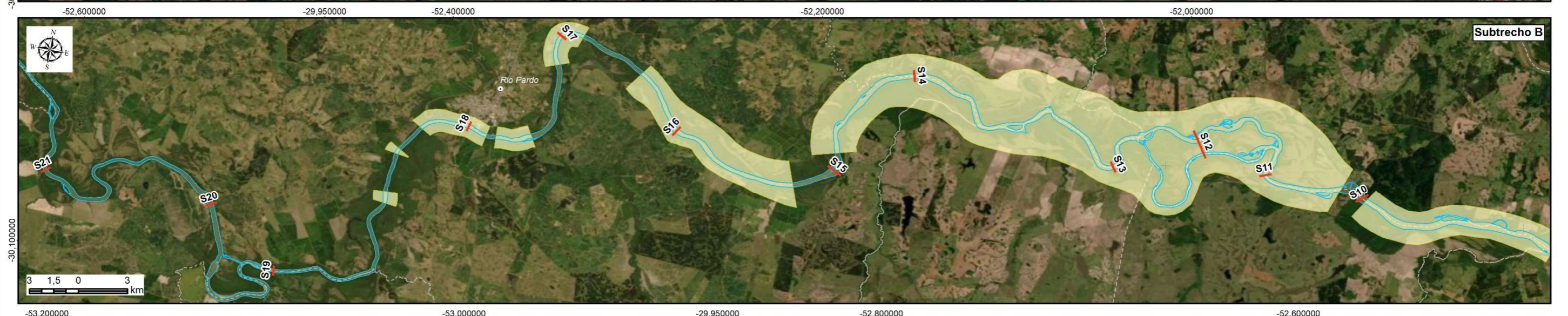
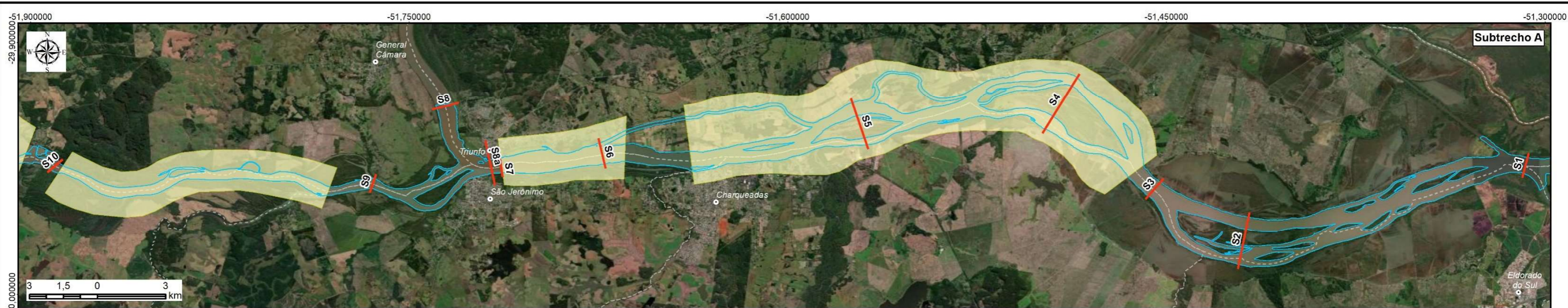


Figura 5.5 – Exemplo da seção alterada - critério (v).



**LEGENDA**

- Sede municipal
- Seções topobatimétricas
- ~ Calha do rio
- - - Limite municipal
- Áreas com atividades de mineração

Nota: A Seção 8a representa uma seção interpolada, junto a foz do Rio Taquari, para caracterizar aquele trecho, pela sua relevância



Elaboração  
**PROFILL**

**RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**  
**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Contratação e fiscalização  
**Fepam**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: Indicada

**Mapa 5.2 - Áreas com atividades de mineração em que foram alteradas as seções (Cenário 2)**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2016)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Seções topobatimétricas: Profill, 2019  
- Áreas de mineração: Adaptado de DNPM e FEPAM



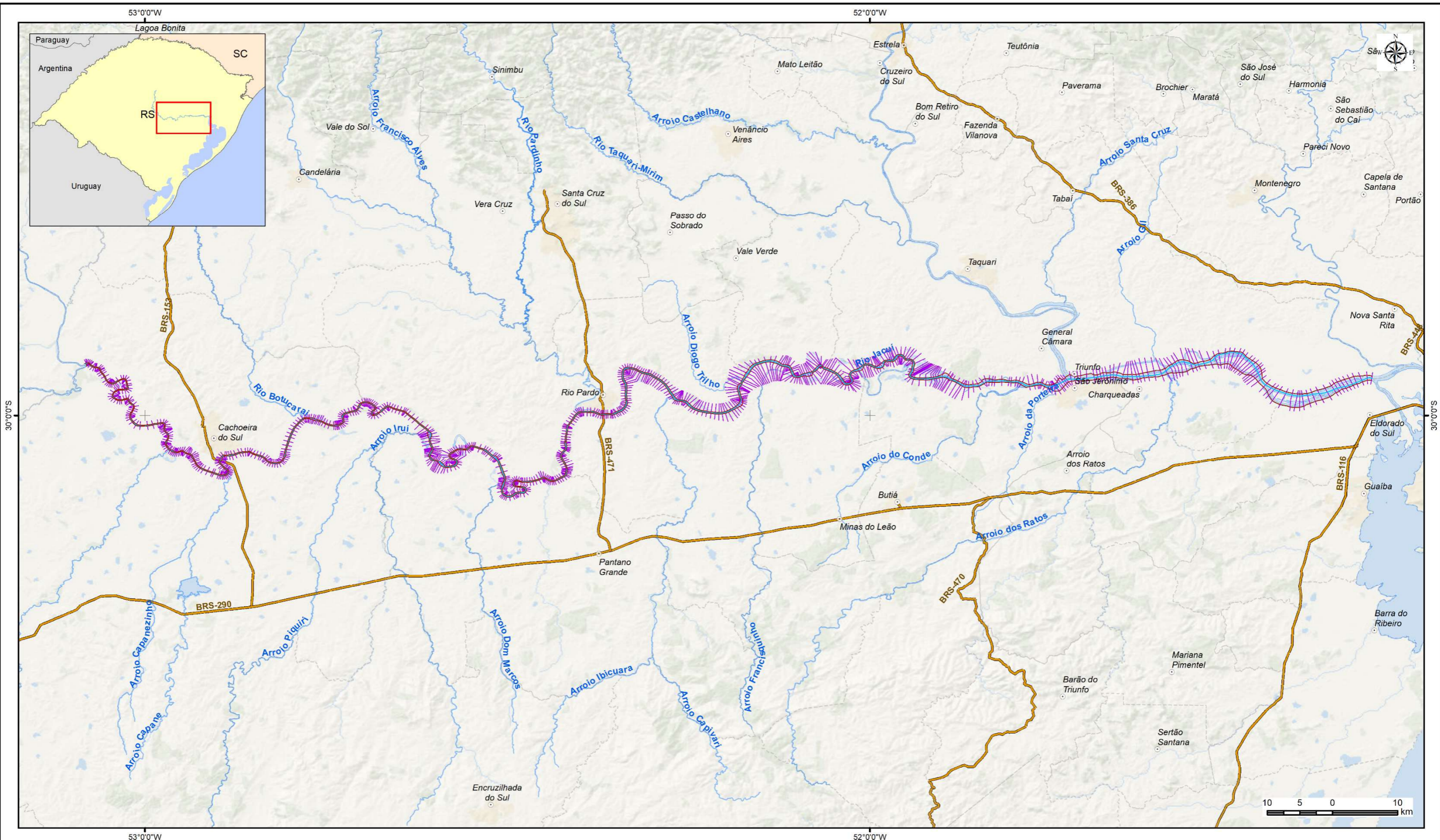
## 5.4 SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA

Neste item são apresentadas as etapas para realização da simulação da hidrodinâmica e o transporte de sedimentos para o trecho em estudo do Rio Jacuí, conforme descritas nos itens seguintes.

### 5.4.1 *Elaboração do modelo no HEC-RAS*

Para construção do trecho em estudo do Rio Jacuí no programa HEC-RAS foi utilizado uma ferramenta denominada HEC-GeoRAS, a qual está associada ao programa e apresenta uma série de rotinas e ferramentas que processam dados geoespaciais através do software ArcGIS, utilizando o *GUI (Graphical User Interface)*, e os preparam para usar no HEC-RAS. Além disso ele também faz a interface entre os resultados das simulações obtidas no HEC-RAS com o ArcGIS. Para isso, basta dispor de um modelo digital do terreno (arquivo TIN) da região em estudo, conforme apresentado no item 5.2. Dessa forma foi caracterizado todo o sistema fluvial (referente ao trecho do Rio Jacuí) previamente no ArcGIS, tais como canal principal, seções topobatimétricas, rugosidade hidráulica do terreno de modo a facilitar a entrada de dados e, posteriormente, executar as simulações no HEC-RAS.

O Rio Jacuí foi representado no modelo utilizando, além das 25 seções do levantamento de campo, 781 seções transversais ao longo do trecho em estudo (totalizando 806 seções). Essas seções foram geradas a partir do Modelo Numérico do Terreno. Além dessas seções foram representados também o eixo e a calha do Rio Jacuí, totalizando um comprimento de aproximadamente 261 km. No Mapa 5.3 mostra a representação do trecho do Rio Jacuí para a simulação hidrodinâmica.



**LEGENDA**

- Sede municipal
- Rodovia
- Rios principais
- Margens do Jacuí no modelo HecRAS
- Rio Jacuí no modelo HecRAS
- Seções do modelo HecRAS
- Limite municipal

Elaboração  
**PROFILL**

**RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**  
**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Contratação e fiscalização  
**Fepam**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: 1:575.000

**Mapa 5.3 - Representação do trecho no modelo HEC-RAS**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Modelagem do trecho: Profill (2019)



## 5.4.2 Condições de contorno

Neste item são apresentados os principais dados de entrada utilizados no modelo HEC-RAS, conforme são descritos a seguir.

### 5.4.2.1 Dados de Vazão e Níveis

A simulação tanto para calibração quanto para a simulação do transporte de sedimentos foi realizada utilizando os dados de vazão média mensais, conforme apresentado no item 3.2.

Para calibração do modelo (simulação hidrodinâmica) foi considerado o escoamento permanente e a vazão inserida no modelo foi a vazão média de longo termo (Q<sub>mlt</sub>). Para simulação de sedimentos o escoamento considerado foi o quase permanente e a vazão inserida foi através do hidrograma sintético para um ano hidrológico utilizando as médias mensais e sua sazonalidade.

A inserção dos dados para a calibração foi feita tomando com base no diagrama unifilar da bacia \ croqui (Figura 5.6 e Figura 5.7) e adotou-se o seguinte critério: para as sub-bacias com contribuição pontual, a vazão foi inserida na seção do Rio Jacuí mais próxima da sua foz, já para as sub-bacias com contribuição lateral a distribuição da vazão foi realizada de forma linear ao longo do trecho do Rio Jacuí que faz parte a sub-bacia. De forma análoga o mesmo foi realizado para a simulação de sedimentos, porém por se tratar de um escoamento quase permanente a entrada de dados é representado por um hidrograma contínuo com uma série de patamares discretos de escoamento permanente. Para representação desses patamares foram adotados os seguintes Incrementos Computacionais (IC), conforme apresentado no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – IC adotados para simulação de sedimentos.

Vazão (m³/s) (intervalo)		Incremento Computacional
0	100	10
100	500	5
500	1000	2
1000	3000	0.5

Esses incrementos são inseridos no modelo e transformação do hidrograma com a série de patamares discretos é gerado automaticamente.



Para as condições de jusante, foi adotado os níveis médios mensais da estação Harmonia (cod.: 87450003), cujos valores são apresentados no Quadro 5.2 a seguir.

Quadro 5.2 – Níveis médios da Estação Harmonia – condição de jusante.

<b>Mês</b>	<b>Nível médio (m)</b>
jan	0.30
fev	0.40
mar	0.40
abr	0.50
mai	0.70
jun	0.90
jul	1.00
ago	0.80
set	0.80
out	0.80
nov	0.60
dez	0.40

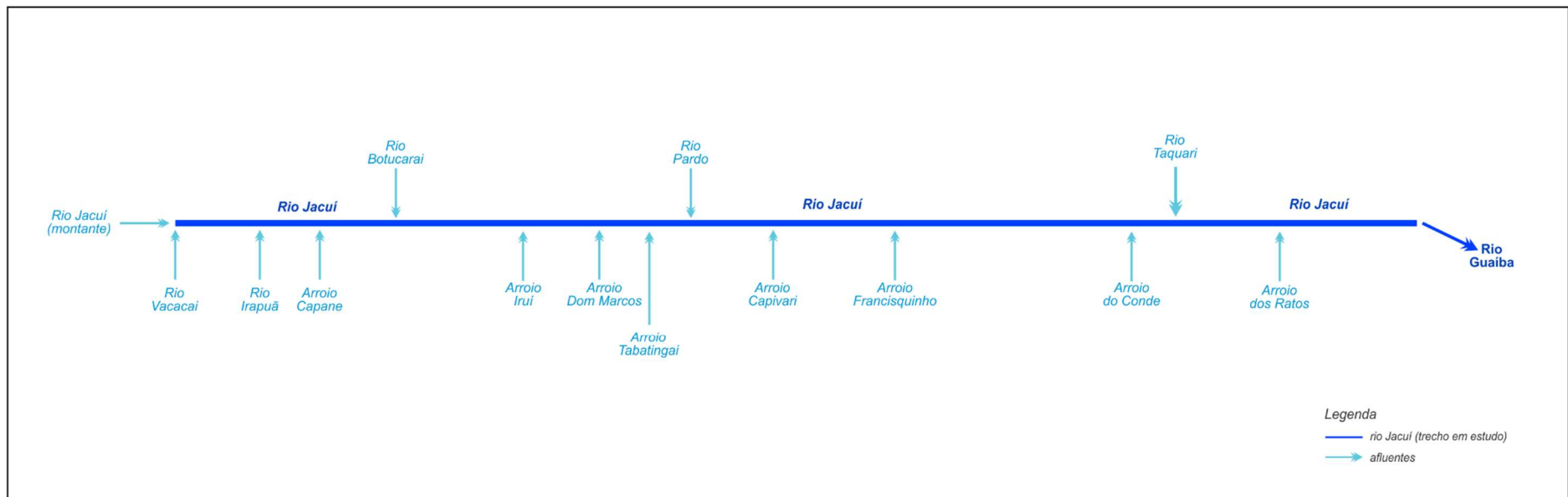


Figura 5.6 – Diagrama Unifilar Ortogonal para simulação do trecho do rio Jacuí.

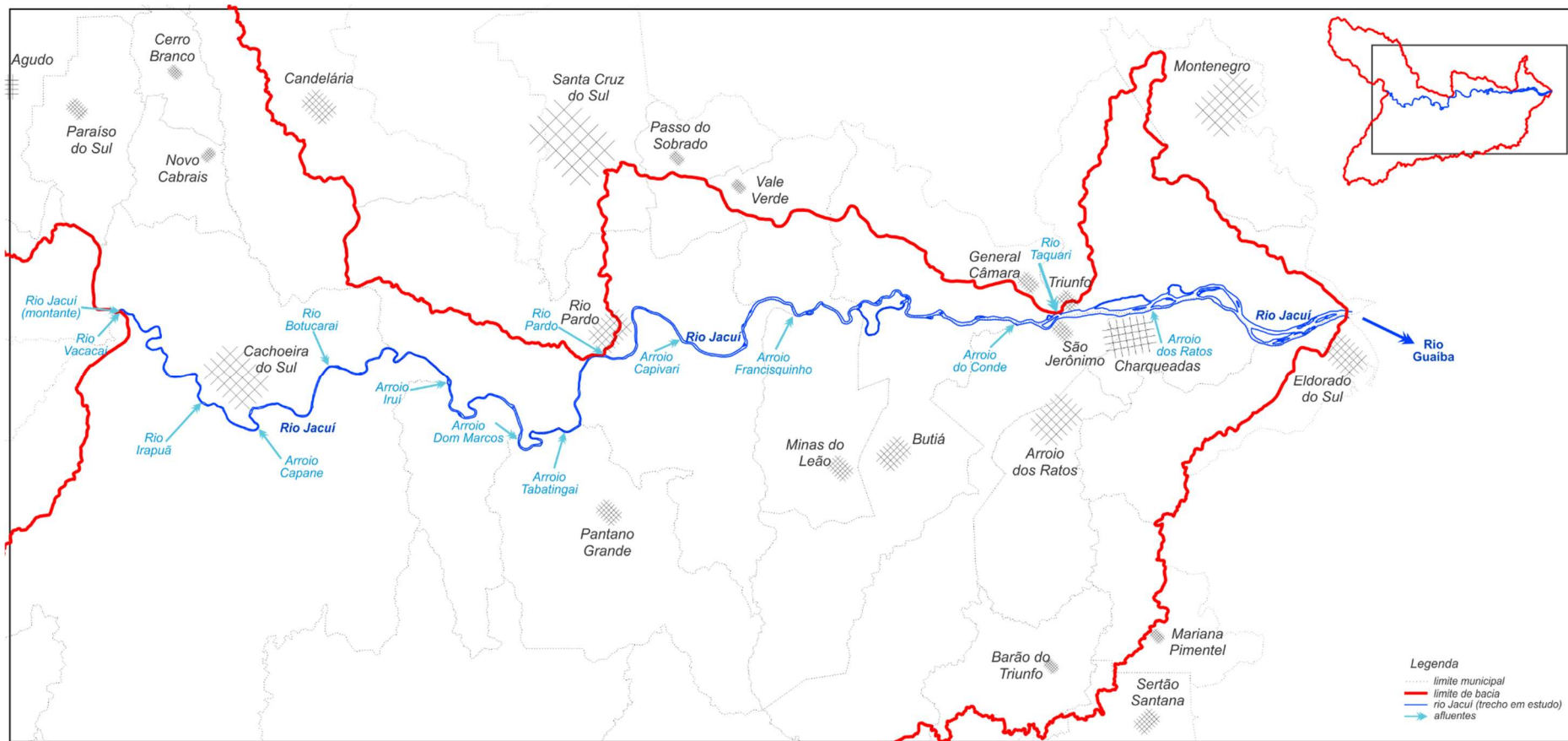


Figura 5.7 – Croqui com localidades do trecho do Rio Jacuí, utilizado na simulação.





#### 5.4.2.2 Dados de Sedimentos

As condições de contorno do modelo para a análise do transporte de sedimento, estão relacionadas, tanto para a escolha das funções e/ou métodos como: capacidade de transporte, velocidade de queda das partículas e mistura do leito; quanto dados de campo (granulometria, curva de descarga e profundidade máxima de erosão). Com relação a escolha das funções e métodos utilizados na simulação será comentado no item 5.4.3, já com relação aos dados de campo são apresentados nos tópicos seguintes:

i). *Granulometria*: para caracterização do leito do Jacuí, foram utilizadas as curvas granulométricas das seções de referência (item 4). Para as outras seções utilizadas na construção do modelo, a granulometria é representada pela interpolação entre as seções de campo, na qual o modelo faz isso automaticamente;

ii). *Curva de descarga*: foi a opção adotada para condição de contorno a montante. Essa curva avalia a produção de sedimentos baseando-se no incremento da vazão na seção transversal à montante. Para construção dessa curva foram utilizadas as curvas-chave de sedimento das estações Dona Francisca e Passo das Dunas, as quais representam as principais contribuições a montante recebida pelos rios Jacuí e Vacacaí, respectivamente;

iii). *Profundidade máxima de erosão*: representa a camada máxima onde pode ocorrer alteração do leito da seção (erosão). Essa profundidade foi determinada a partir dos perfis de sondagem das seções de referência (apresentados no relatório técnico RT4), através do cálculo da diferença entre a cota do “*bedrock*”<sup>2</sup> e o fundo da seção. Nos trechos entre as seções a camada máxima foi definida por interpolação. No Quadro 5.3 são apresentadas as profundidades das seções de referência.

Quadro 5.3– Profundidades máximas de erosão das seções de referências.

Seções de Referência	Profund. Máxima	Seções de Referência	Profund. Máxima	Seções de Referência	Profund. Máxima	Seções de Referência	Profund. Máxima
Seção 1	16.30	Seção 8	4.40	Seção 15	2.40	Seção 22	0.20
Seção 2	14.30	Seção 9	4.10	Seção 16	1.20	Seção 23	0.50
Seção 3	5.20	Seção 10	2.00	Seção 17	1.10	Seção 24	0.40
Seção 4	7.70	Seção 11	2.50	Seção 18	1.20	Seção 25	0.50
Seção 5	2.80	Seção 12	1.50	Seção 19	1.00		
Seção 6	7.00	Seção 13	1.90	Seção 20	0.50		

<sup>2</sup> Substrato Rochoso, cuja profundidade foi obtida a partir da sondagem a percussão SPT.



Seções de Referência	Profund. Máxima	Seções de Referência	Profund. Máxima	Seções de Referência	Profund. Máxima	Seções de Referência	Profund. Máxima
Seção 7	4.20	Seção 14	2.20	Seção 21	0.05		

### 5.4.3 Calibração do modelo

A calibração do modelo ocorreu em duas etapas: a primeira foi o ajuste do perfil da linha d'água através da calibração do coeficiente de Manning e a segunda foi o ajuste do leito móvel através do método da capacidade de transporte de sedimento.

#### 5.4.3.1 Ajuste da linha d'água

A calibração do coeficiente de Manning foi realizada em regime permanente através da comparação visual de níveis observados e calculados utilizando dados médios mensais de vazão e níveis. As estações (no sentido de montante para jusante) escolhidas para essa comparação foram as seguintes: Passo São Lourenço (cod.: 85642000), Rio Pardo (cod.: 85900000), Barragem Amarópolis – jusante (cod.: 85990002), São Jerônimo (cod.: 87020000) e Praça da Harmonia (cod.: 87450003).

Após várias simulações, os valores do coeficiente de Manning resultantes da calibração variam de 0.040 a 0.045 para as margens e 0.022 a 0.033 para a calha do Rio. Na Figura 5.8 apresenta o perfil da linha d'água resultante da calibração de n. Observa-se nessa figura que o ajuste do perfil da linha d'água ficou mais próximo dos dados observados no trecho mais a jusante do Rio Jacuí, enquanto que para o trecho de montante teve uma pequena diferença quando comparado com os níveis observados.

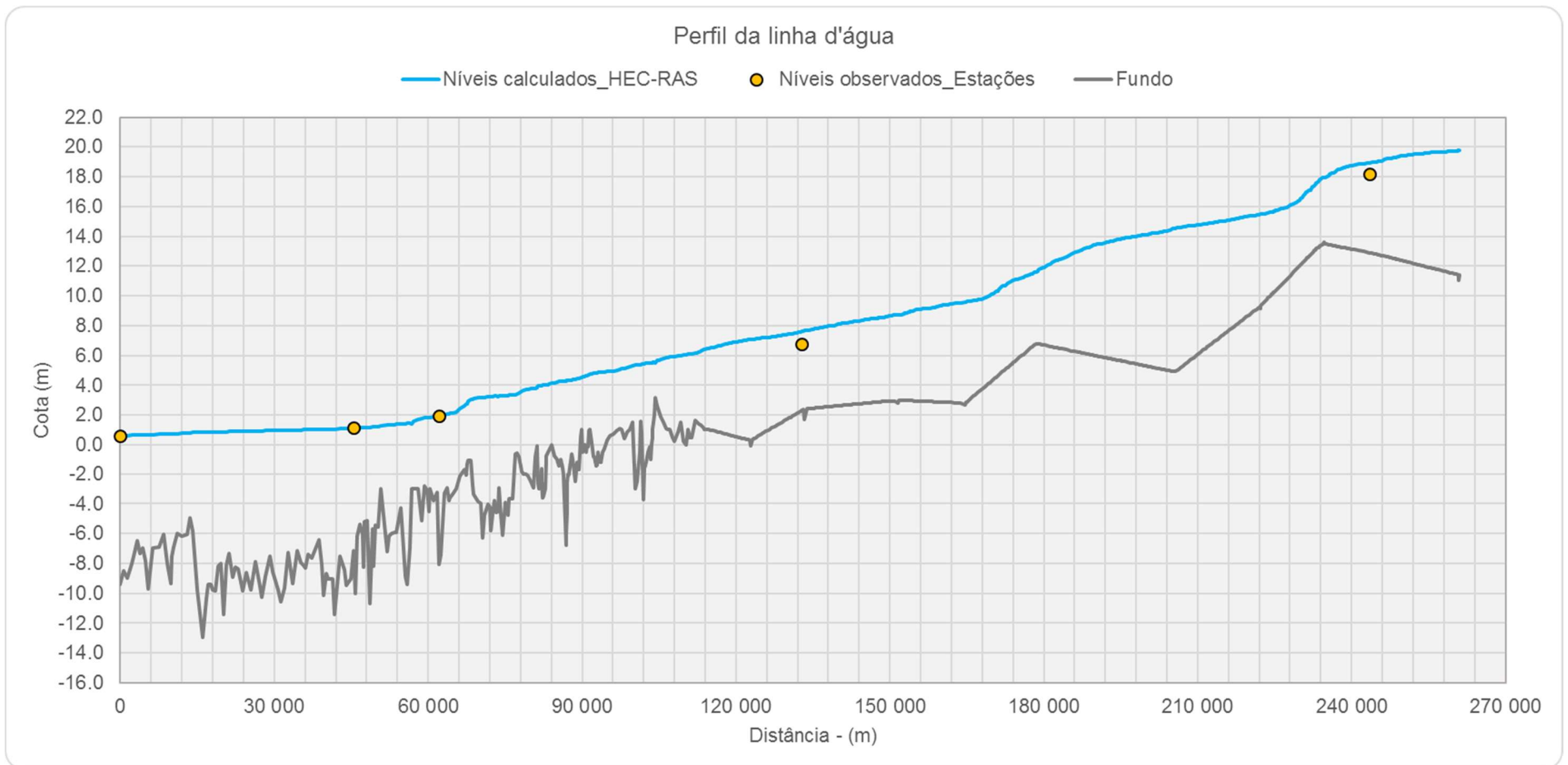


Figura 5.8 – Perfil da linha d'água – calibração do coeficiente de Manning.



#### 5.4.3.2 Ajuste do leito móvel

A calibração do leito móvel foi realizada em regime quase permanente e está diretamente relacionada a escolha dos métodos da capacidade de transporte de sedimento. Para equações de velocidade de queda e a classificação do leito foram adotadas para todas as simulações os métodos de Rubey e Copeland, respectivamente.

Com relação a escolha da função de transporte, a simulação foi realizada para todas funções descritas nesse estudo, com exceção do método de Wilcock-Crowe, uma vez que esse método está condicionado a utilizar o método de classificação do leito *Active layer*, o qual requer dados mais detalhados das camadas do leito para sua utilização e não foi aplicado nesse estudo.

A validação dos métodos foi realizada a partir da comparação dos resultados das descargas de sedimentos calculadas pelas funções com os resultados das descargas de sedimentos medidas. Para os dados de descargas medidas, foram utilizados os dados da estação Rio Pardo (cod.: 85900000), obtidos através da curva-chave de sedimento.

Segundo Scapin et. al. (2007), a avaliação da qualidade do ajuste dos métodos de transporte de sedimentos pode ser realizada por dois critérios:

i). *A razão entre a descarga de sedimento calculada e a descarga medida (r);*

ii). *O índice de dispersão (ID): esse método foi proposto por Aguirre et al. (2004), sendo calculado pelas seguintes equações:*

$$ID = \frac{MNE}{100} \cdot MPF$$

$$MNE = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_{mi} - x_{ei}}{x_{mi}} \right|$$

$$MPF = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \text{maior de } \left( \frac{x_{mi}}{x_{ei}}, \frac{x_{ei}}{x_{mi}} \right)$$

Onde, MNE é o erro médio normalizado; MPF é o fator médio de estimativa;  $x_{mi}$  e  $x_{ei}$  são os valores medidos e calculados das variáveis, respectivamente.



Para obtenção da descarga sólida de sedimento, foram utilizados os dados de concentração de sedimentos da seção mais próxima a estação de Rio Pardo resultante da simulação, e posteriormente determinou a descarga sólida. Já os dados observados, utilizou os valores de concentração da estação Rio Pardo e sua curva-chave de sedimentos para determinação da descarga sólida. A partir desses dados foram aplicados os critérios mencionados acima para validação do ajuste, conforme apresentados no Quadro 5.4 abaixo:

Quadro 5.4 – Valores da razão e do ID.

Função capacidade de Transporte de sedimento	razão r	Índice de Dispersão (ID)		
		MNE (%)	MPF	ID
Ackers e White	0.44	53.39	2.26	1.25
Meyer-Peter e Müller	0.73	27.03	1.37	0.37
Engenlund-Hansen	3.47	251.67	3.52	8.85
Laursen-Copeland	6.70	700.20	8.00	56.03
Toffaleti	6.18	658.19	7.58	49.90
Toffaleti-MPM	6.24	665.06	7.65	50.88
Yang	3.63	289.31	3.89	11.26

No primeiro critério, o método será melhor quanto mais próximo de 1 for o valor médio de r. Já pelo segundo critério, são aceitáveis os métodos que apresentam o ID com valores menores ou iguais a 10, sendo a eficiência do método tanto melhor quanto mais próximo de zero for o valor do Índice de Dispersão.

A partir dessas premissas, os métodos que se enquadram no critério 1 foram o Ackers e White e Meyer-Peter e Müller. Para o critério 2, três métodos são aceitáveis, além dos dois primeiros mencionados enquadraria também o método de Engenlund-Hansen. A escolha do método utilizado no estudo foi realizada a partir daquele que tiver uma melhor eficiência em ambos os critérios, e dentre os métodos mencionados foi escolhido o método de Meyer-Peter e Müller.



#### 5.4.4 Volumes de sedimentos: taxas de transporte de sedimento

Nesse item é apresentada a estimativa do aporte de sedimentos no trecho simulado do Rio Jacuí, considerando as contribuições de montante e dos afluentes. Essa estimativa foi realizada a partir das vazões médias e das curvas de sedimentos consideradas para cada sub-bacia, conforme é apresentada no Quadro 5.5 as taxas de transporte de sedimentos.

Quadro 5.5 – Aporte de Sedimentos Rio Jacuí (trecho a montante) e afluentes.

Sub-bacias	Taxas de Transporte de Sedimentos (ton/ano)
Rio Jacuí (trecho de montante)	626 017
Rio Irapuã	61 204
Arroio Capané	16 737
Rio Botucaraí	16 355
Rio Iruí	42 987
Arroio Dom Marco	13 473
Arroio Tabatingai	12 128
Rio Pardo	283 962
Arroio Capivari	25 604
Arroio Francisquinho	31 287
Arroio do Conde	16 355
Rio Taquari	762 378
Arroio dos Ratos	41 795

Para o trecho do Rio Jacuí em estudo, as taxas de transporte de sedimentos são apresentadas para as 25 seções topobatimétricas nos dois cenários simulados, conforme são apresentadas no Quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Taxas de transporte de sedimentos para o trecho do Rio Jacuí em estudo.

Taxas de Transporte de Sedimentos (ton/ano)			Taxas de Transporte de Sedimentos (ton/ano)		
Seções	Cenário 1	Cenário 2	Seções	Cenário 1	Cenário 2
Seção 1	116 605	116 556	Seção 14	68 408	-62 433
Seção 2	72 218	71 593	Seção 15	-181 681	-234 726
Seção 3	-10 863	-34 477	Seção 16	-9 875	2 019
Seção 4	14 540	13 614	Seção 17	8 123	11 406
Seção 5	9 865	8 513	Seção 18	21 117	33 761
Seção 6	11 019	24 560	Seção 19	53 761	56 284



Taxas de Transporte de Sedimentos (ton/ano)			Taxas de Transporte de Sedimentos (ton/ano)		
Seções	Cenário 1	Cenário 2	Seções	Cenário 1	Cenário 2
Seção 7	2 072	62 053	Seção 20	-51 323	-51 072
Seção 8	200 172	207 770	Seção 21	-2 177	-2 172
Seção 9	65 315	79 306	Seção 22	-6 281	-6 270
Seção 10	99 213	106 641	Seção 23	41 518	41 757
Seção 11	-65 305	-34 714	Seção 24	14 992	15 064
Seção 12	62 241	81 462	Seção 25	30 107	30 132
Seção 13	-21 823	3 032			

Observa-se no Quadro 5.6 que algumas taxas de transporte de sedimento apresentam valores negativos, isto implica dizer que naquela seção e nas proximidades na mesma seu comportamento com relação a variação do leito é erosivo, já para os valores positivos seu comportamento é deposicional.

Fazendo uma análise individual dos cenários com relação as taxas de transporte de sedimentos, observa-se que no Cenário 1, a maioria das seções do levantamento (68%) apresentam taxas positivas e os outros 32% taxas negativas. Para o Cenário 2, esse percentual aumenta um pouco cerca de 72% e consequentemente diminui o percentual em 28%. Esse aumento se justifica quando se faz um comparativo entre os cenários, ou seja, observa que com a alteração do seção (Cenário 2) duas seções que antes tinha comportamento erosivo (seções 13 e 16), passaram a apresentar o comportamento deposicional, já o contrário ocorre porém para apenas uma seção (seção 14).

Com relação ao balanço de massa acumulado total de sedimentos resultante da simulação, o trecho do Rio Jacuí apresentou um saldo positivo em ambos os cenários, conforme é apresentado no Quadro 5.7 os valores das taxas de sedimentos.

Quadro 5.7 – Taxas de transporte de sedimentos acumuladas para os cenários 1 e 2.

Cenários	Taxas de Transporte de Sedimentos (ton/ano)
Cenário 1	2 546 033
Cenário 2	2 548 526

Esse saldo positivo demonstra que o trecho simulado do Rio Jacuí, apresentam tendência de deposição de sedimento ao longo do tempo.



## 6 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Neste item são apresentados os resultados da simulação no que se refere comportamento das seções topobatimétricas (variação do leito) e ao padrão das velocidades para os dois cenários simulados.

Com relação ao comportamento das seções, observou-se que em alguns casos essa variação do leito quase não existiu. Nesses casos foi adotado um critério de classificação onde se essa alteração fosse menor que 20 cm (tanto para erosão ou deposição do sedimento) essa seção foi considerada como seção “*sem alteração*”. Esse valor de 20 cm é arbitrário, sendo adotado de maneira a caracterizar os resultados.

Para melhor visualização dos resultados da simulação dos sedimentos, as variações do leito foram apresentadas em três diferentes formas:

- i). *Perfil longitudinal*: onde é apresentado o perfil do eixo do Rio Jacuí ao longo de todo o trecho simulado;
- ii). *Seções transversais*: nesse caso são apresentadas as 25 seções referências correspondente ao levantamento de campo;
- iii). *Planta Baixa (mapa)*: é apresentado o mapa indicado os trechos entre cada seção a variação do leito.

Para a variação da velocidade a forma apresentada foi em Planta Baixa. Nos itens seguintes são apresentados os resultados para os Cenários 1 e 2.

### 6.1 CENÁRIO 1

#### 6.1.1 Perfil longitudinal

O perfil longitudinal é apresentado na Figura 6.1, para melhor visualização da variação do leito, essa figura foi dividida em 7 trechos, conforme apresentados nas figuras seguintes. Cabe que ressaltar que o zero das abscissas representa a foz do Rio Jacuí.



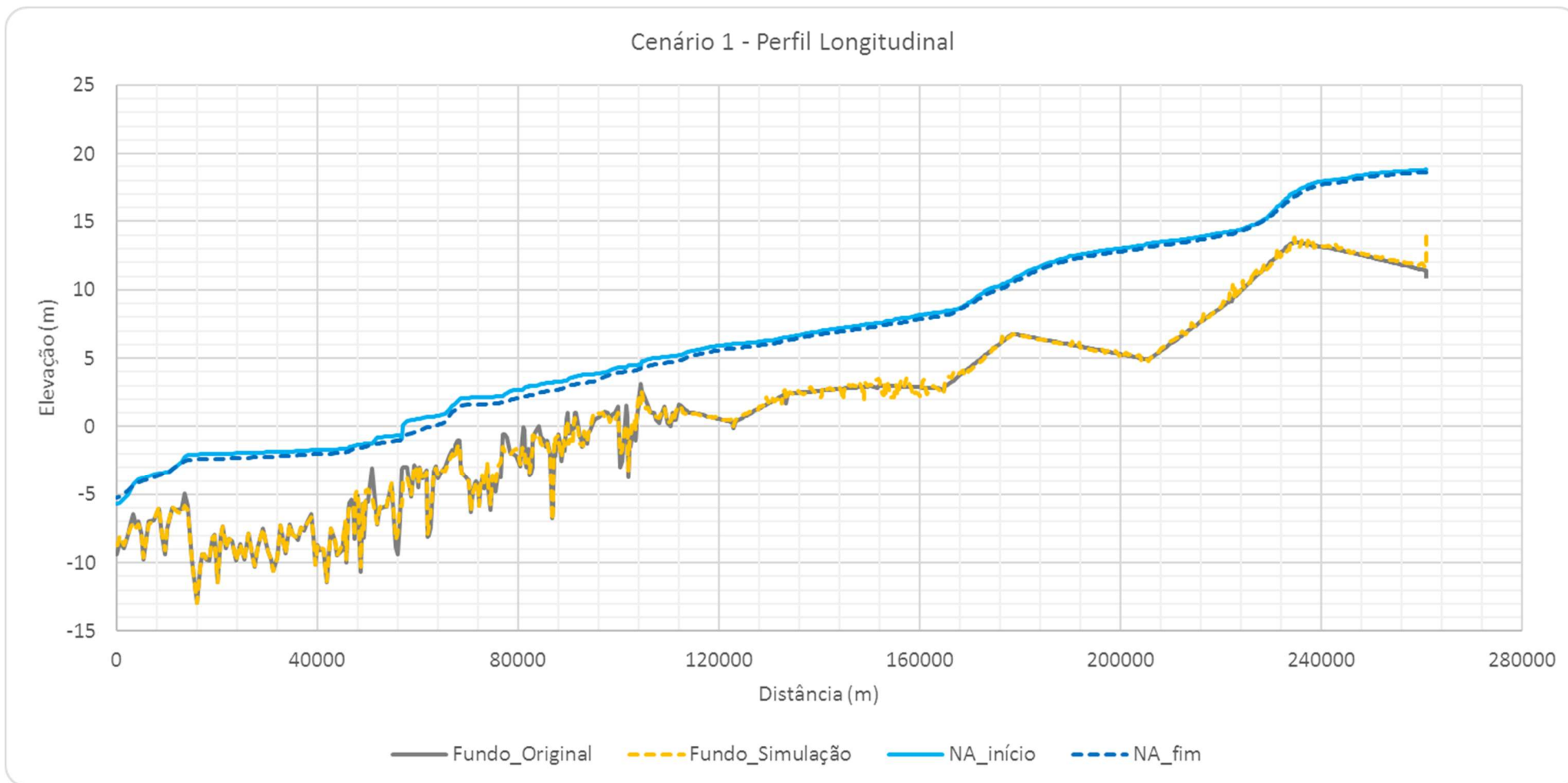


Figura 6.1 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – Cenário 1.

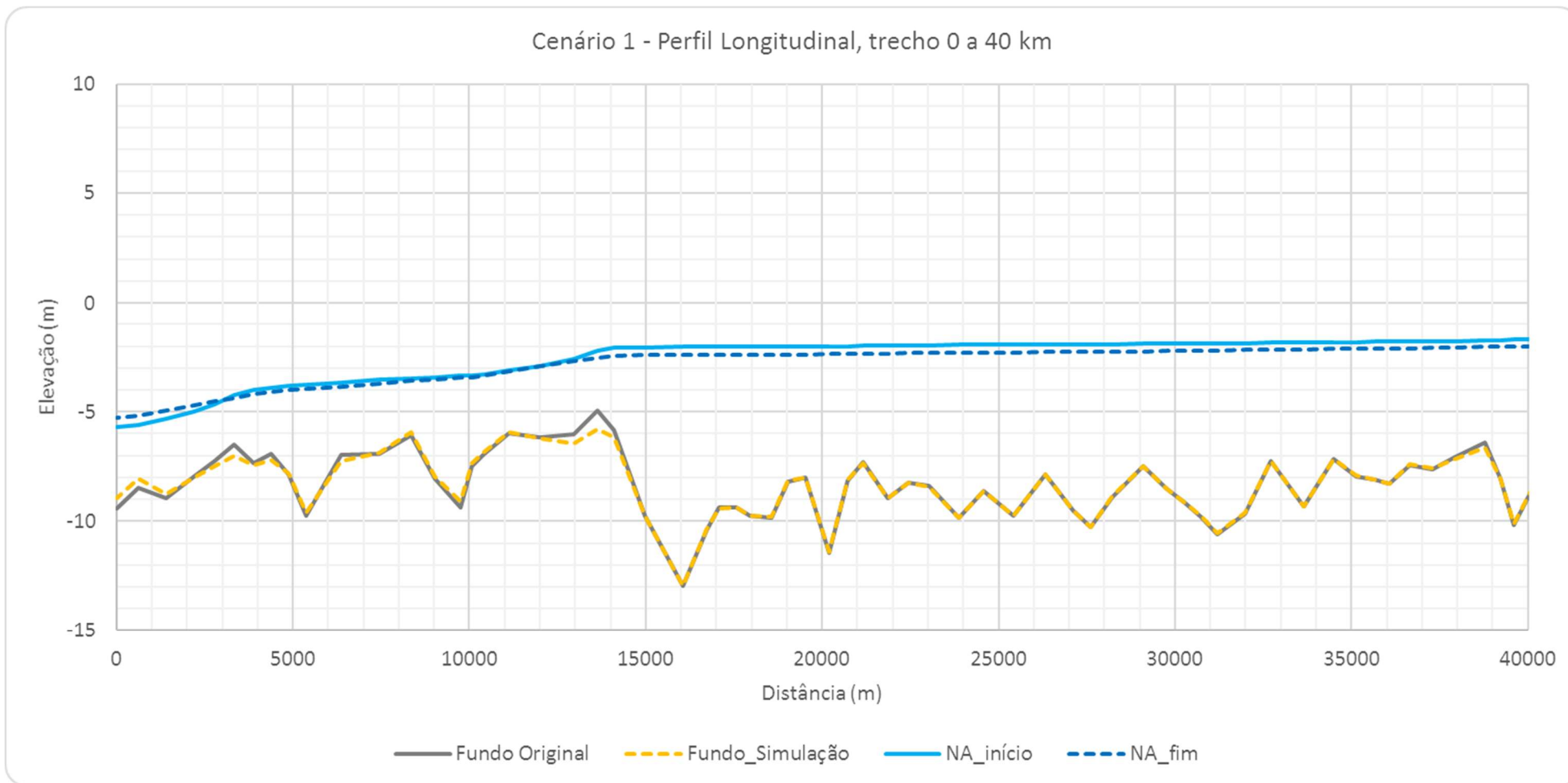


Figura 6.2 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 0 a 40 km, Cenário 1.

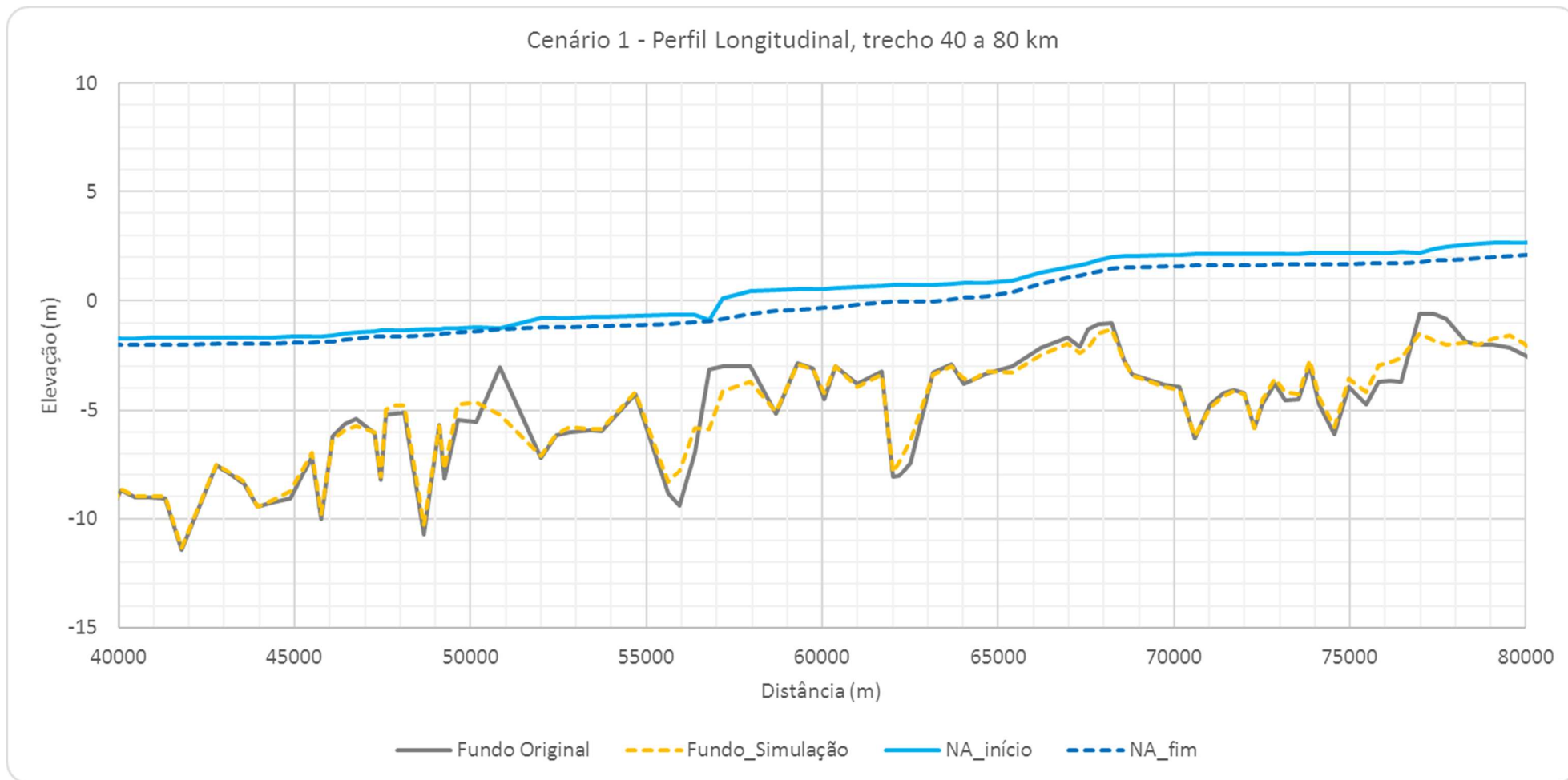


Figura 6.3 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 40 a 80 km, Cenário 1.

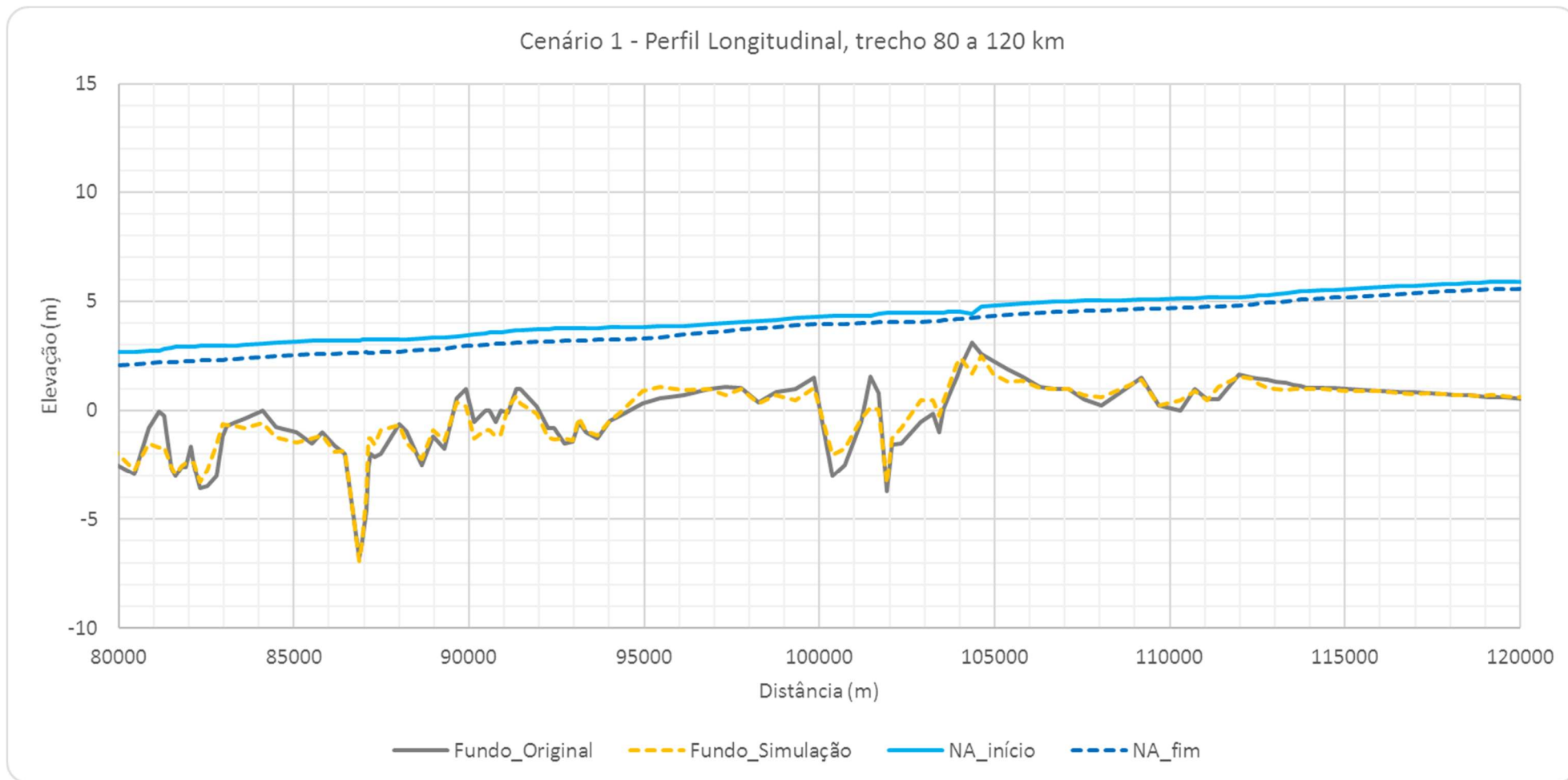


Figura 6.4 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 80 a 120 km, Cenário 1.

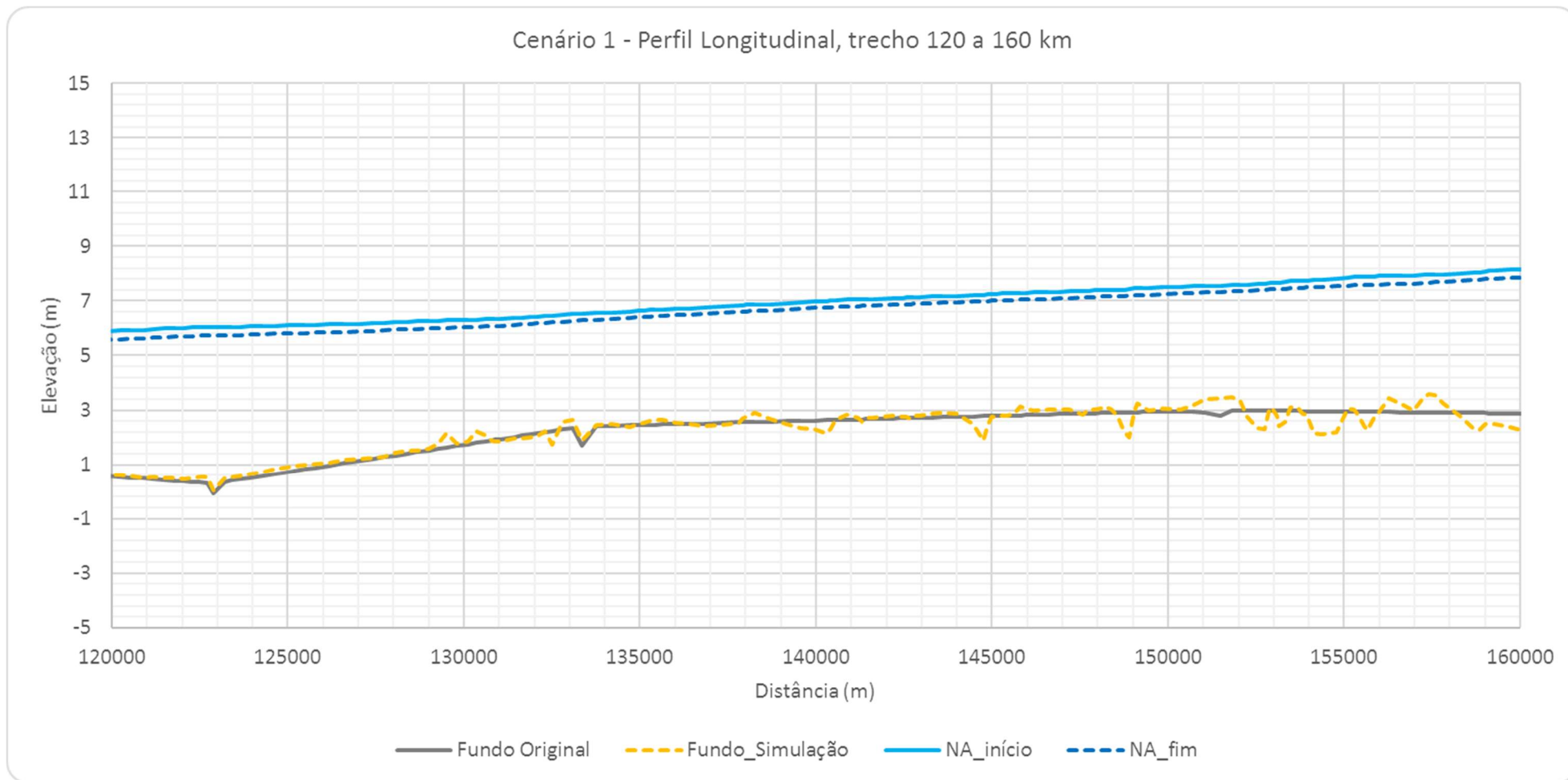


Figura 6.5 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 120 a 160 km, Cenário 1.

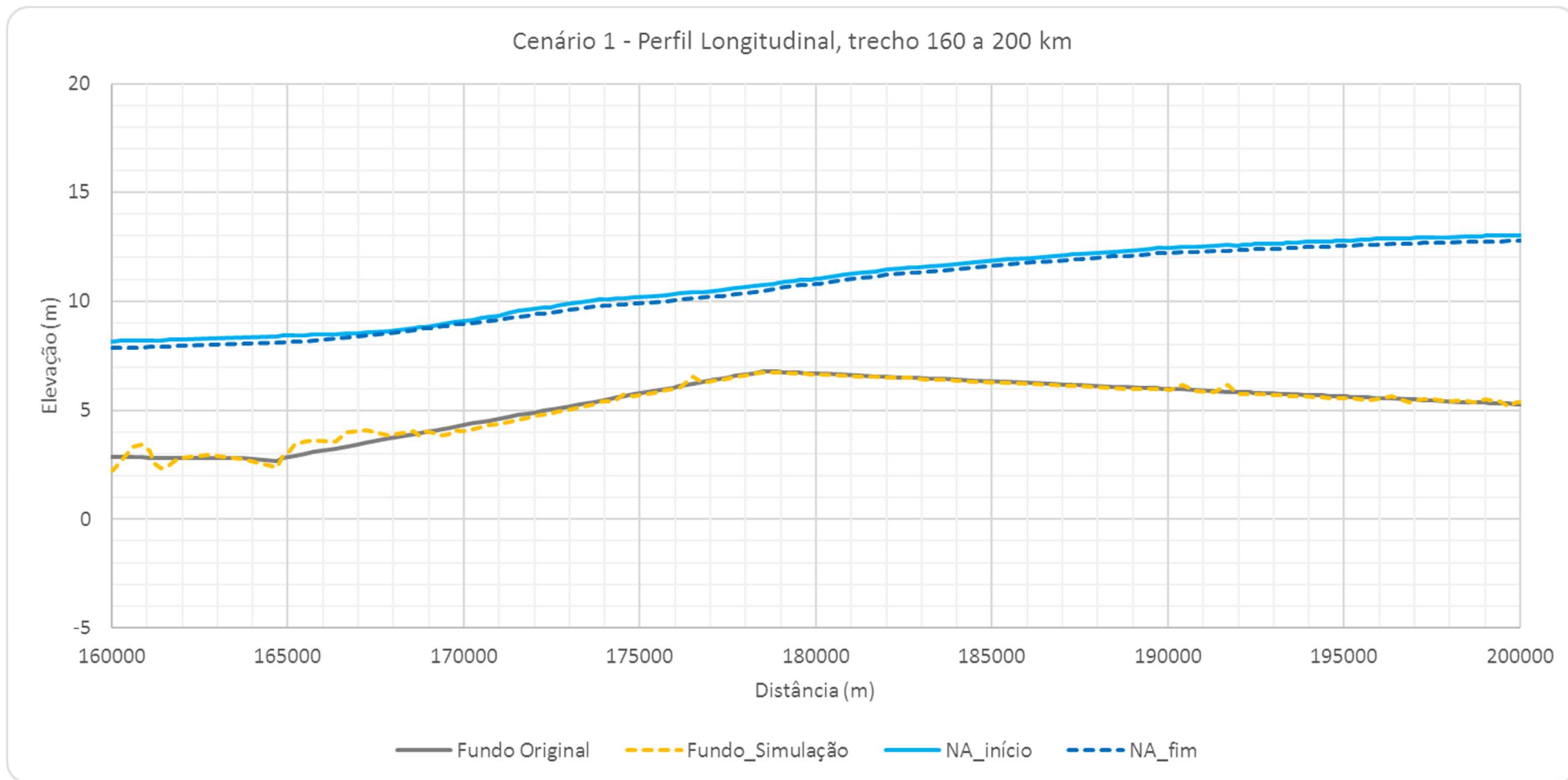


Figura 6.6 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 160 a 200 km, Cenário 1.

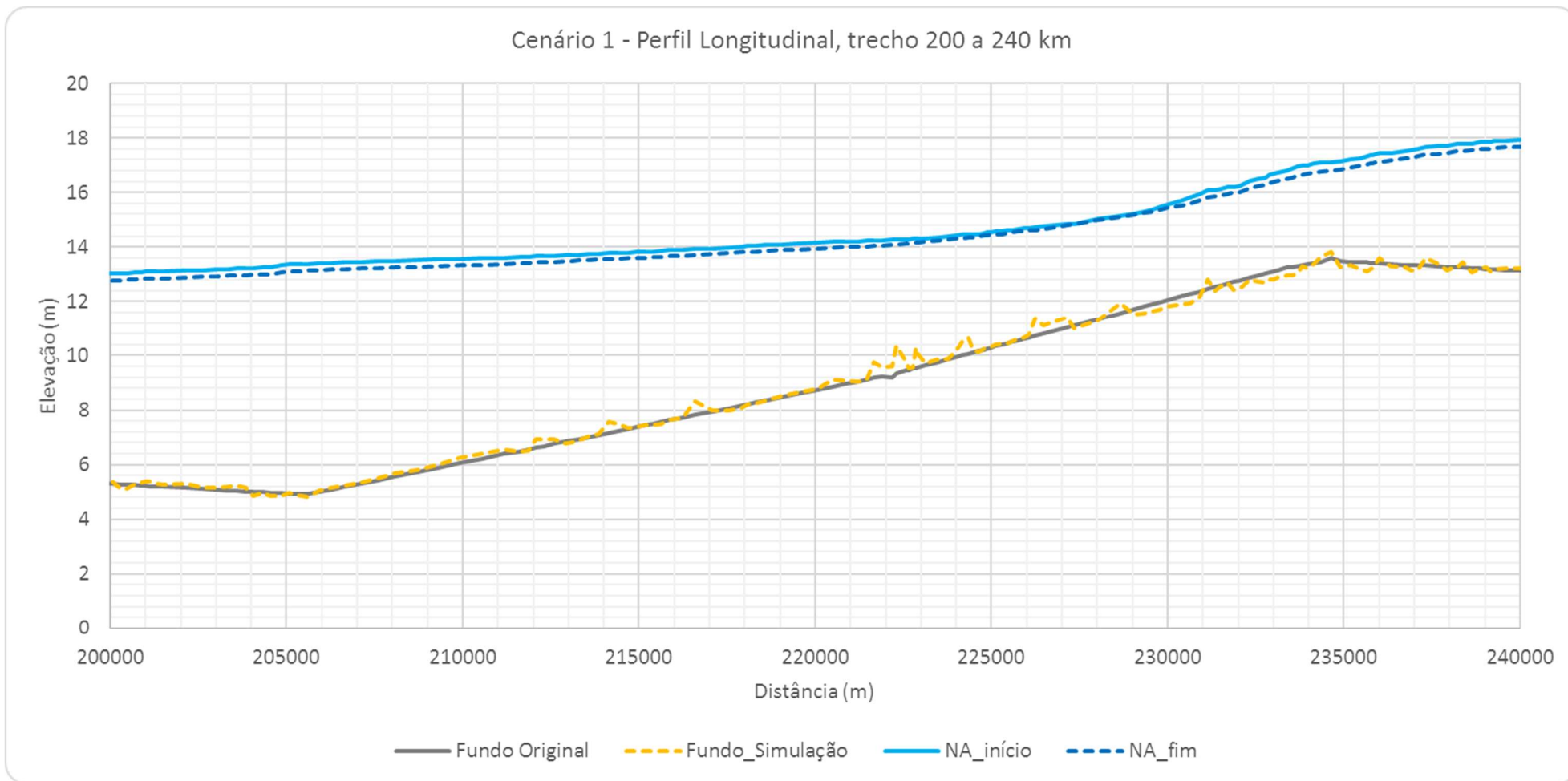


Figura 6.7 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 200 a 240 km, Cenário 1.

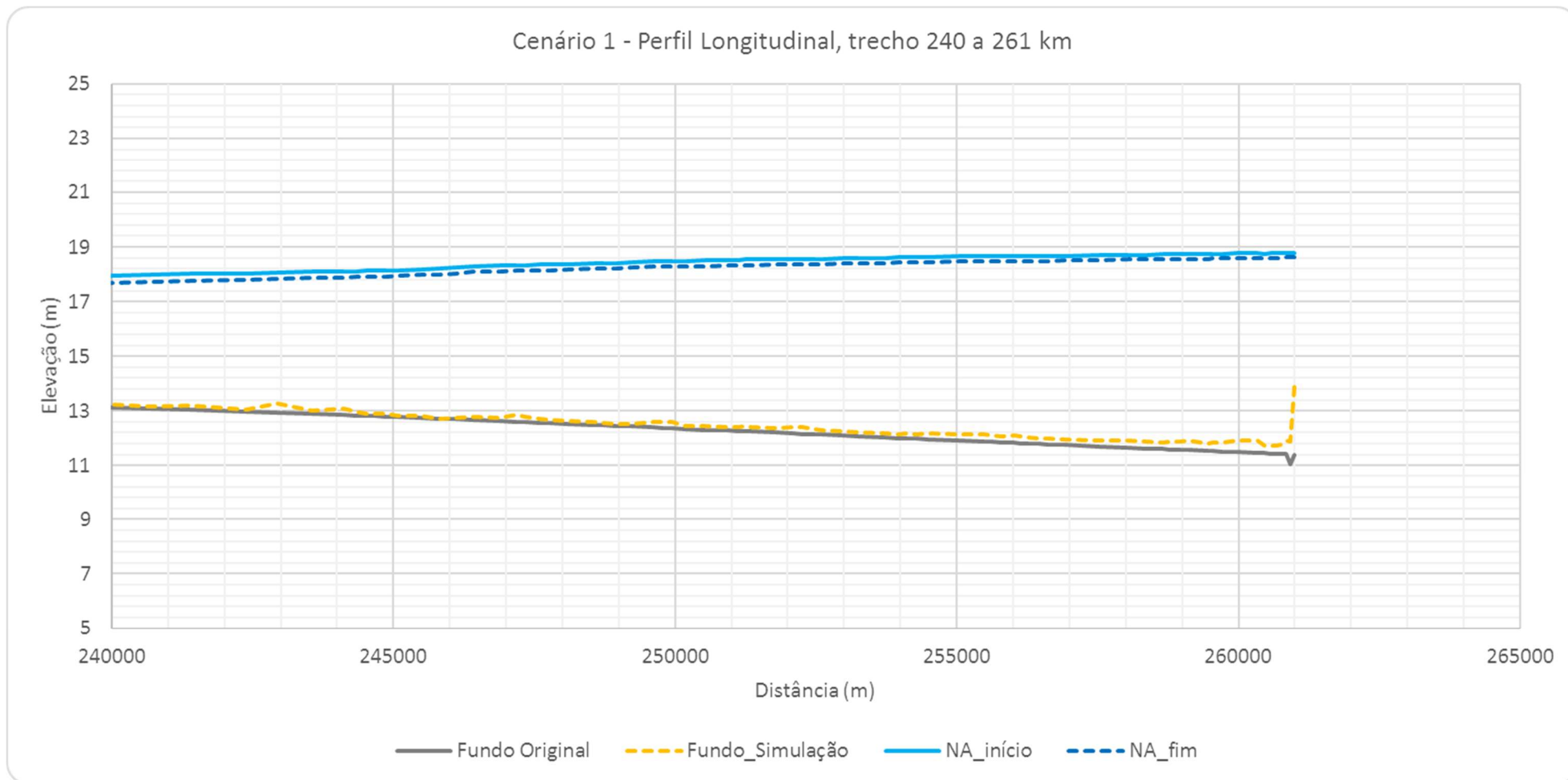


Figura 6.8 – Perfil Longitudinal do Leito do Rio Jacuí – trecho de 240 a 261 km, Cenário 1.





### 6.1.2 Seções topobatimétricas

Nas figuras a seguir é apresentado o resultado da simulação para as seções de referências do levantamento de campo. A numeração da seção é apresentada de jusante para montante, ou seja, a seção S1 representa a foz e a S25 o início do trecho simulado. Cabe ressaltar que a seção S8 no levantamento de campo foi realizado para o afluente do Rio Taquari, a seção S8 apresentada a seguir representa a seção mais próxima da foz do Rio Taquari no rio Jacuí no modelo HEC-RAS (*Station 44474.89*, representada pela nomenclatura Seção 8a nos mapas).

Para melhor visualização da alteração do leito da seção, a legenda foi representada por três cores: laranja (deposição), cinza (sem alteração, de acordo com o critério adotado) e vermelho (erosão). Em algumas seções, foi reproduzido a mesma figura com uma escala maior na parte central do gráfico.

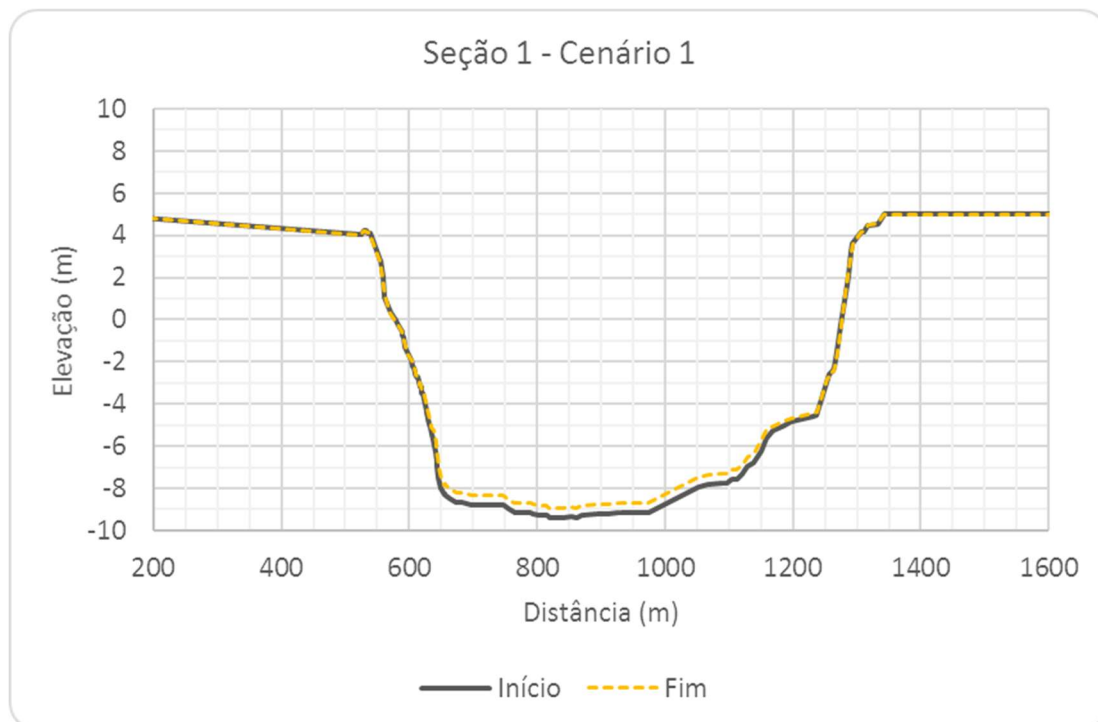


Figura 6.9 – Seção Transversal S1, Cenário 1.

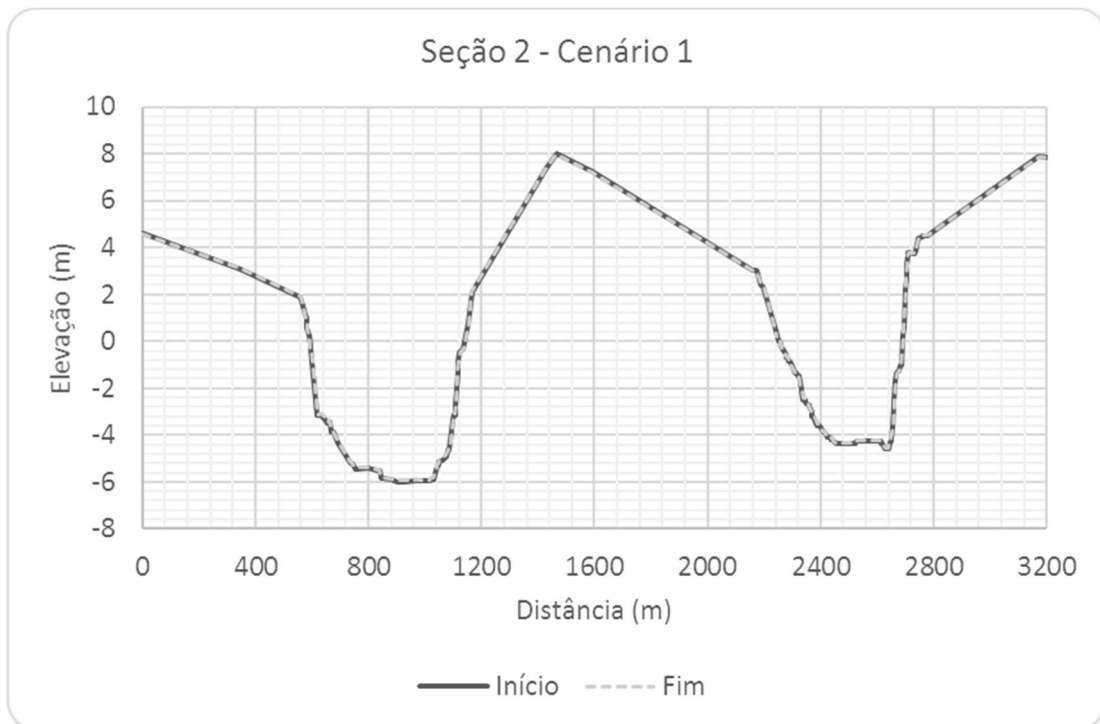


Figura 6.10 – Seção Transversal S2, Cenário 1.

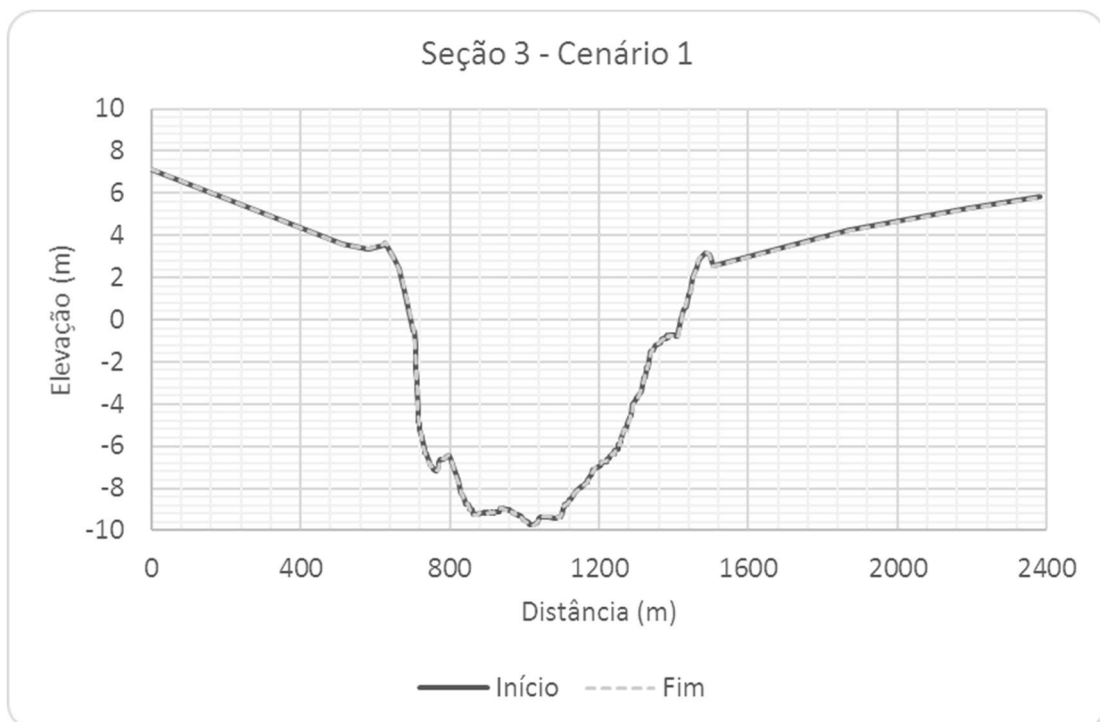


Figura 6.11 – Seção Transversal S3, Cenário 1.

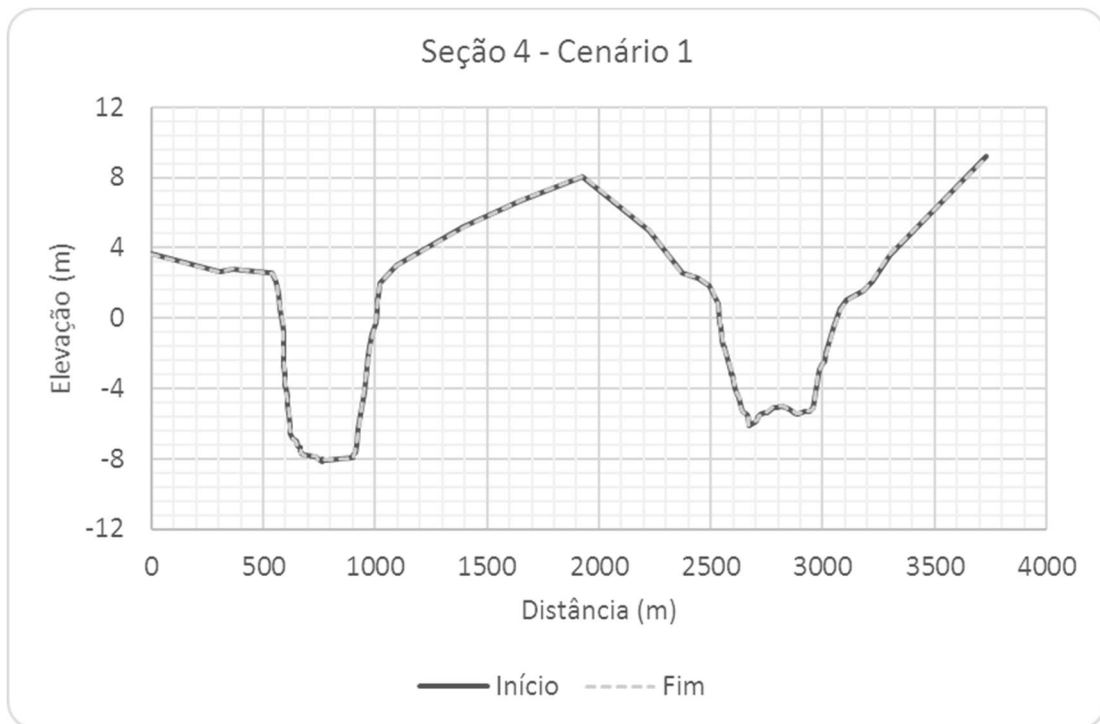


Figura 6.12 – Seção Transversal S4, Cenário 1.

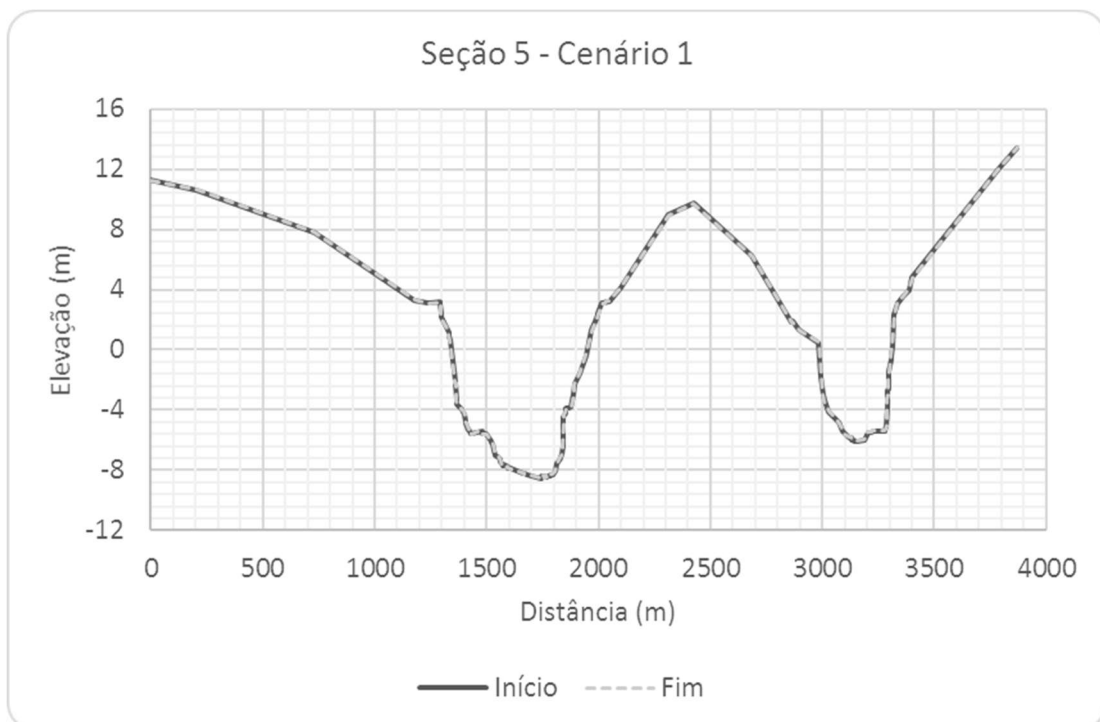


Figura 6.13 – Seção Transversal S5, Cenário 1.

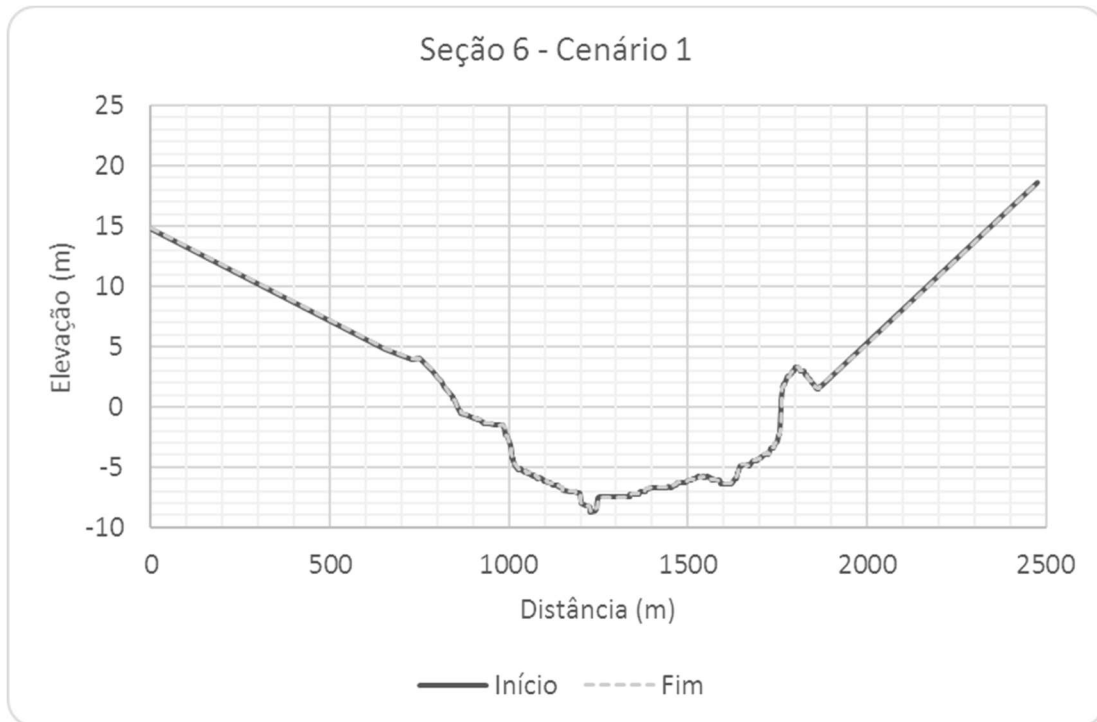


Figura 6.14 – Seção Transversal S6, Cenário 1.

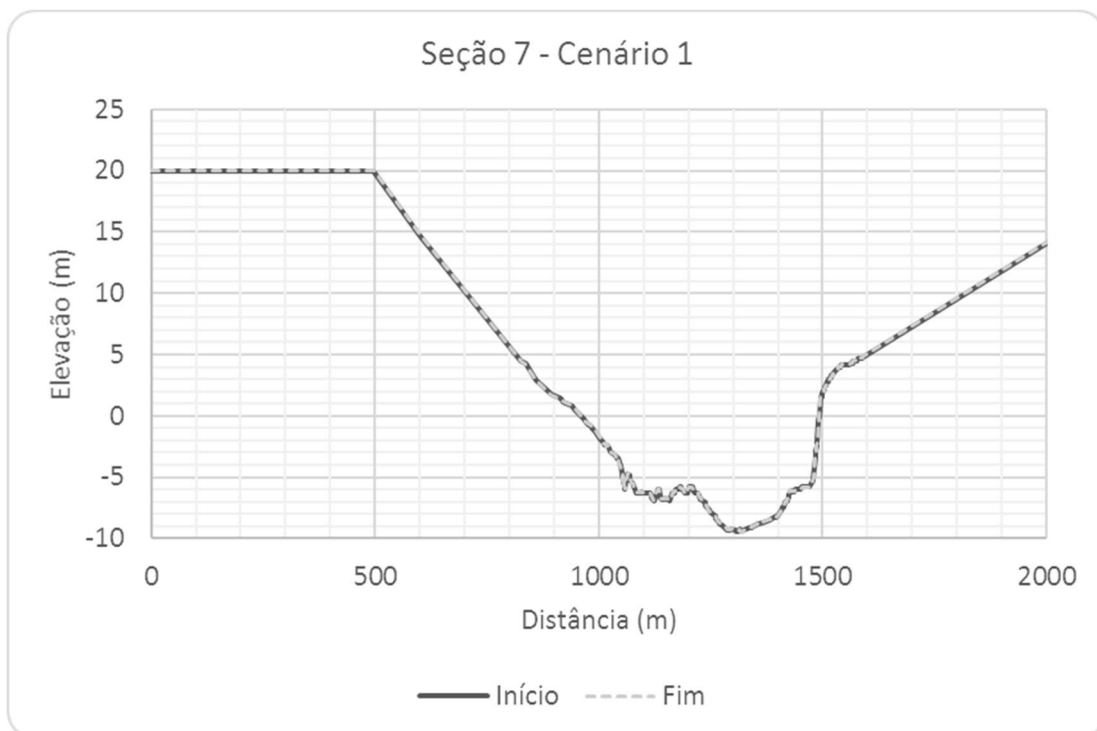


Figura 6.15 – Seção Transversal S7, Cenário 1.

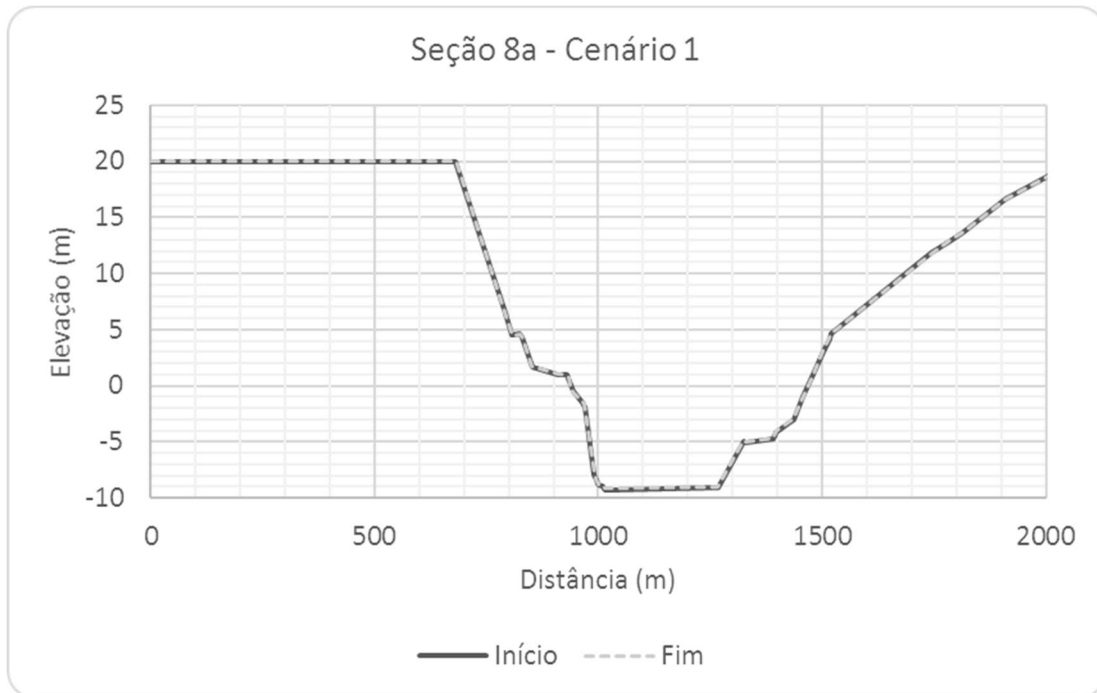


Figura 6.16 – Seção Transversal S8a, Cenário 1.

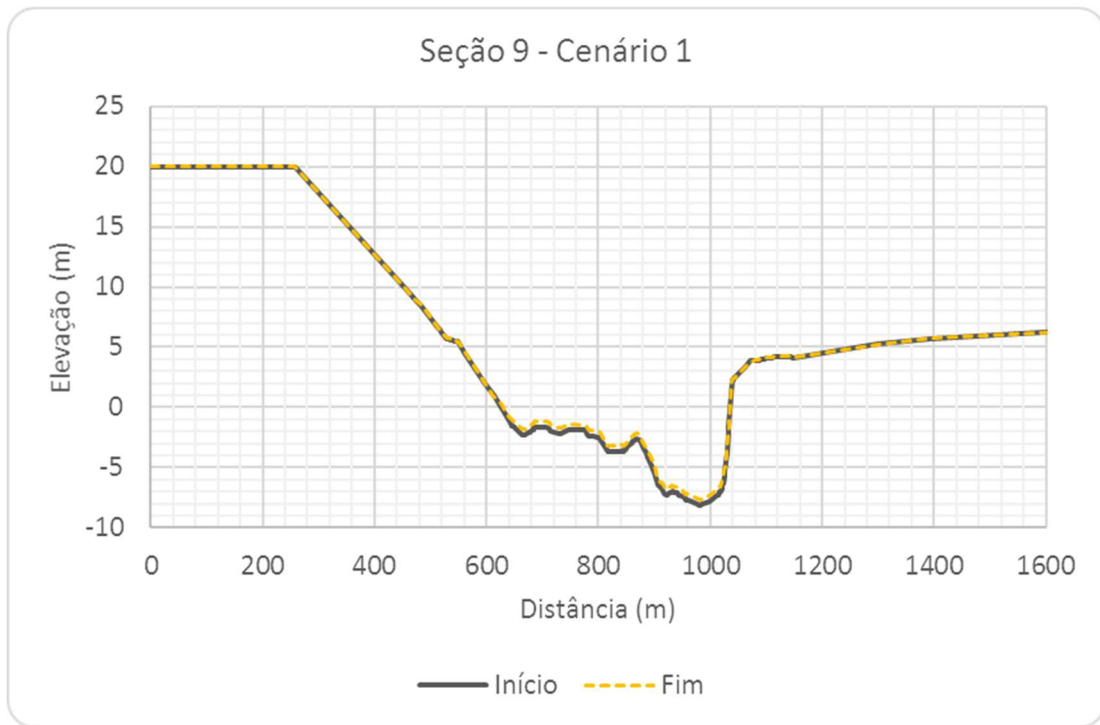


Figura 6.17 – Seção Transversal S9, Cenário 1.

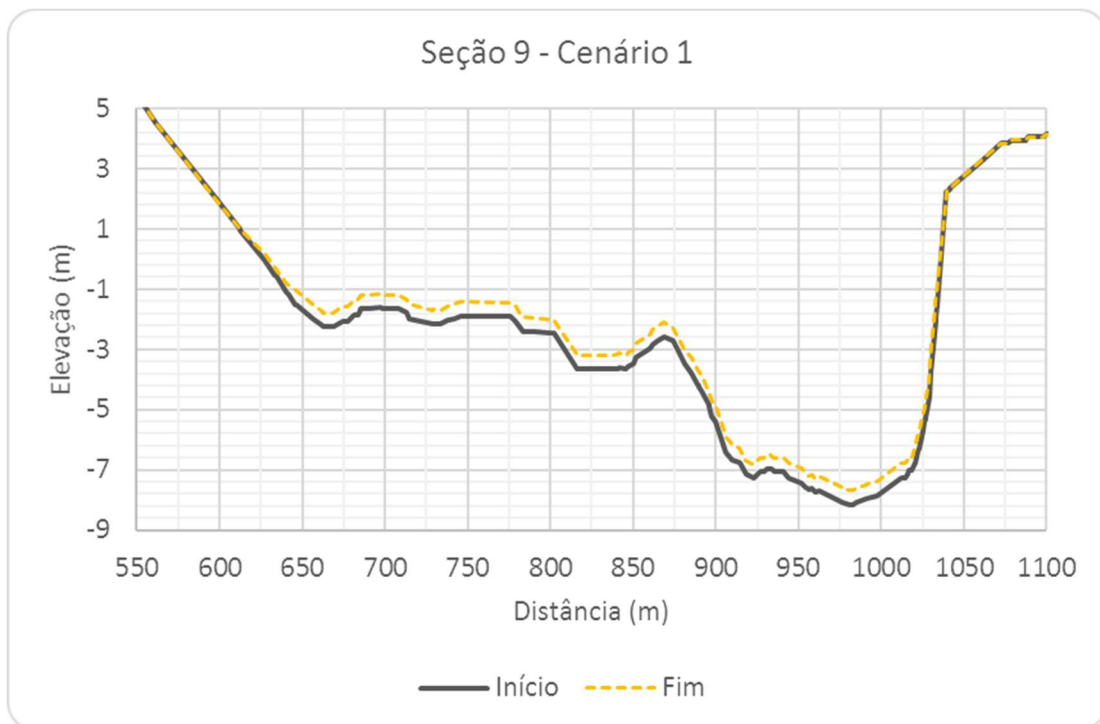


Figura 6.18 – Seção Transversal S9, com escala aumentada, Cenário 1.

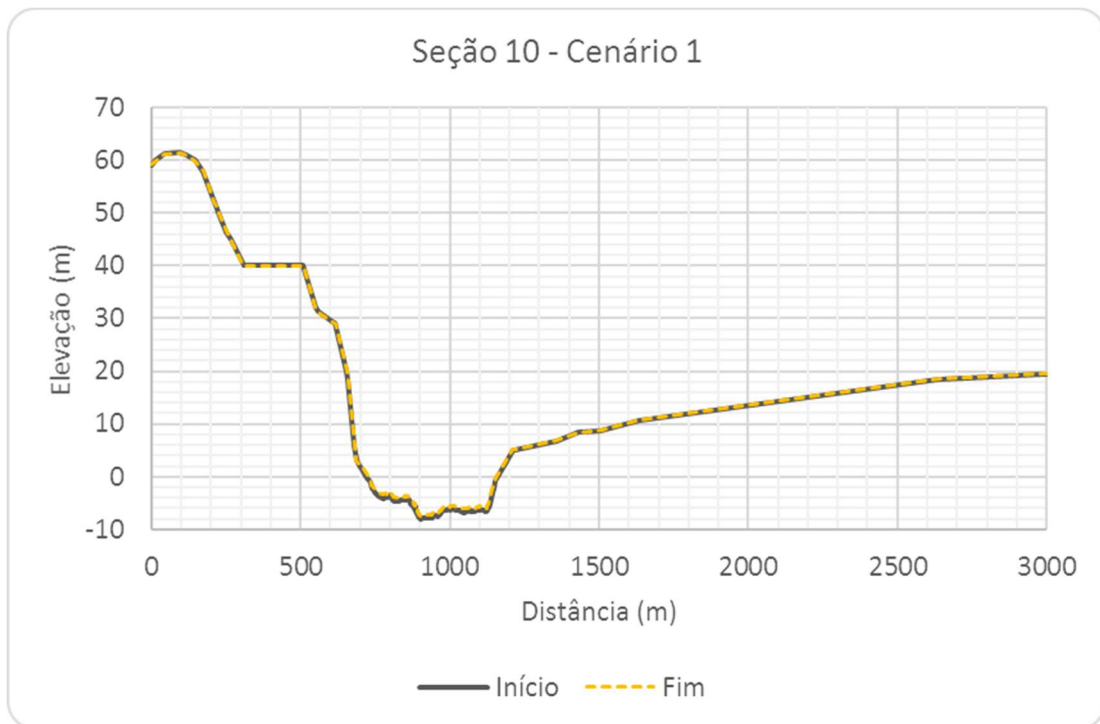


Figura 6.19 – Seção Transversal S10, Cenário 1.

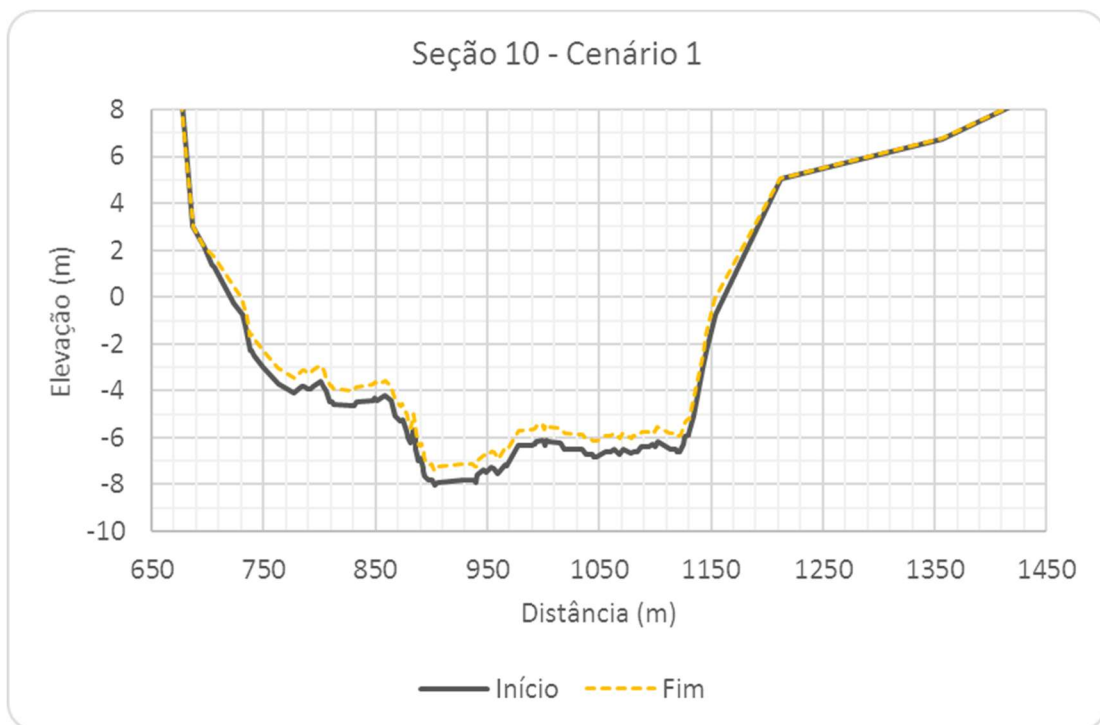


Figura 6.20 – Seção Transversal S10, com escala aumentada, Cenário 1.

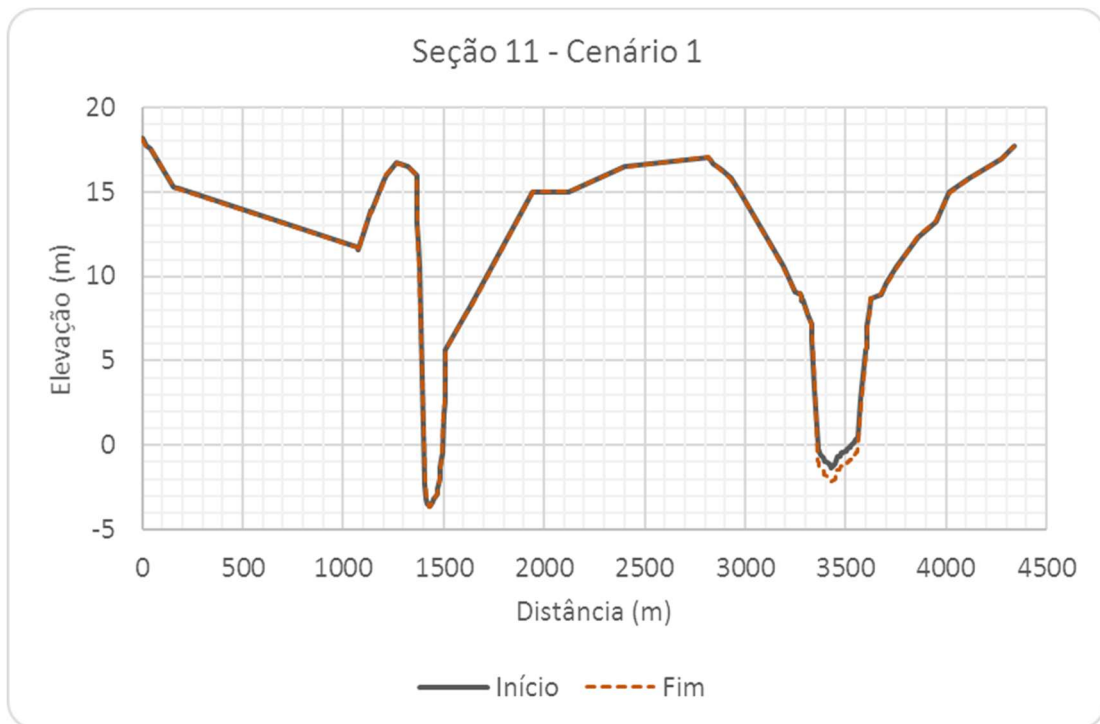


Figura 6.21 – Seção Transversal S11, Cenário 1.

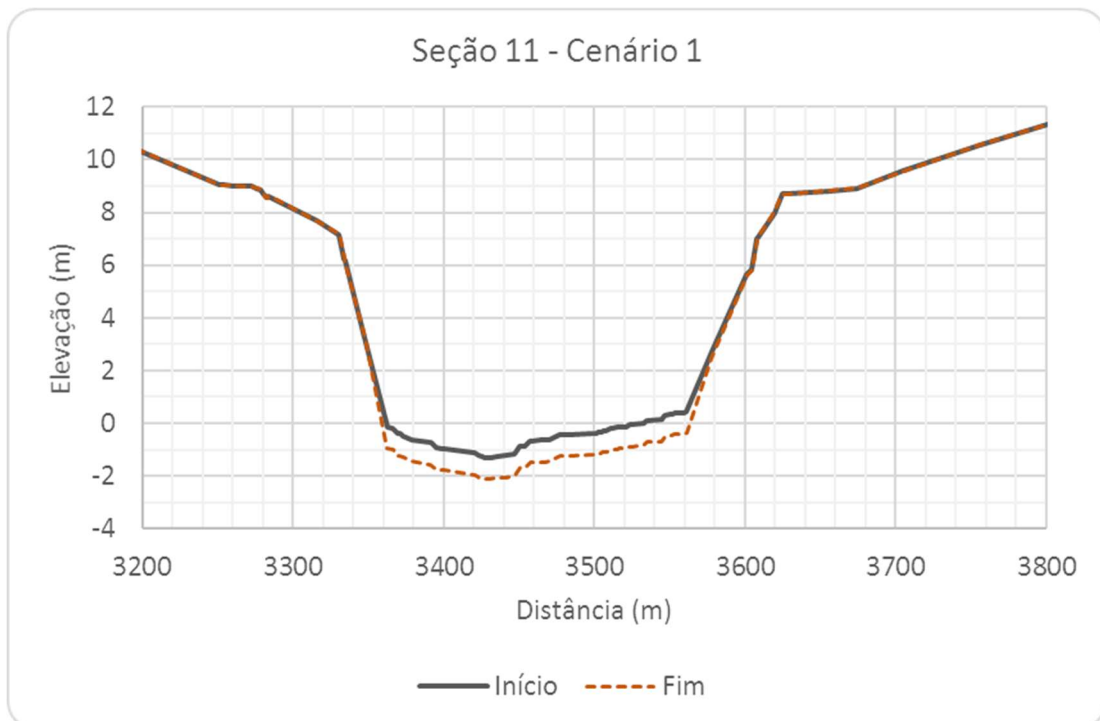


Figura 6.22 – Seção Transversal S11, com escala aumentada, Cenário 1.



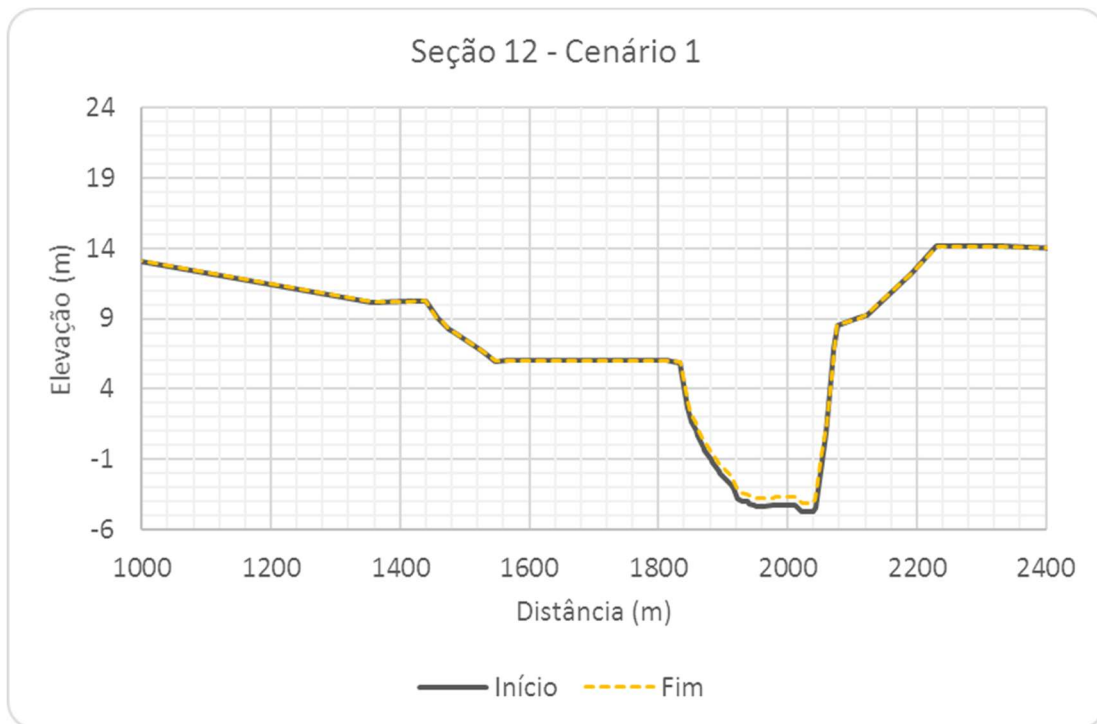


Figura 6.23 – Seção Transversal S12, Cenário 1.

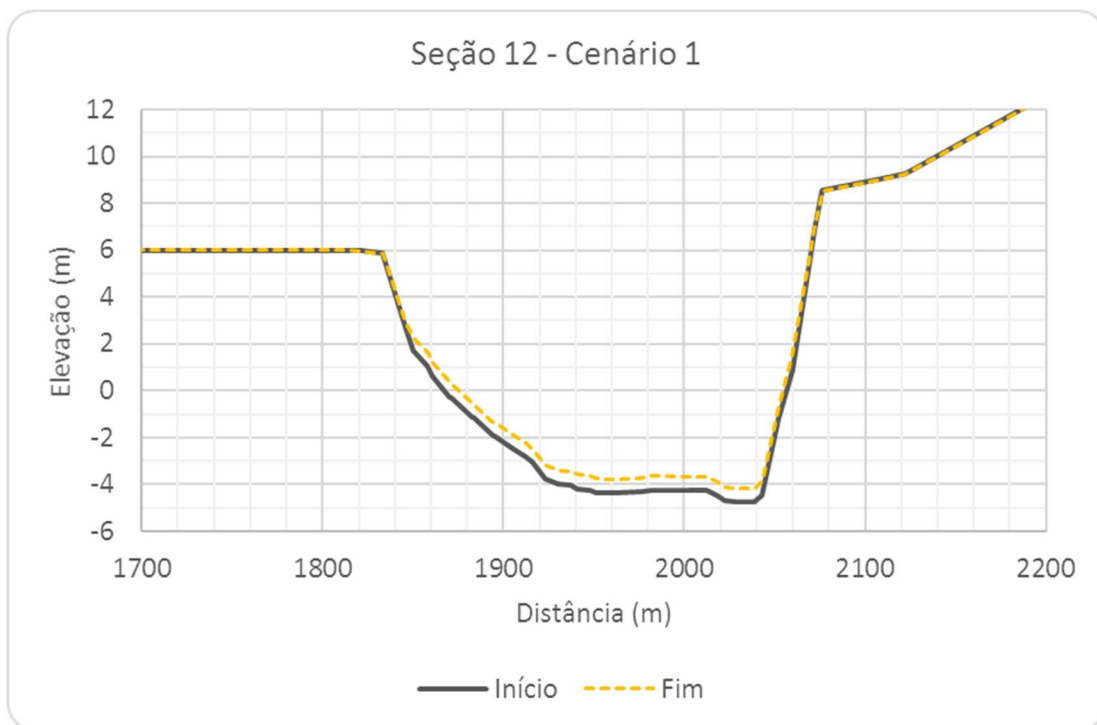


Figura 6.24 – Seção Transversal S12, com escala aumentada, Cenário 1.

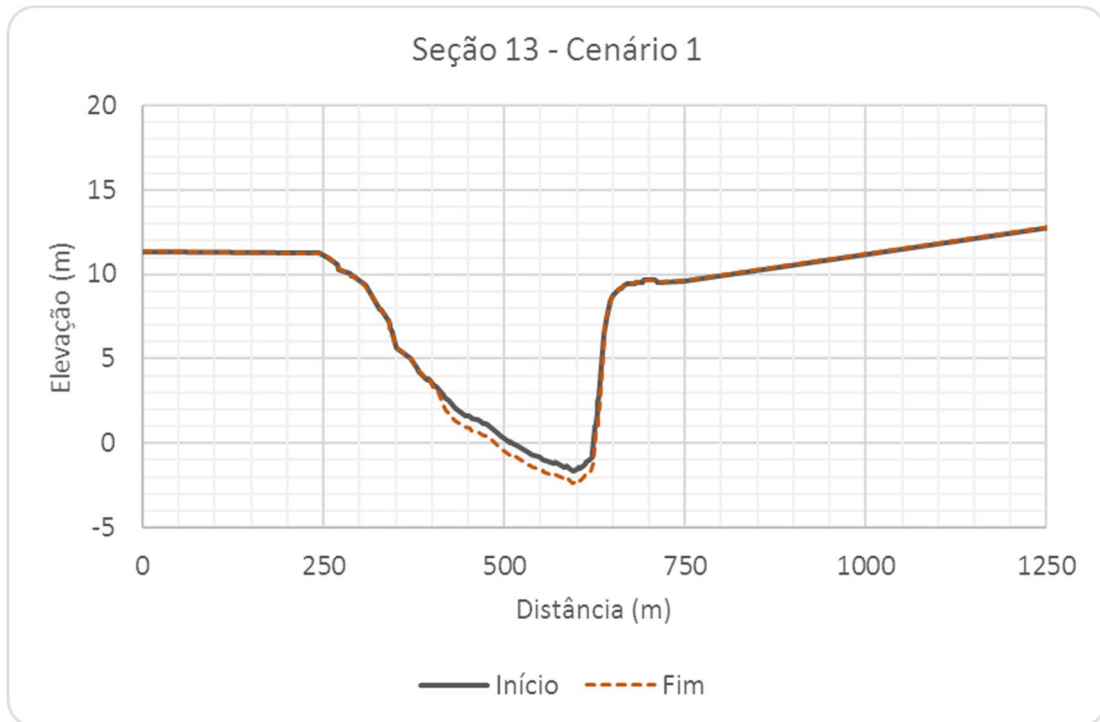


Figura 6.25 – Seção Transversal S13, Cenário 1.

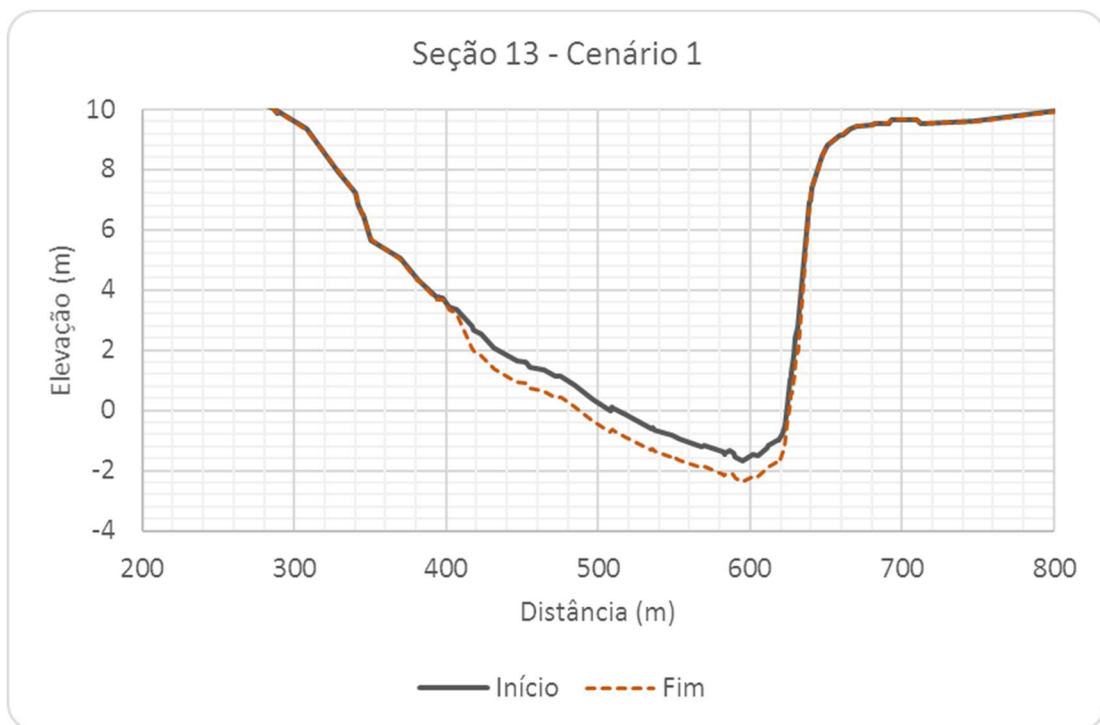


Figura 6.26 – Seção Transversal S13, com escala aumentada, Cenário 1.

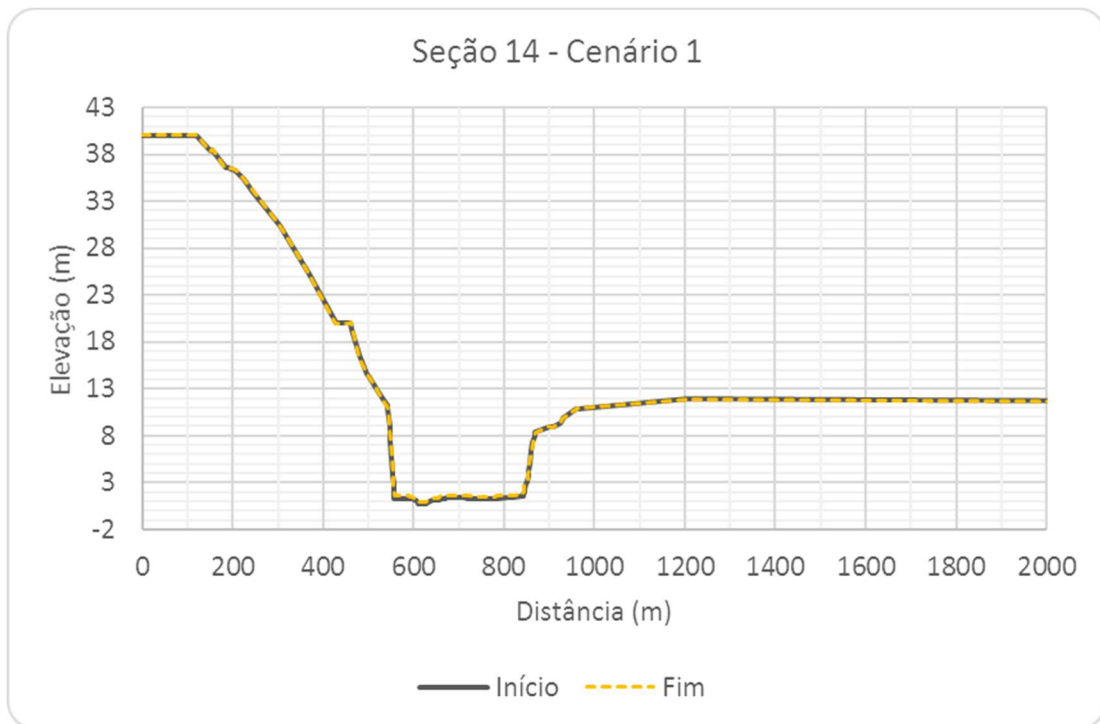


Figura 6.27 – Seção Transversal S14, Cenário 1.

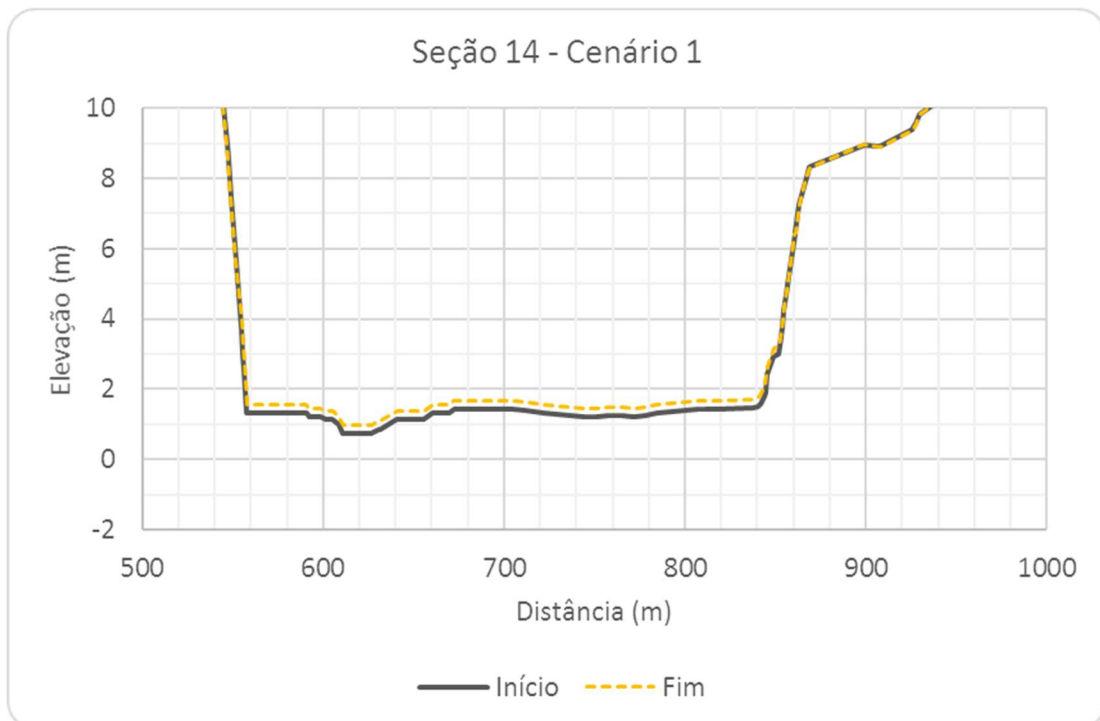


Figura 6.28 – Seção Transversal S14, com escala aumentada, Cenário 1.

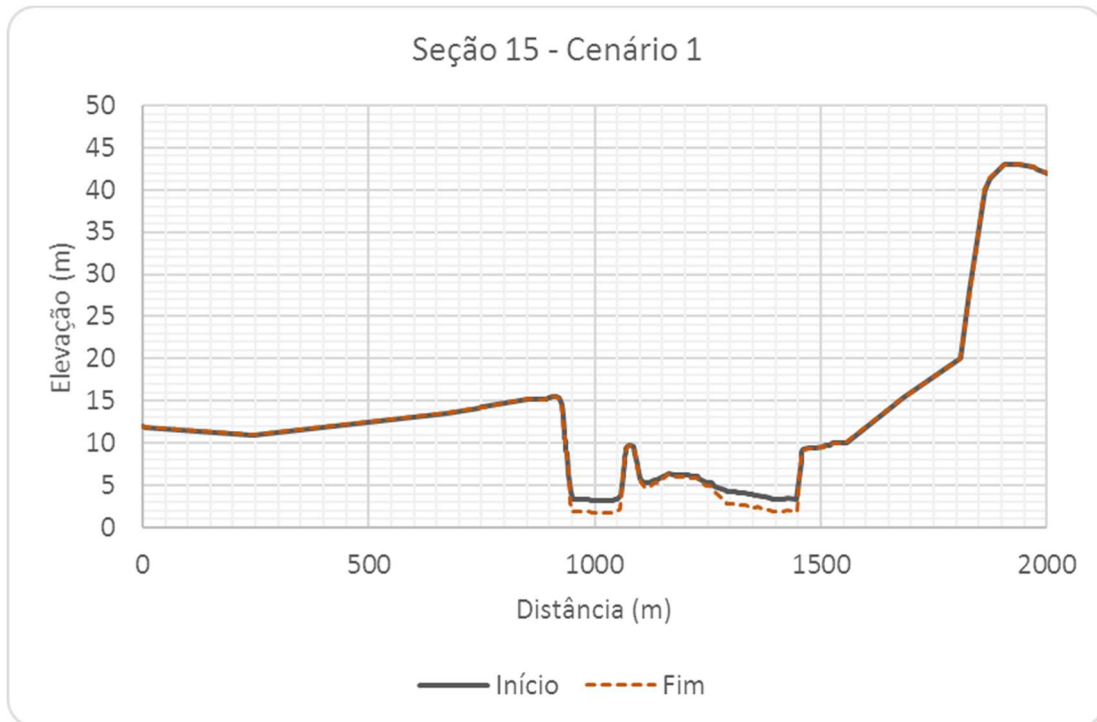


Figura 6.29 – Seção Transversal S15, Cenário 1.

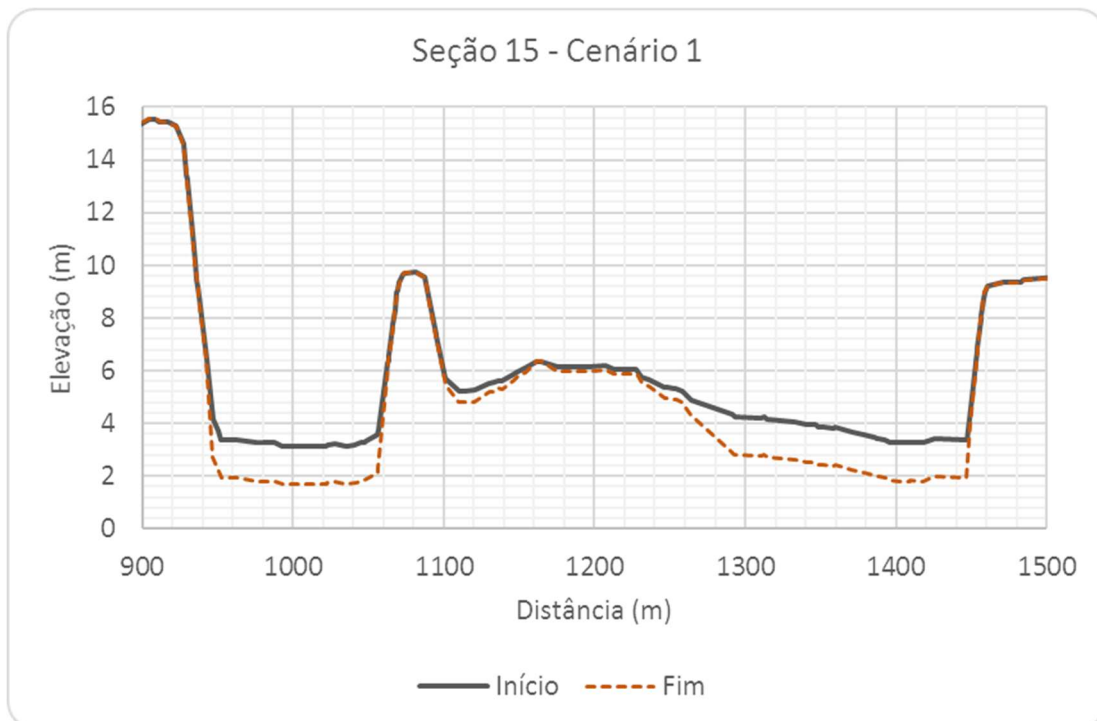


Figura 6.30 – Seção Transversal S15, com escala aumentada, Cenário 1.

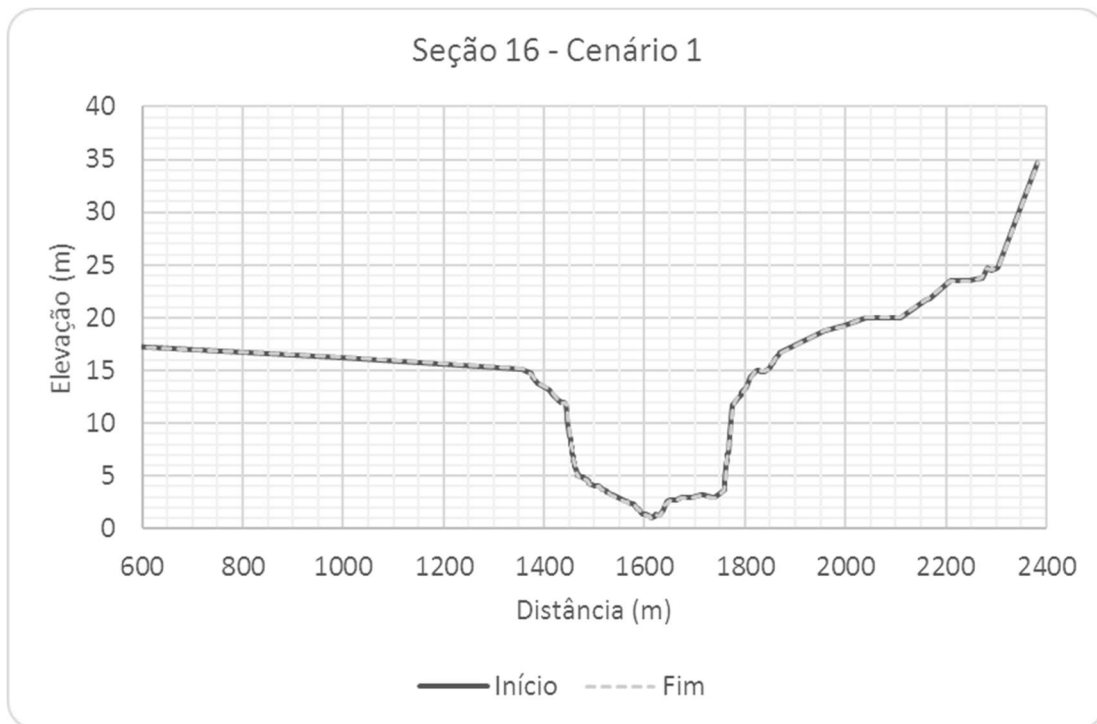


Figura 6.31 – Seção Transversal S16, Cenário 1.

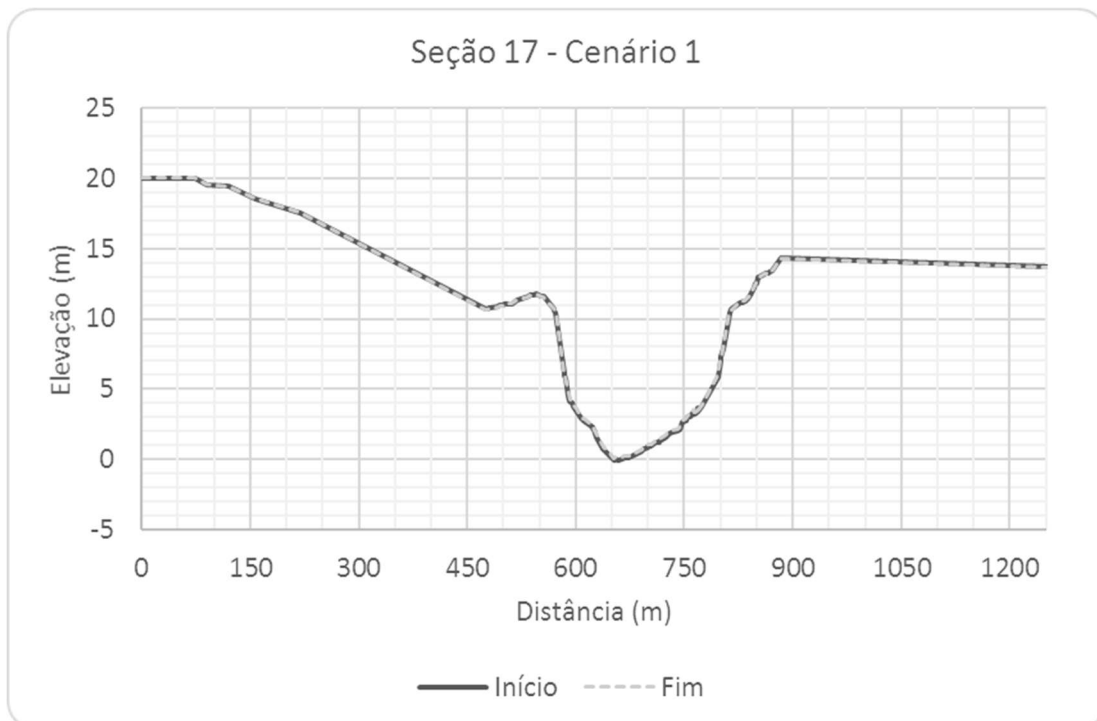


Figura 6.32 – Seção Transversal S17, Cenário 1.

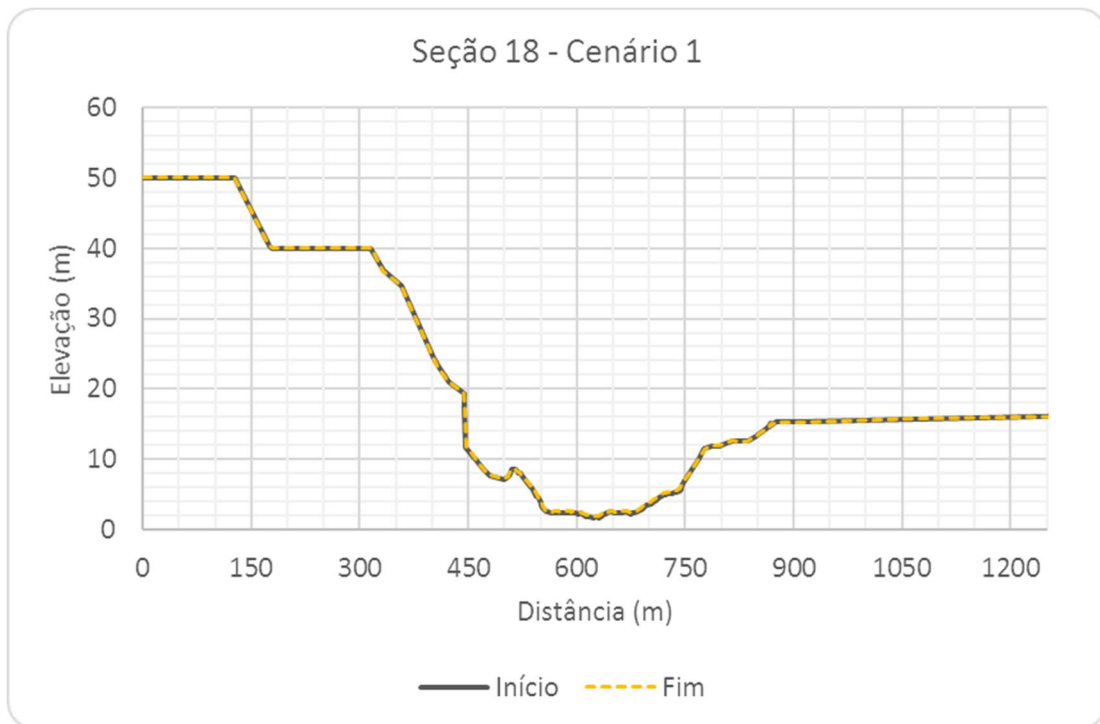


Figura 6.33 – Seção Transversal S18, Cenário 1.

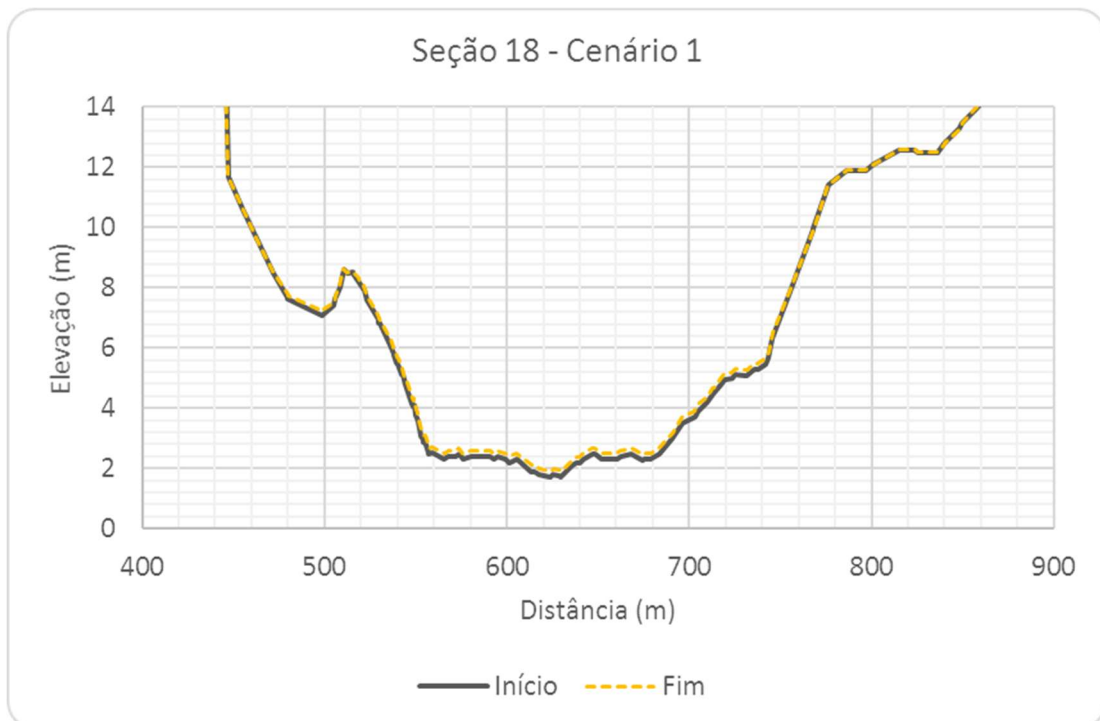


Figura 6.34 – Seção Transversal S18, com escala aumentada, Cenário 1.

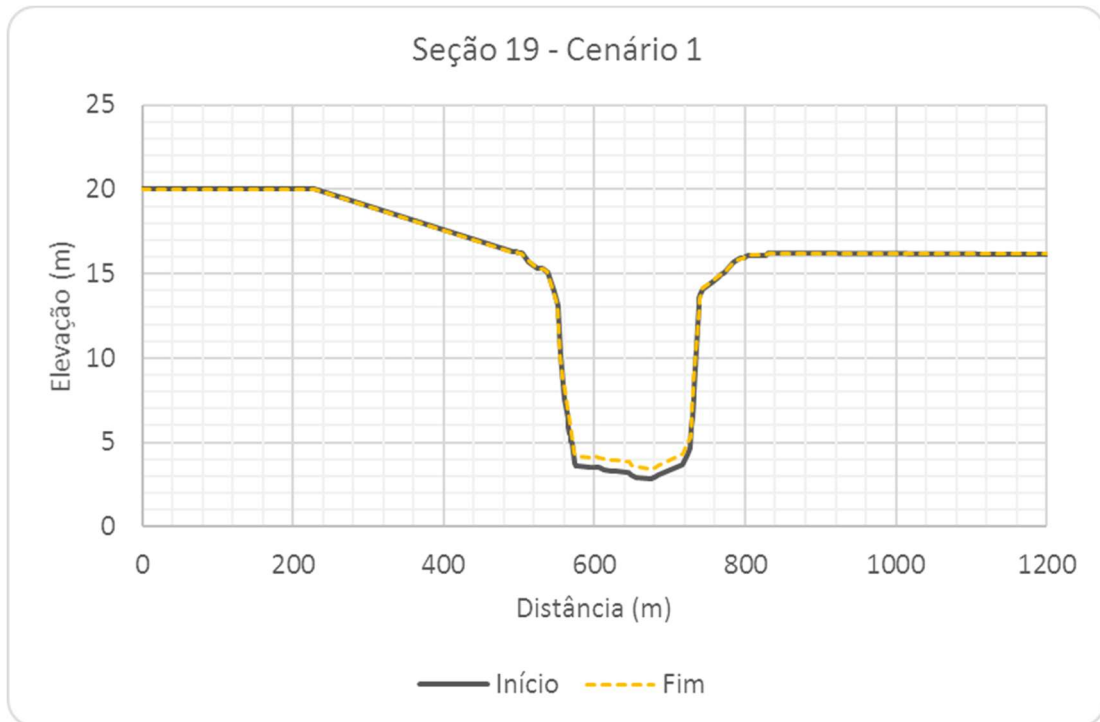


Figura 6.35 – Seção Transversal S19, Cenário 1.

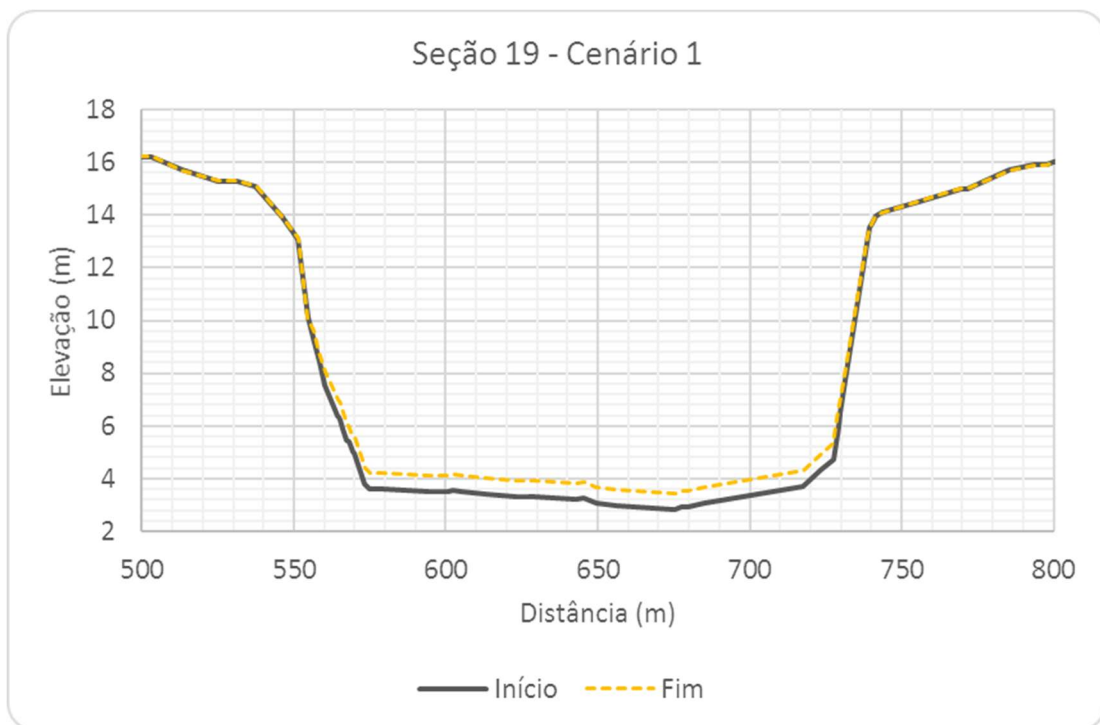


Figura 6.36 – Seção Transversal S19, com escala aumentada, Cenário 1.

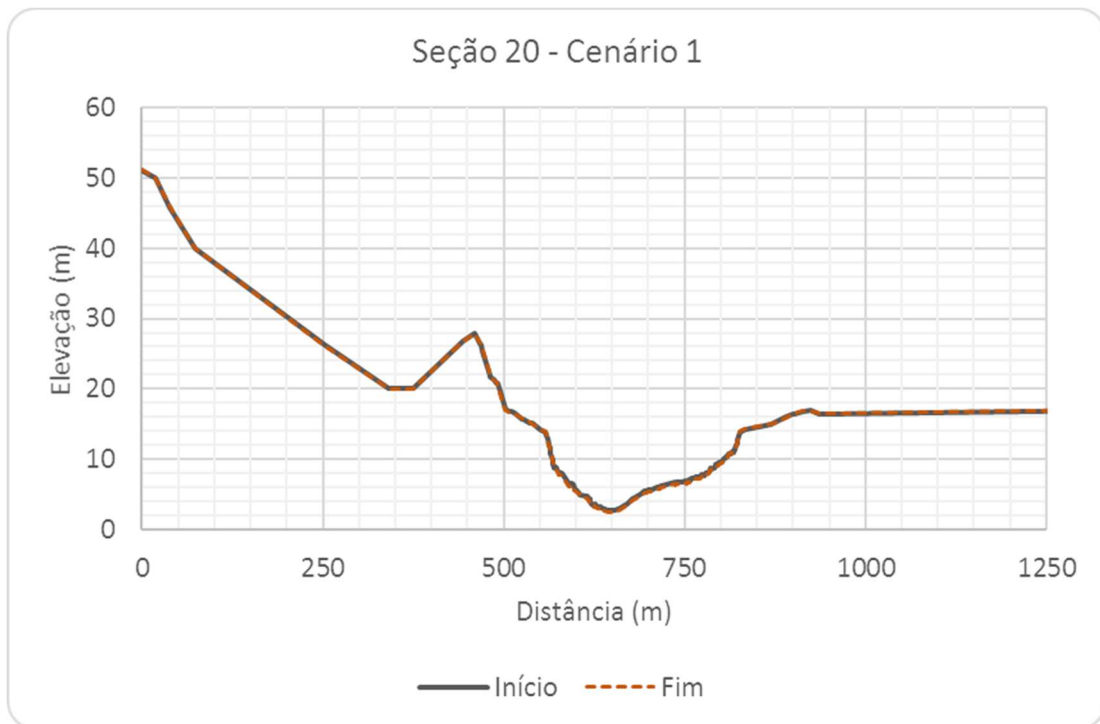


Figura 6.37 – Seção Transversal S20, Cenário 1.

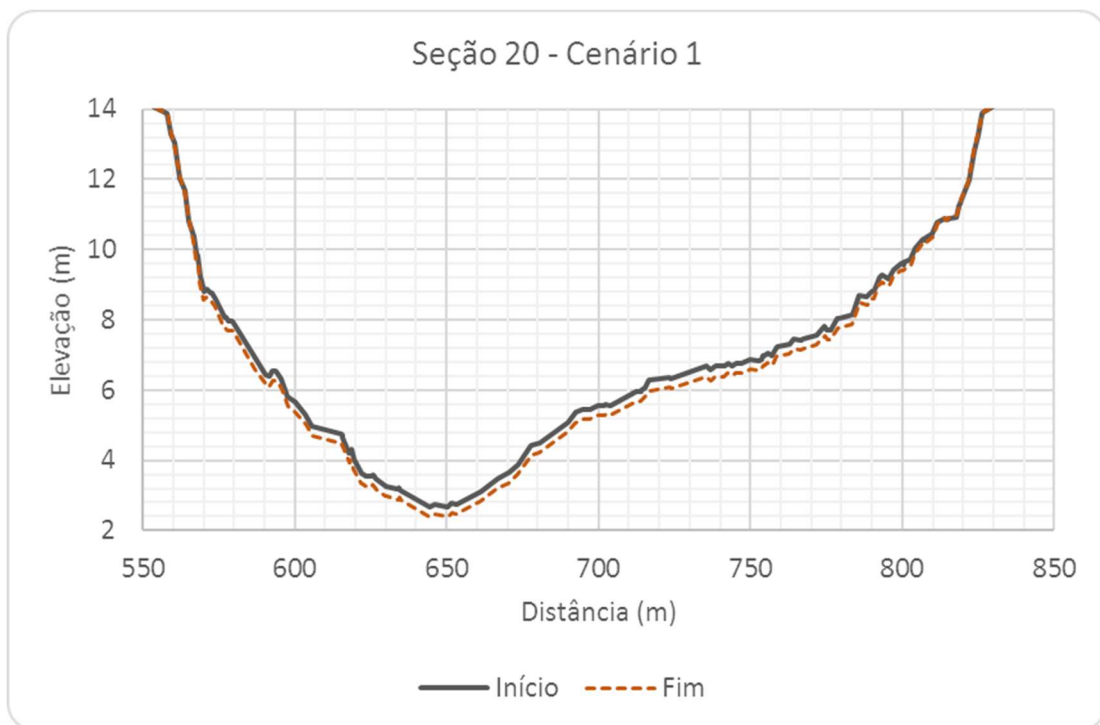


Figura 6.38– Seção Transversal S20, com escala aumentada, Cenário 1.



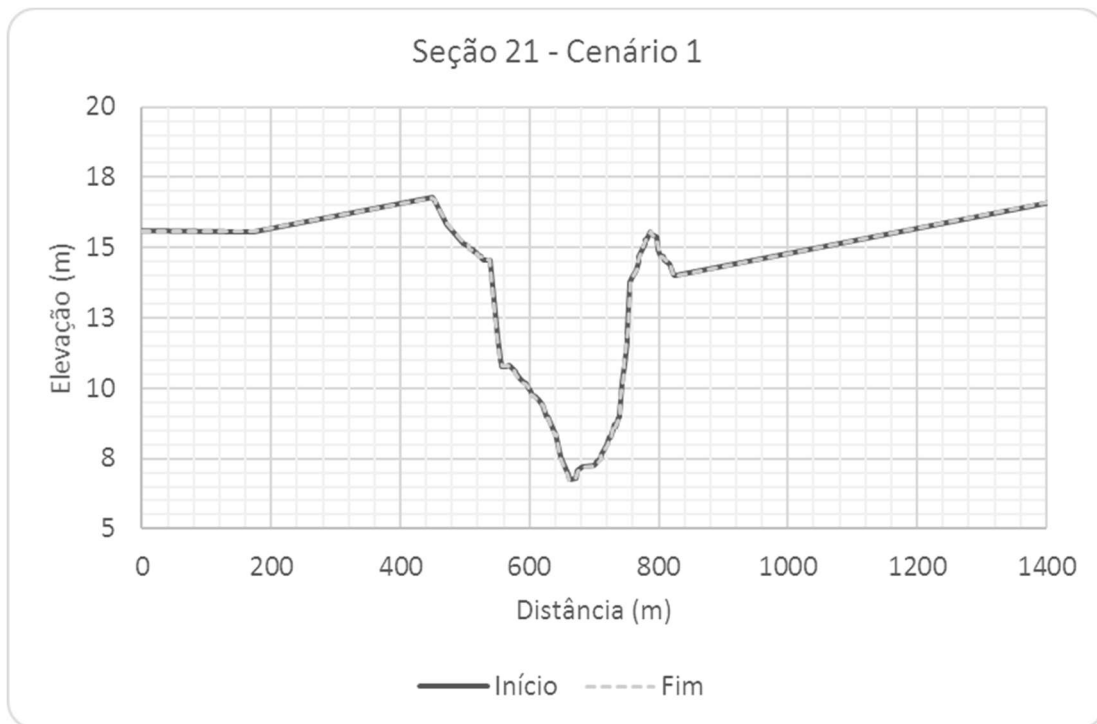


Figura 6.39 – Seção Transversal S21, Cenário 1.

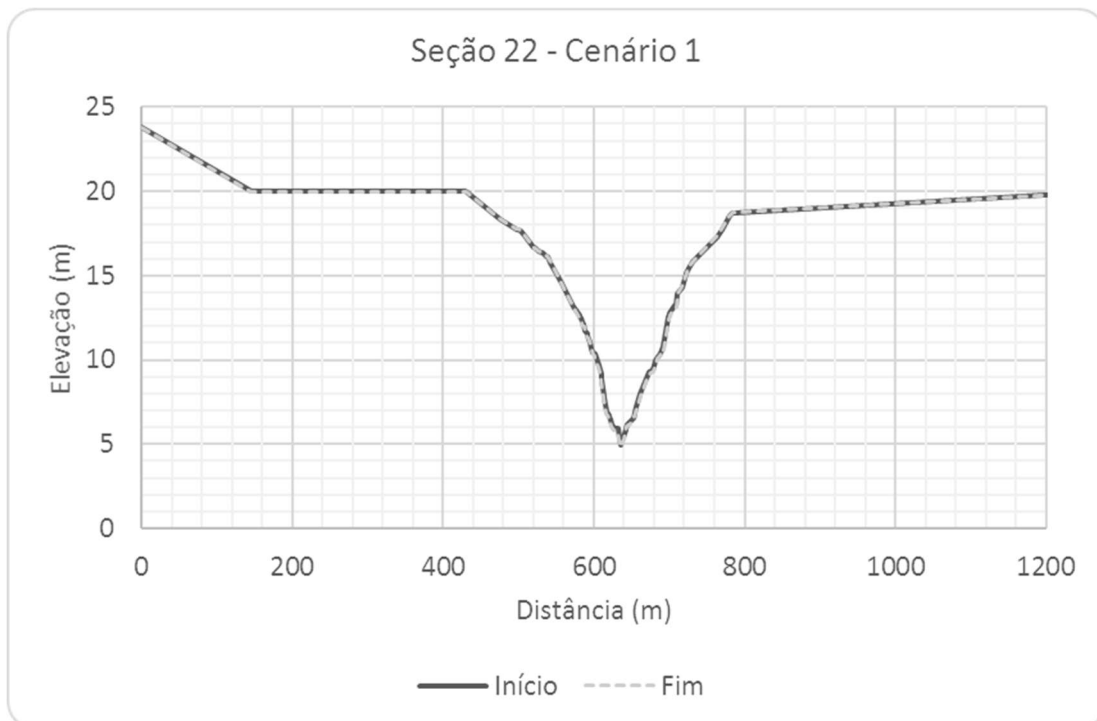


Figura 6.40 – Seção Transversal S22, Cenário 1.

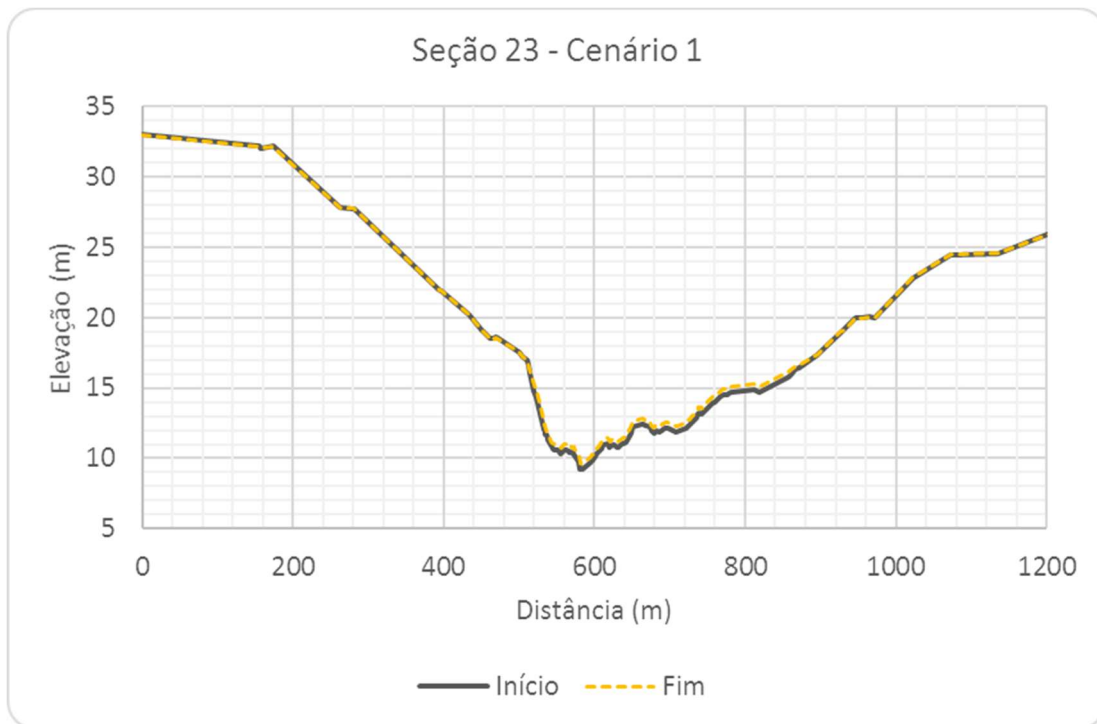


Figura 6.41 – Seção Transversal S23, Cenário 1.

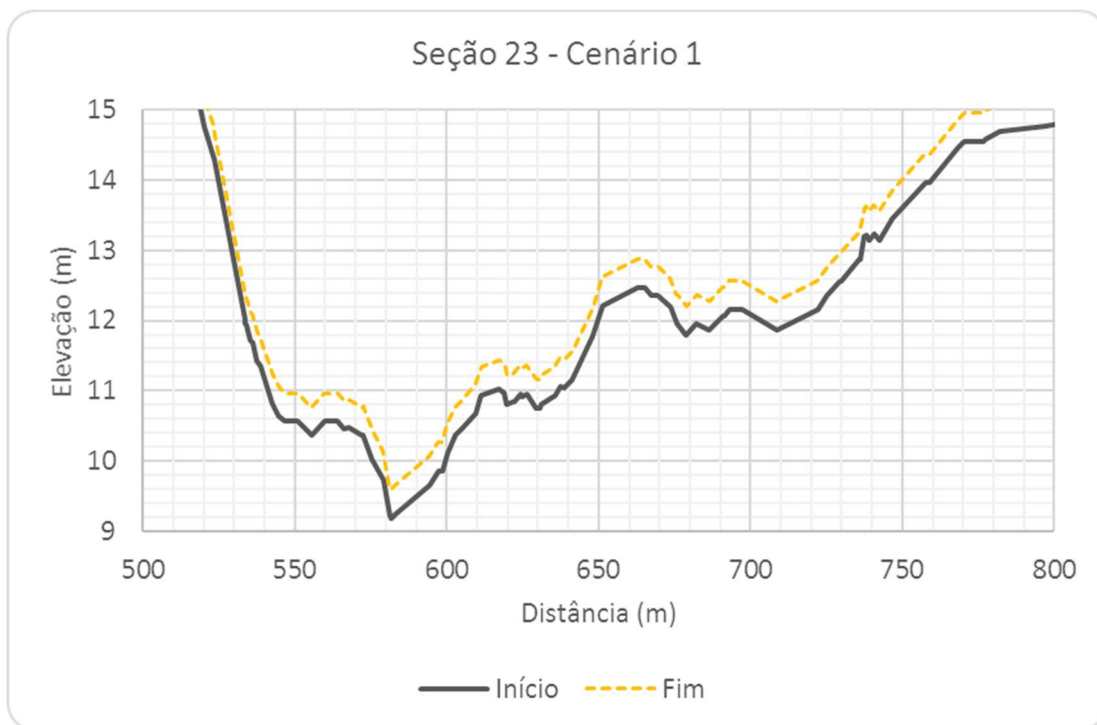


Figura 6.42 – Seção Transversal S23, com escala aumentada, Cenário 1.

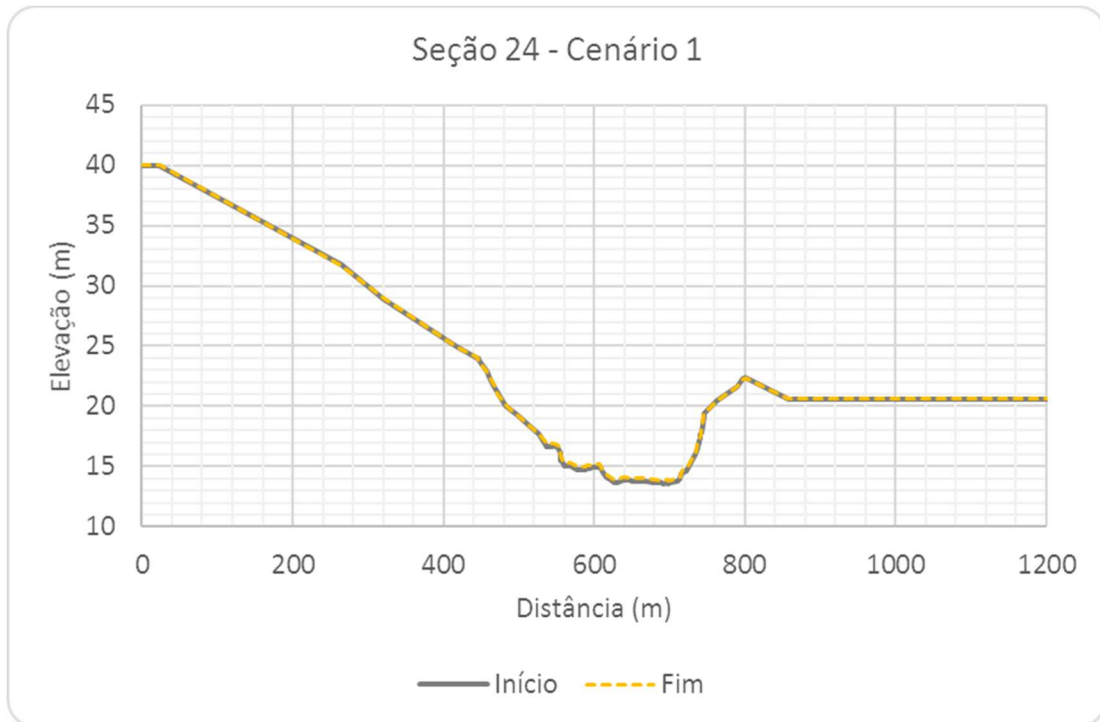


Figura 6.43 – Seção Transversal S24, Cenário 1.

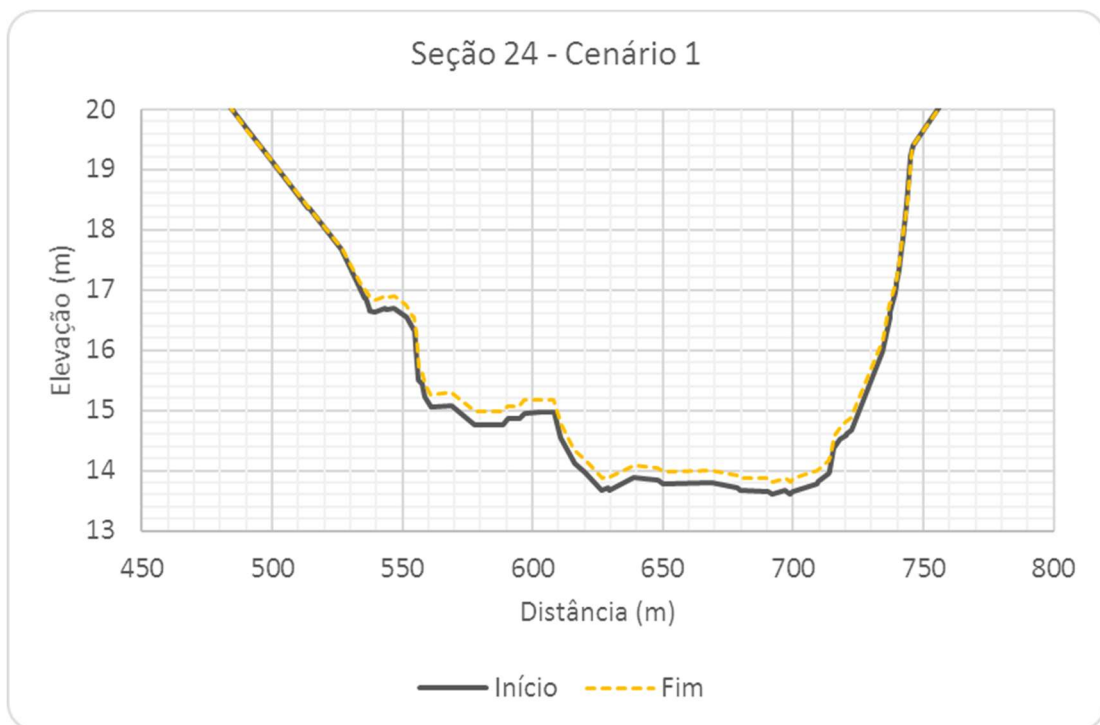


Figura 6.44 – Seção Transversal S24, com escala aumentada, Cenário 1.

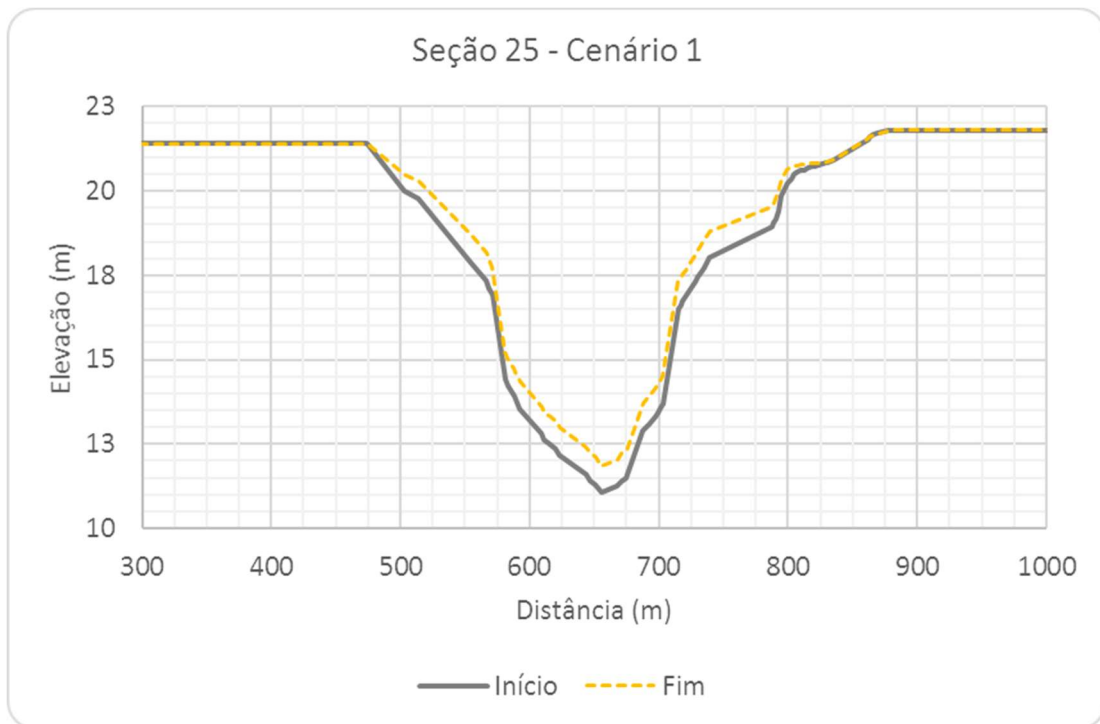


Figura 6.45 – Seção Transversal S25, Cenário 1.

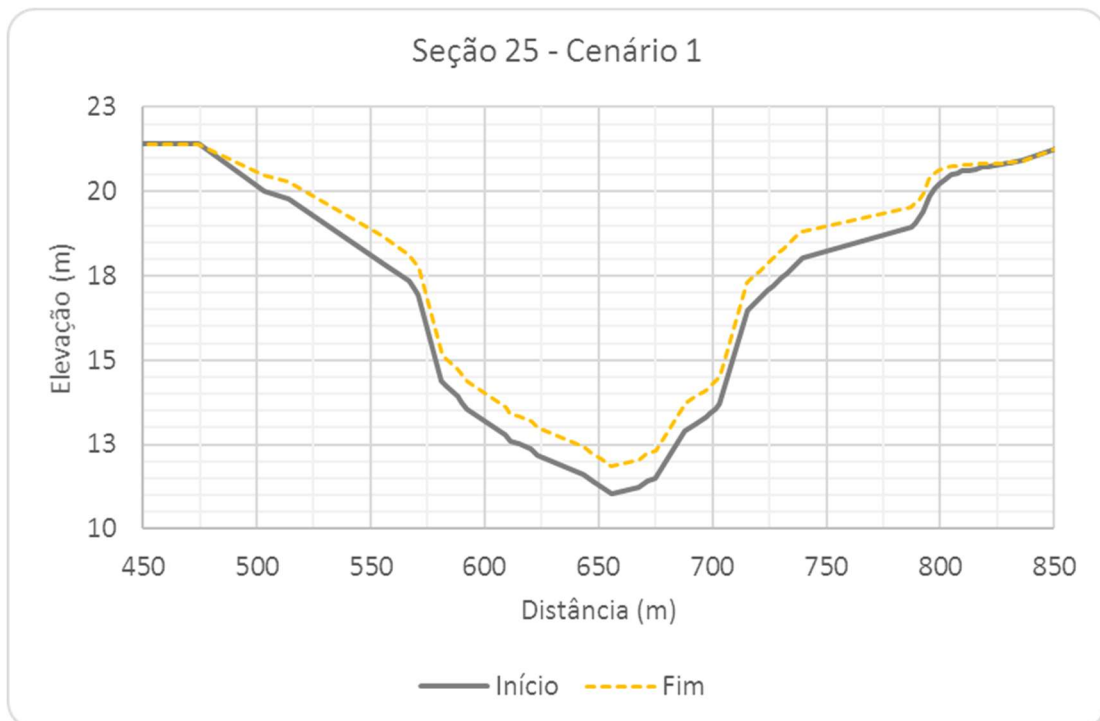


Figura 6.46 – Seção Transversal S25, com escala aumentada, Cenário 1.

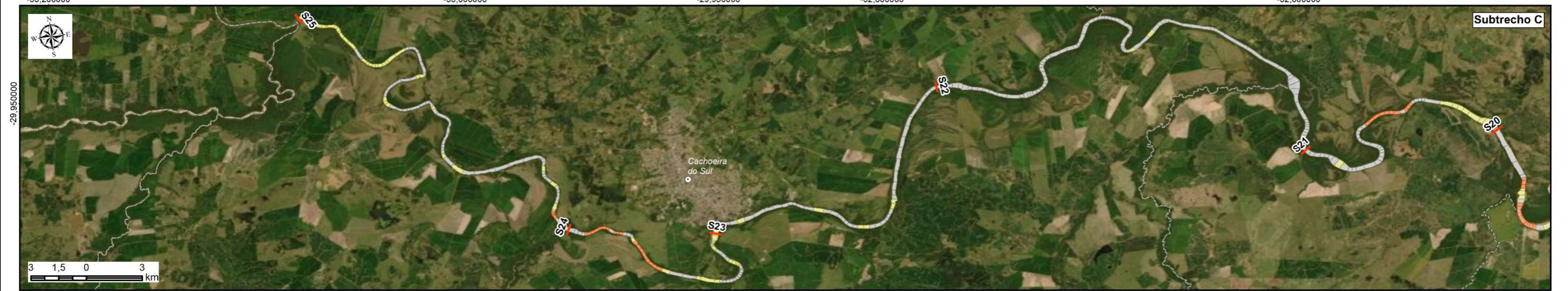
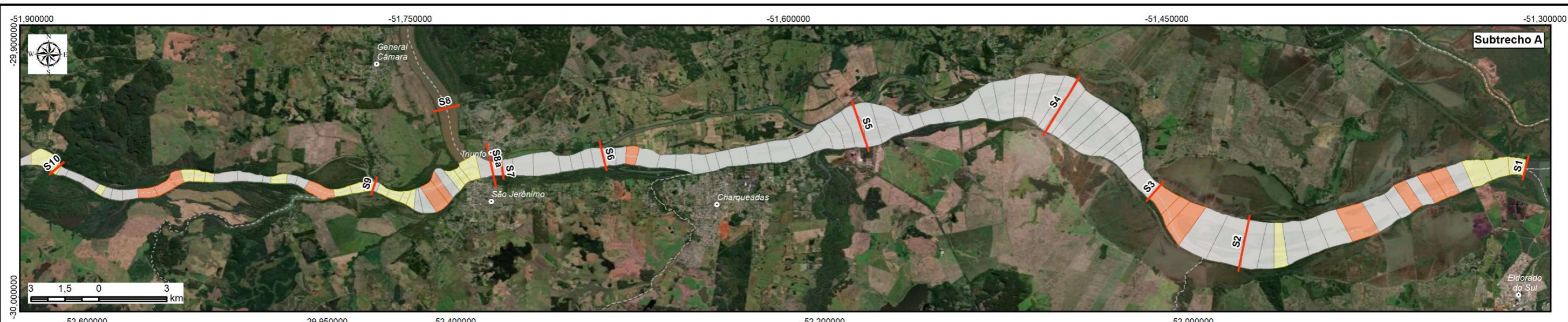


### **6.1.3 Alteração do leito (*planta baixa*)**

No Mapa 6.1 é apresentada a variação do leito resultante da simulação de sedimentos entre cada seção do modelo, para o Cenário 1.

### **6.1.4 Velocidade de escoamento (*planta baixa*)**

No Mapa 6.2 é apresentada a velocidade de escoamento ao longo do trecho do Rio Jacuí, resultante da simulação hidrodinâmica para o Cenário 1.



**LEGENDA**

- Sede municipal
- Seções topobatimétricas
- Limite municipal
- Cenário 1**
- Alteração do Leito**
- Deposição
- Sem alteração
- Erosão

Nota: A Seção 8a representa uma seção interpolada, junto a foz do Rio Taquari, para caracterizar aquele trecho, pela sua relevância



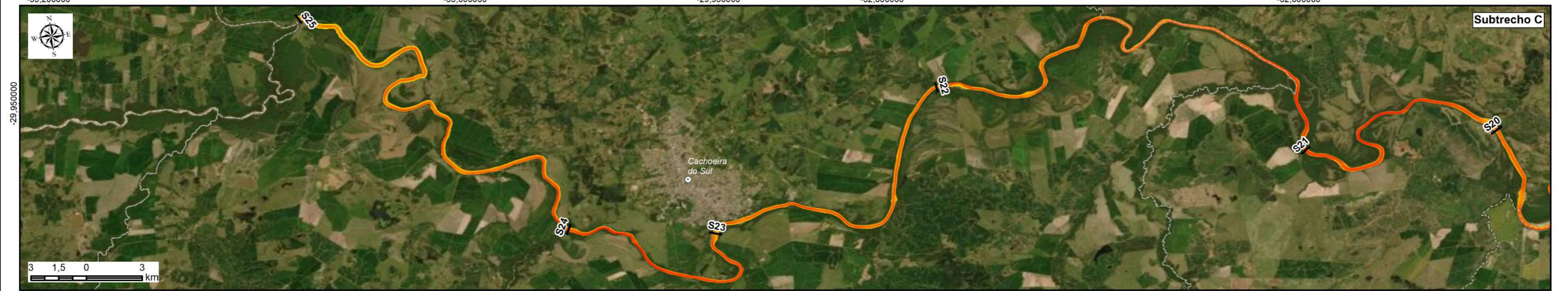
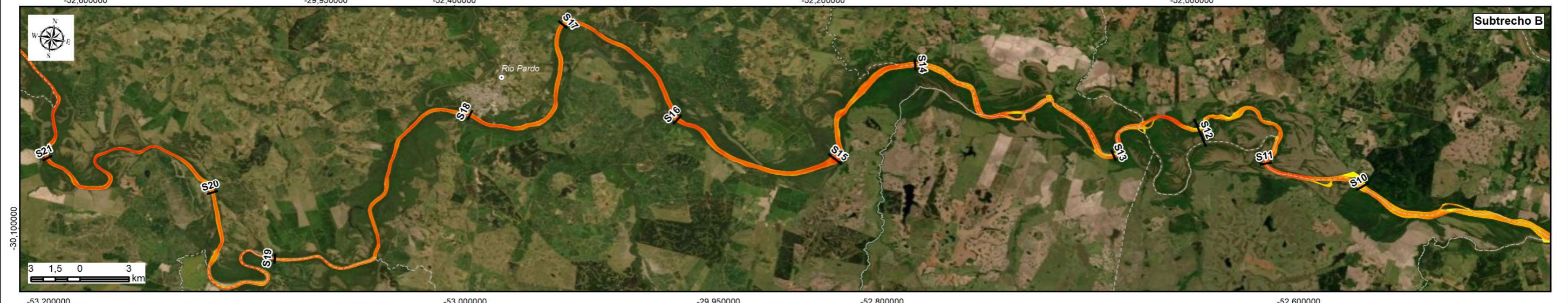
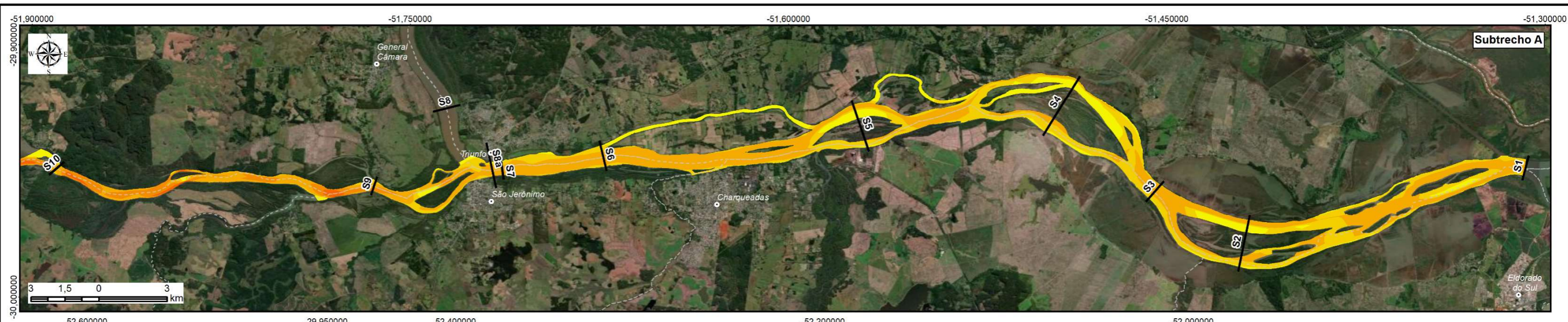
Elaboração: **RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**  
**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**



Sistema de Coordenadas Geodésicas  
 Sistema Geodésico de Referência  
 SIRGAS2000  
 Escala: Indicada

**Mapa 6.1 - Variação do leito entre as seções Cenário 1**

Fonte de dados:  
 - Sede municipal: SEMARS (2018)  
 - Limite municipal: SEMARS (2018)  
 - Limite estadual: IBGE (2019)  
 - Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
 - Seções topobatimétricas: Profill (2019)  
 - Variações do leito: Profill (2020)



**LEGENDA**

- Sede municipal
- Seções topobatimétricas
- - - Limite municipal
- Velocidade (m/s)**
- Cenário 1**
- 0 - 0.10
- 0.10 - 0.25
- 0.25 - 0.50
- 0.50 - 0.75
- 0.75 - 1.00
- 1.00 - 1.50
- 1.50 - 2.00
- 2.00 - 2.35

Nota: A Seção 8a representa uma seção interpolada, junto a foz do Rio Taquari, para caracterizar aquele trecho, pela sua relevância



Elaboração

**PROFILL**

**RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Contratação e fiscalização

**Fepam**

<p>Sistema de Coordenadas Geodésicas Sistema Geodésico de Referência SIRGAS2000 Escala: Indicada</p>	<p><b>Mapa 6.2 - Velocidade de escoamento ao longo do Rio Jacuí</b> <b>Cenário 1</b></p>	<p>Fonte de dados: - Sede municipal: SEMARS (2018) - Limite municipal: SEMARS (2018) - Limite estadual: IBGE (2019) - Hidrografia: DRH/SEMA (2015) - Seções topobatimétricas: Profill (2019) - Velocidade: Profill (2020)</p>
--	--	---



## 6.2 CENÁRIO 2

### 6.2.1 *Perfil longitudinal*

O perfil longitudinal para o Cenário 2 é apresentado na Figura 6.47, e assim como foi realizado para o Cenário 1, essa figura foi dividida em trechos para uma melhor visualização da variação do leito. Lembrando que o zero das abscissas representa a foz do Rio Jacuí.



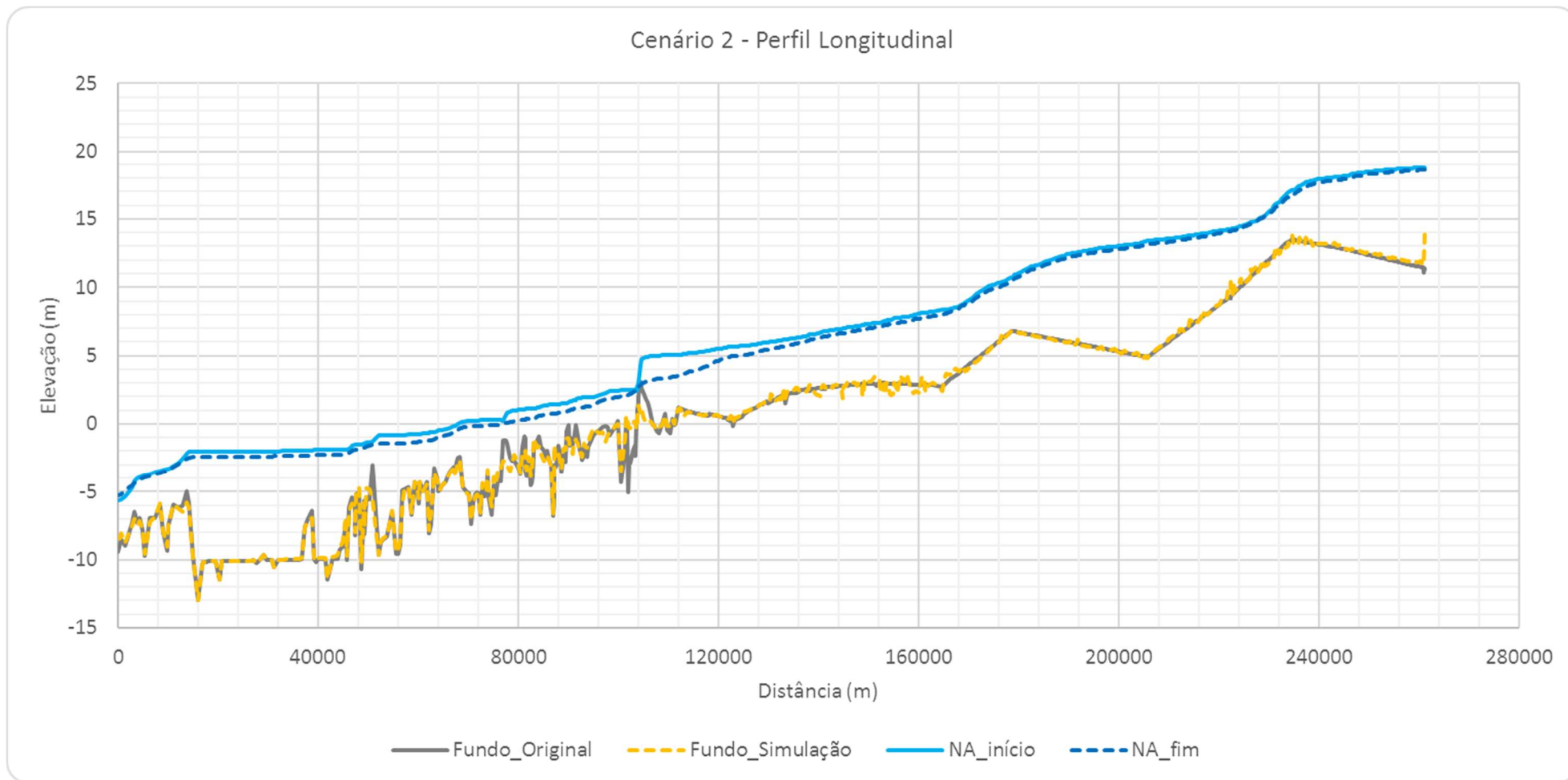


Figura 6.47 – Perfil longitudinal do leito do rio Jacuí – Cenário 2.

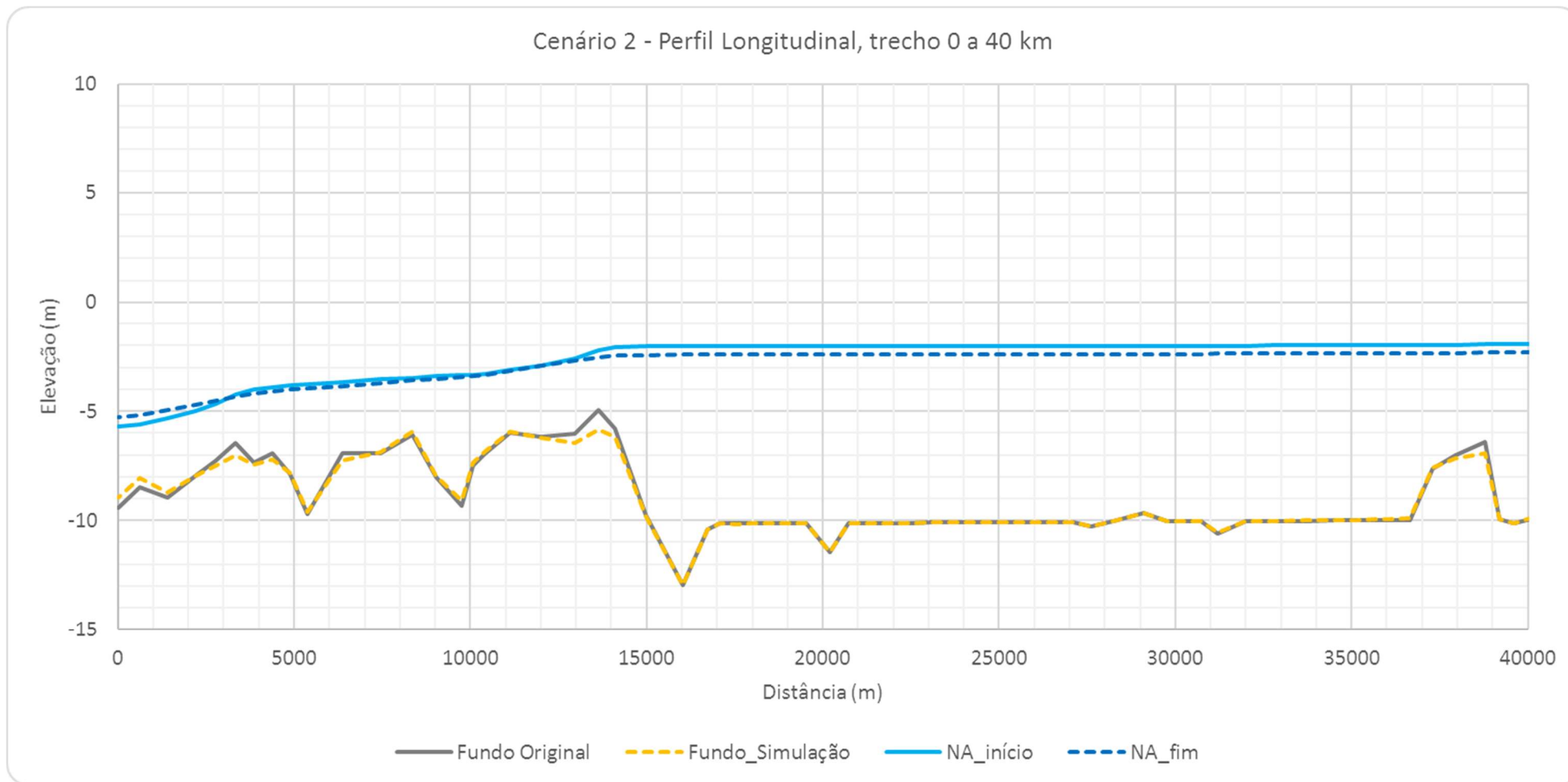


Figura 6.48 – Perfil longitudinal do leito do rio Jacuí – trecho de 0 a 40 km, Cenário 2.

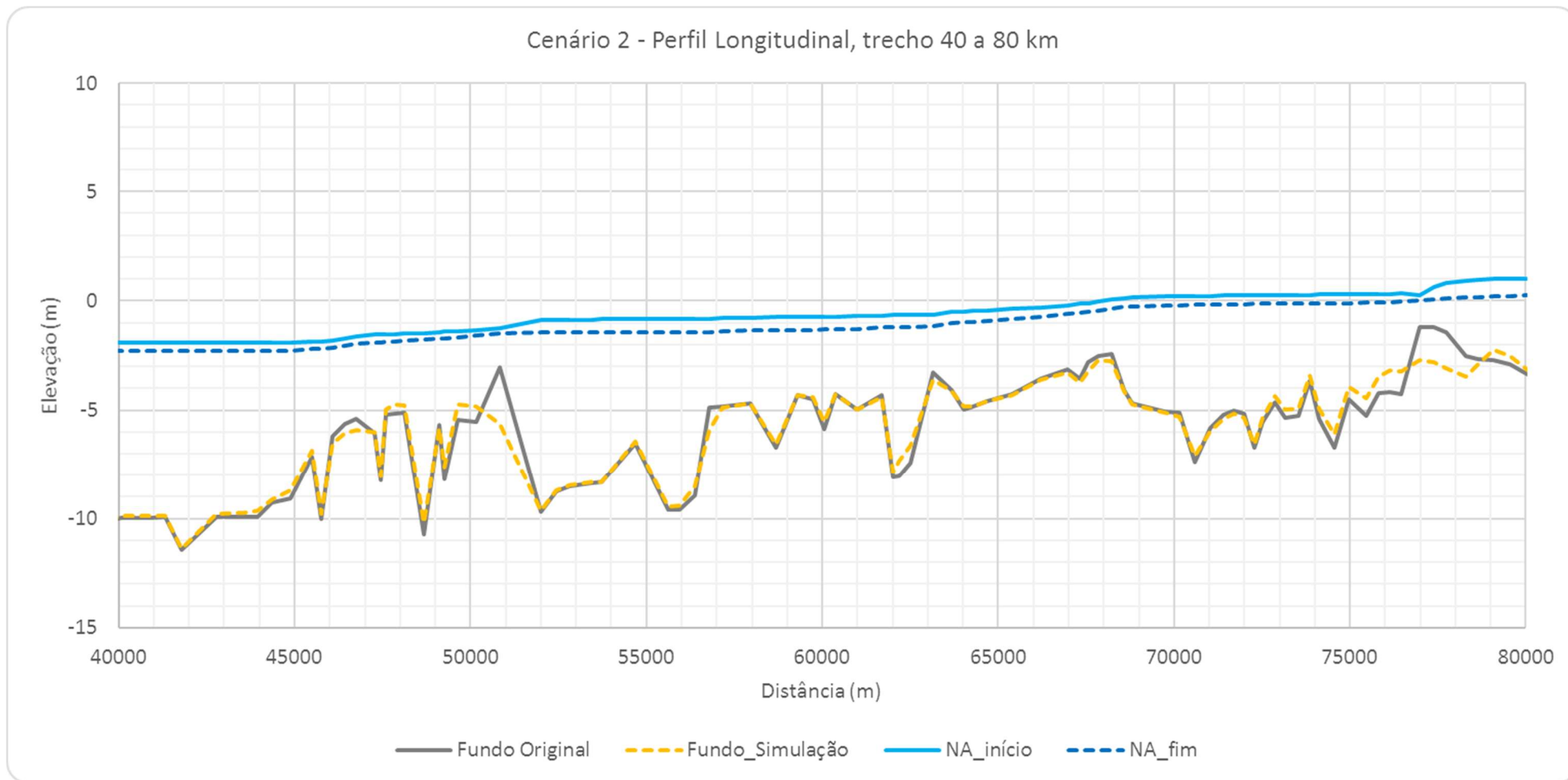


Figura 6.49 – Perfil longitudinal do leito do rio Jacuí – trecho de 40 a 80 km, Cenário 2.

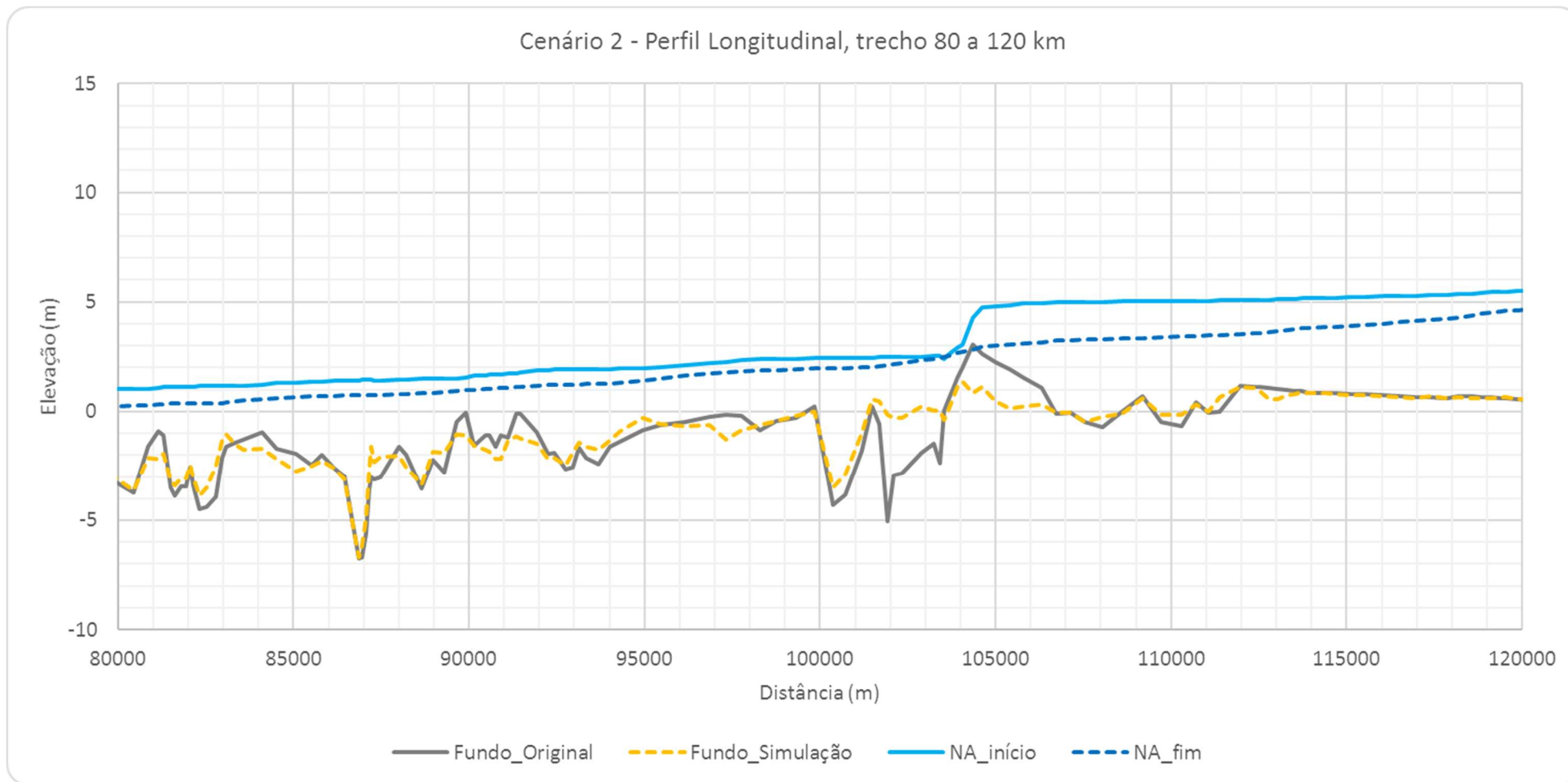


Figura 6.50 – Perfil longitudinal do leito do rio Jacuí – trecho de 80 a 120 km, Cenário 2.

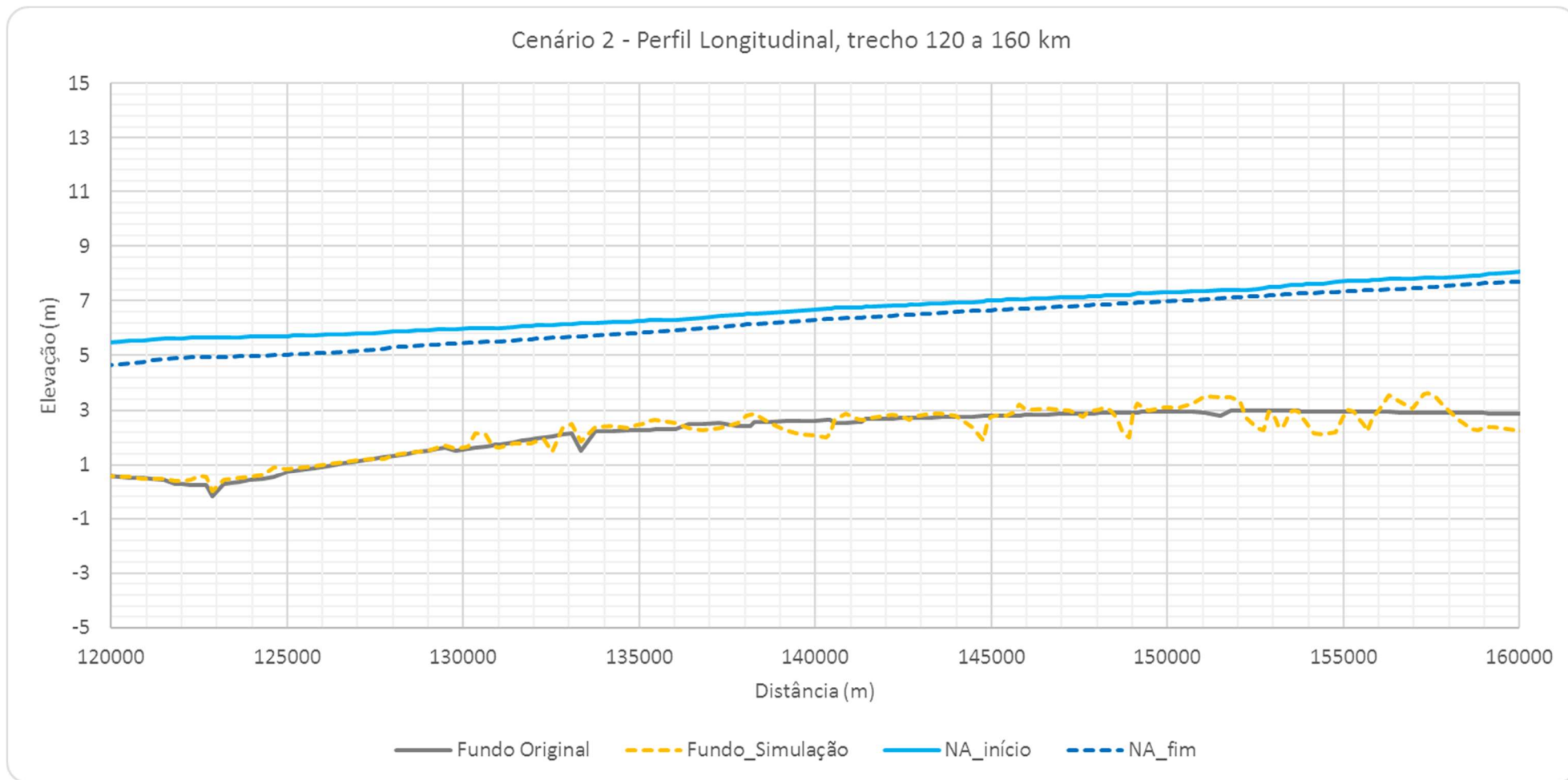


Figura 6.51 – Perfil longitudinal do leito do Rio Jacuí – trecho de 120 a 160 km, Cenário 2.

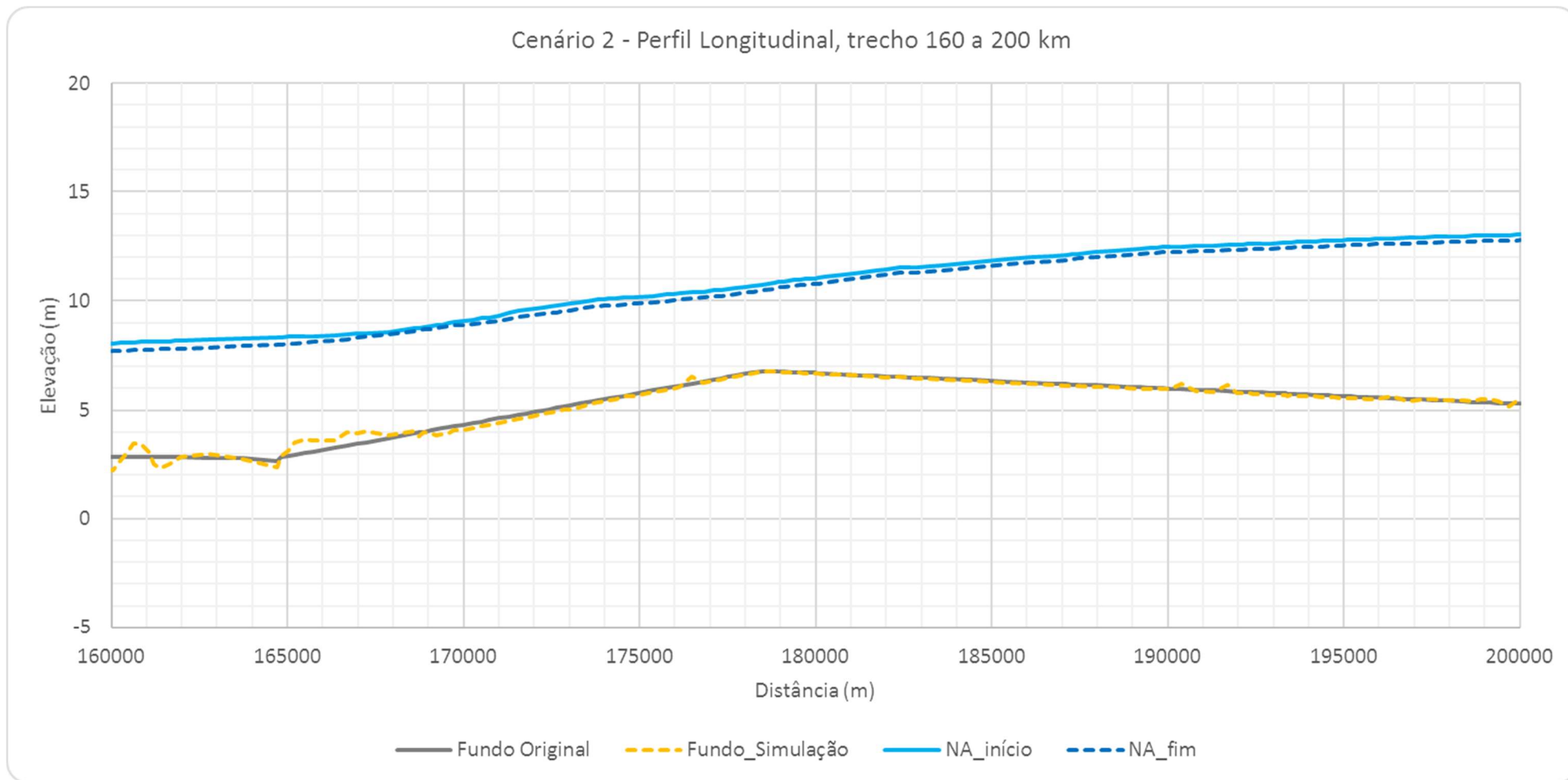


Figura 6.52 – Perfil longitudinal do leito do rio Jacuí – trecho de 160 a 200 km, Cenário 2.

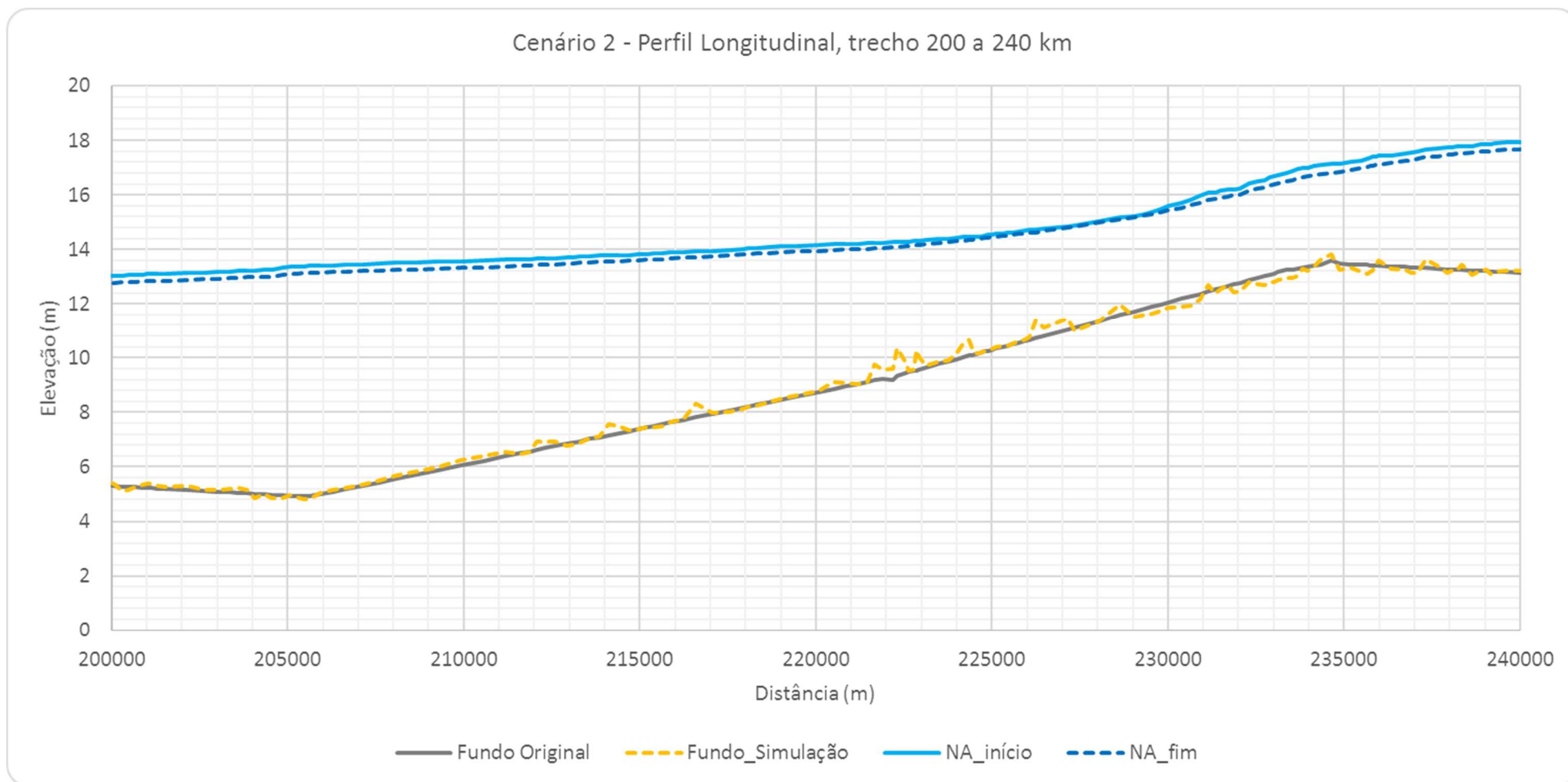


Figura 6.53 – Perfil longitudinal do leito do rio Jacuí – trecho de 200 a 240 km, Cenário 2.

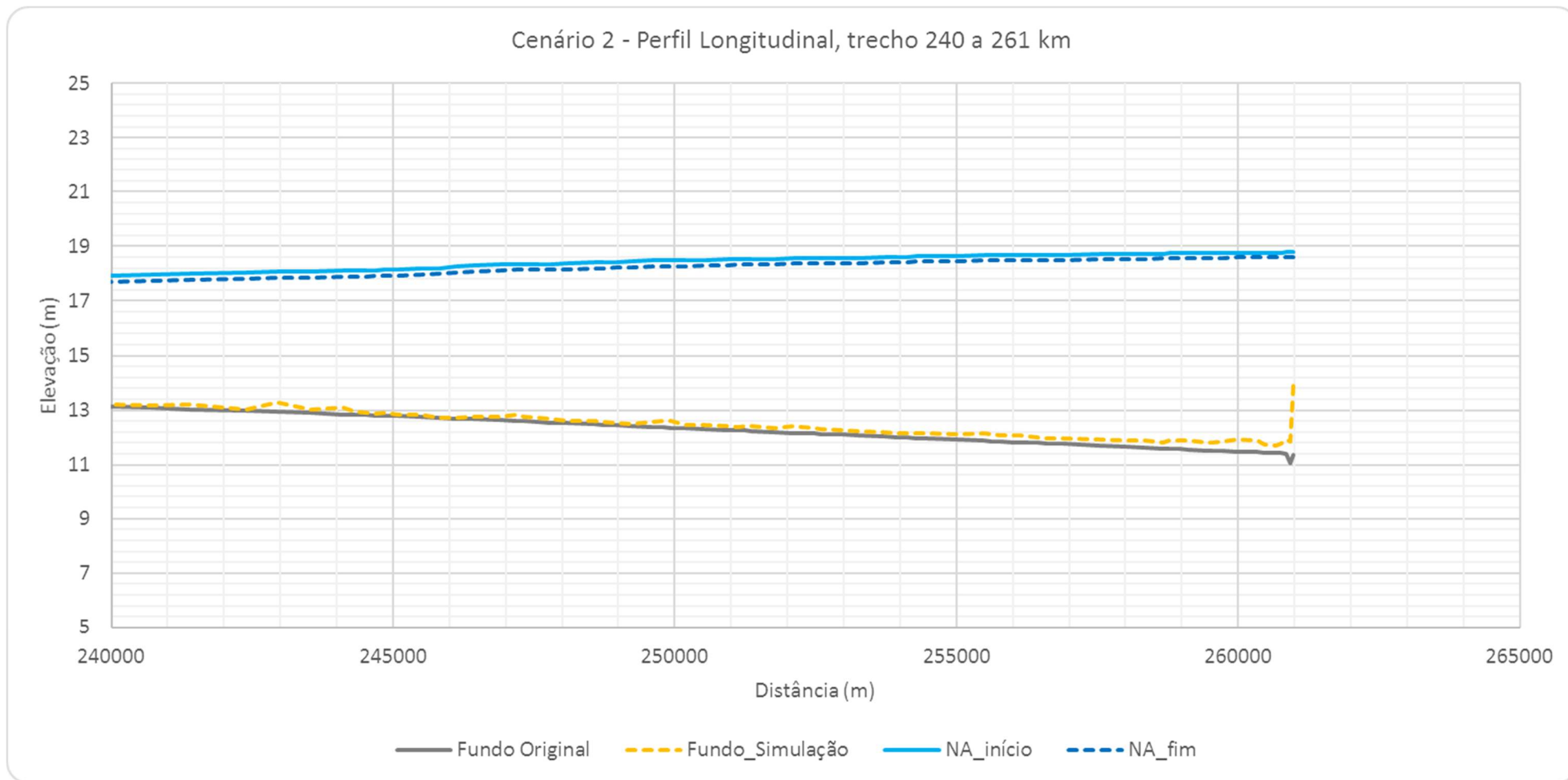


Figura 6.54 – Perfil longitudinal do leito do rio Jacuí – trecho de 240 a 261 km, Cenário 2.





### 6.2.2 Seções topobatimétricas

No Cenário 2, as seções que tiveram a geometria alterada, foi mantido a seção do Cenário 1 e indicada pela cor verde, a fim de avaliar o comportamento da seção com relação a variação do leito devido a mineração.

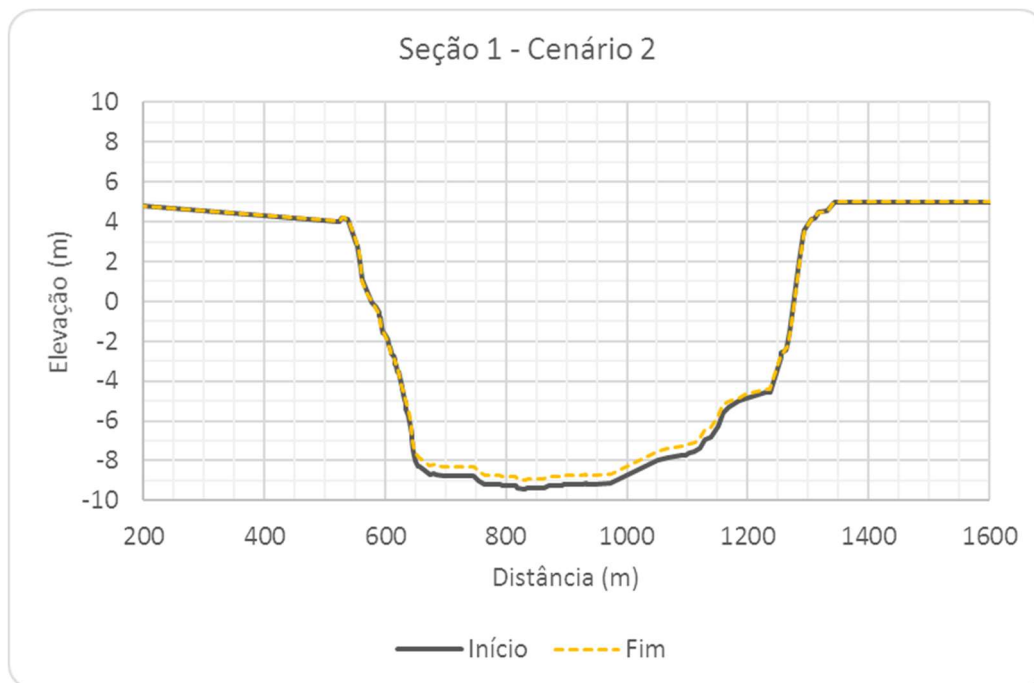


Figura 6.55 – Seção Transversal S1, Cenário 2.

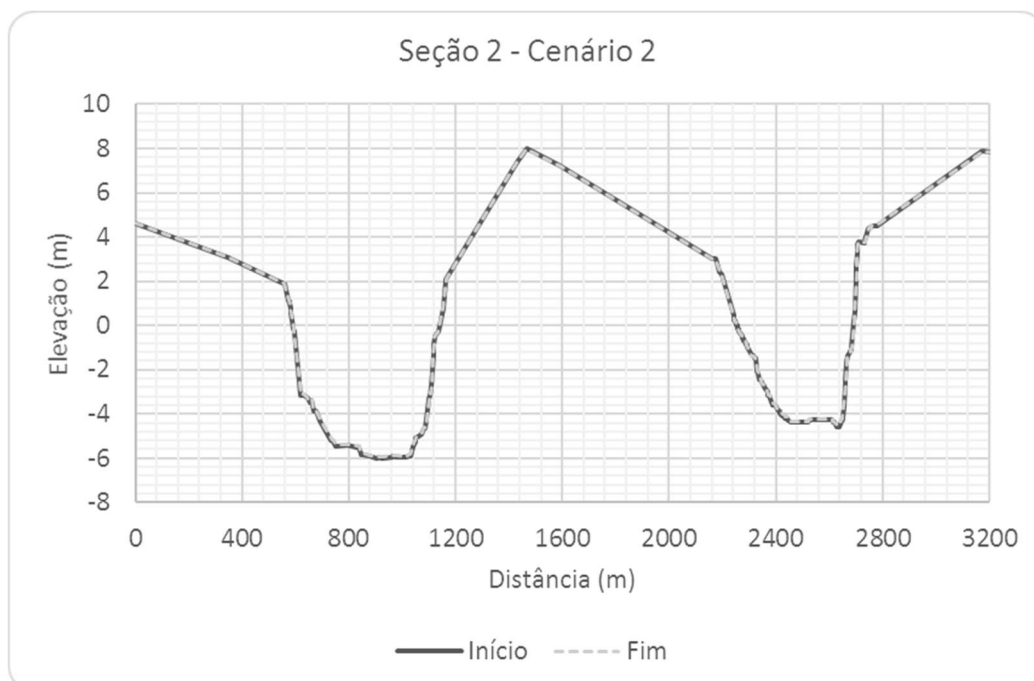


Figura 6.56 – Seção Transversal S2, Cenário 2.

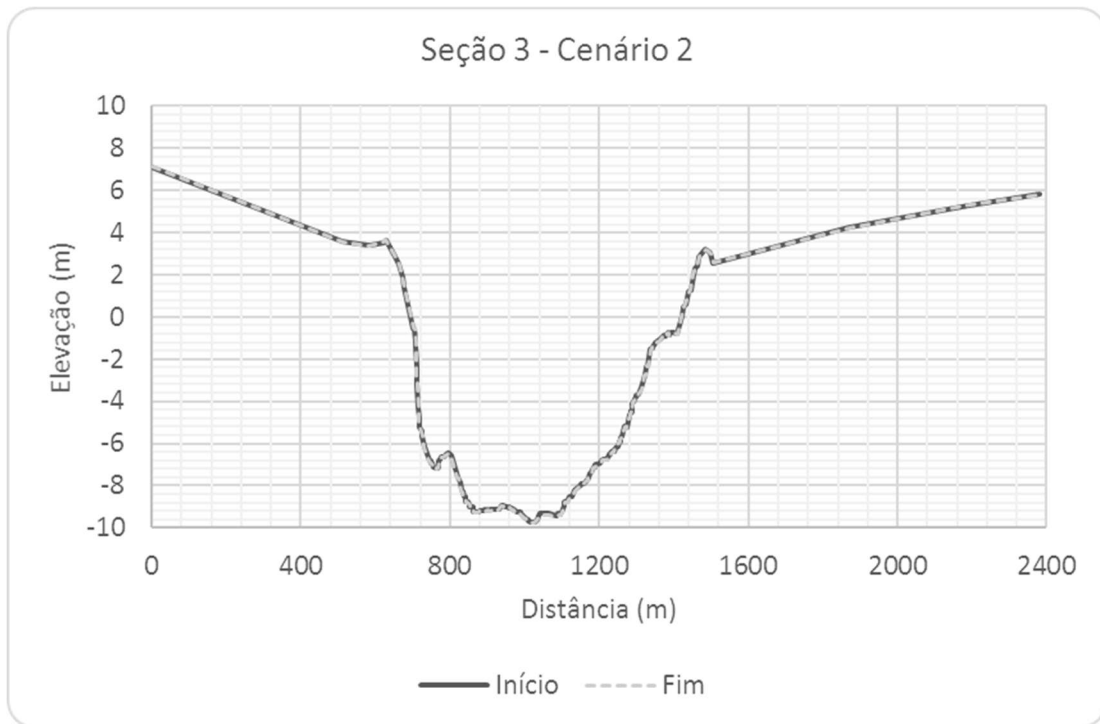


Figura 6.57 – Seção Transversal S3, Cenário 2.

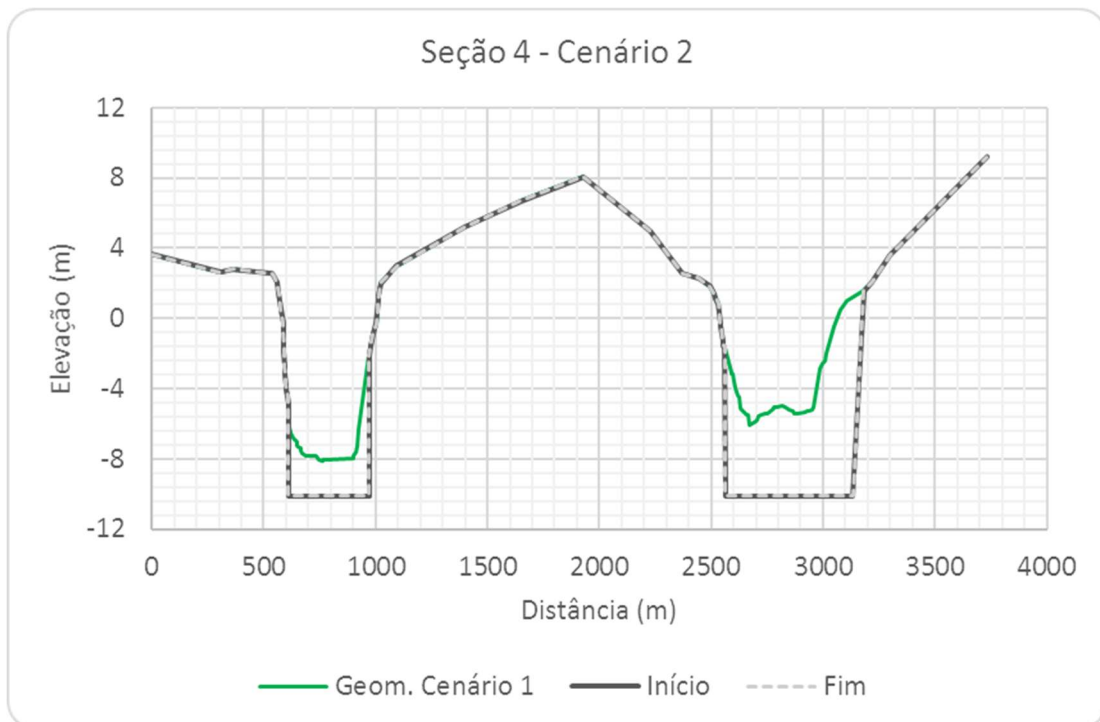


Figura 6.58 – Seção Transversal S4, Cenário 2.

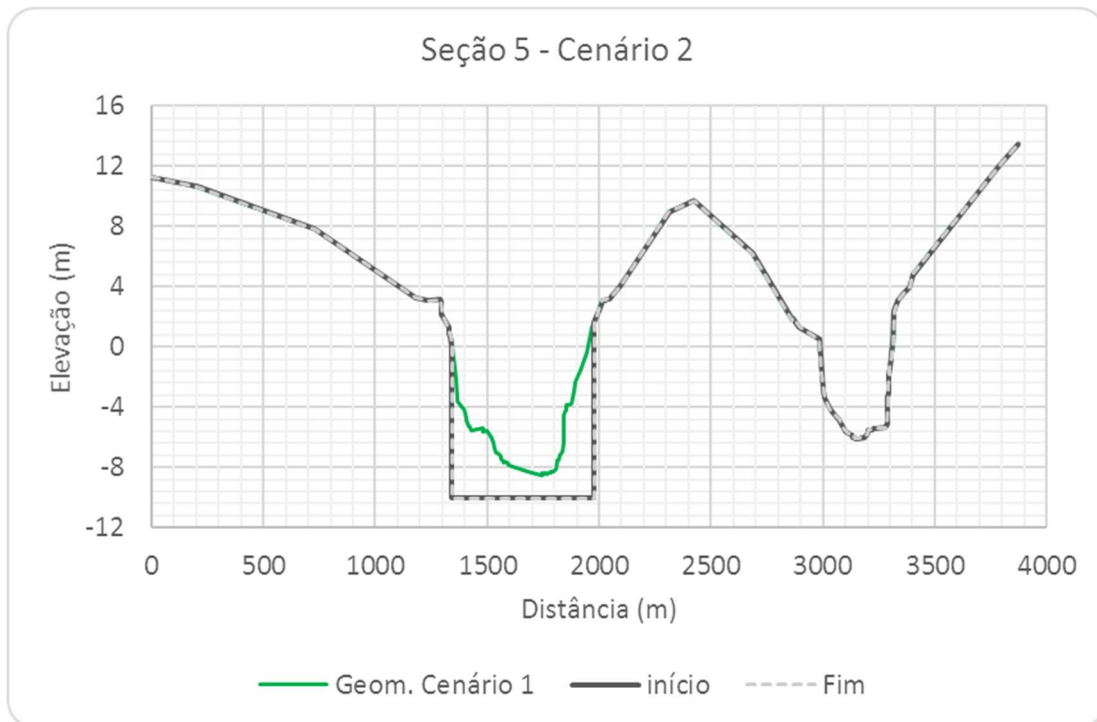


Figura 6.59 – Seção Transversal S5, Cenário 2.

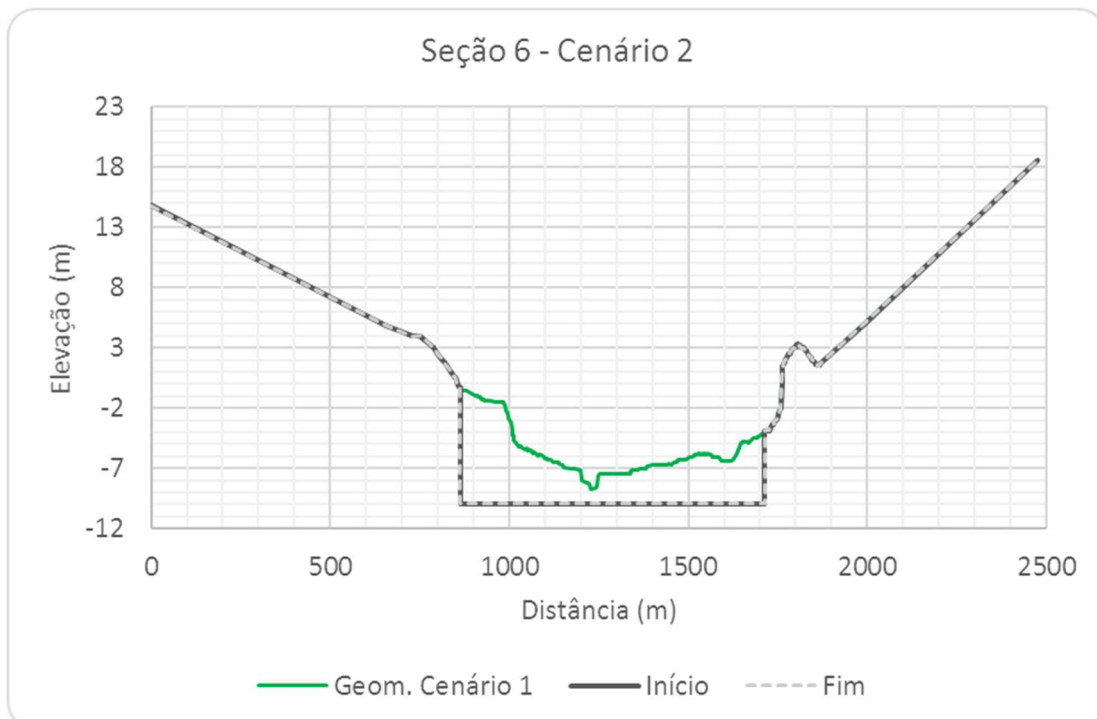


Figura 6.60 – Seção Transversal S6, Cenário 2.

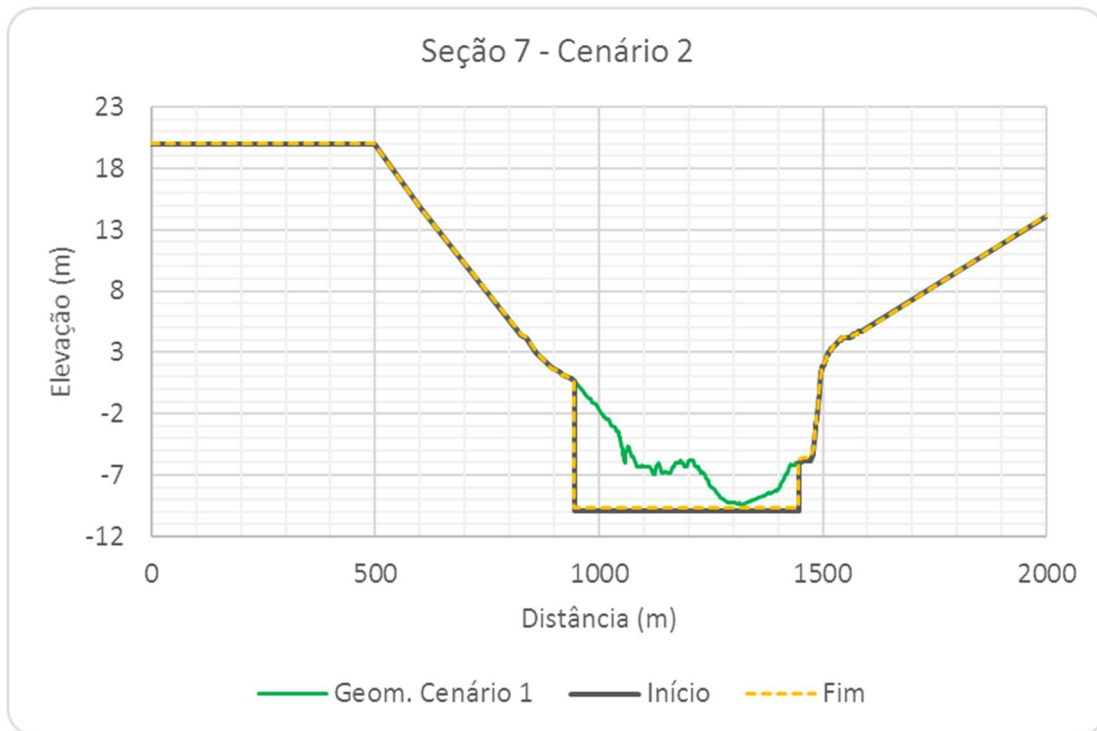


Figura 6.61 – Seção Transversal S7, Cenário 2.

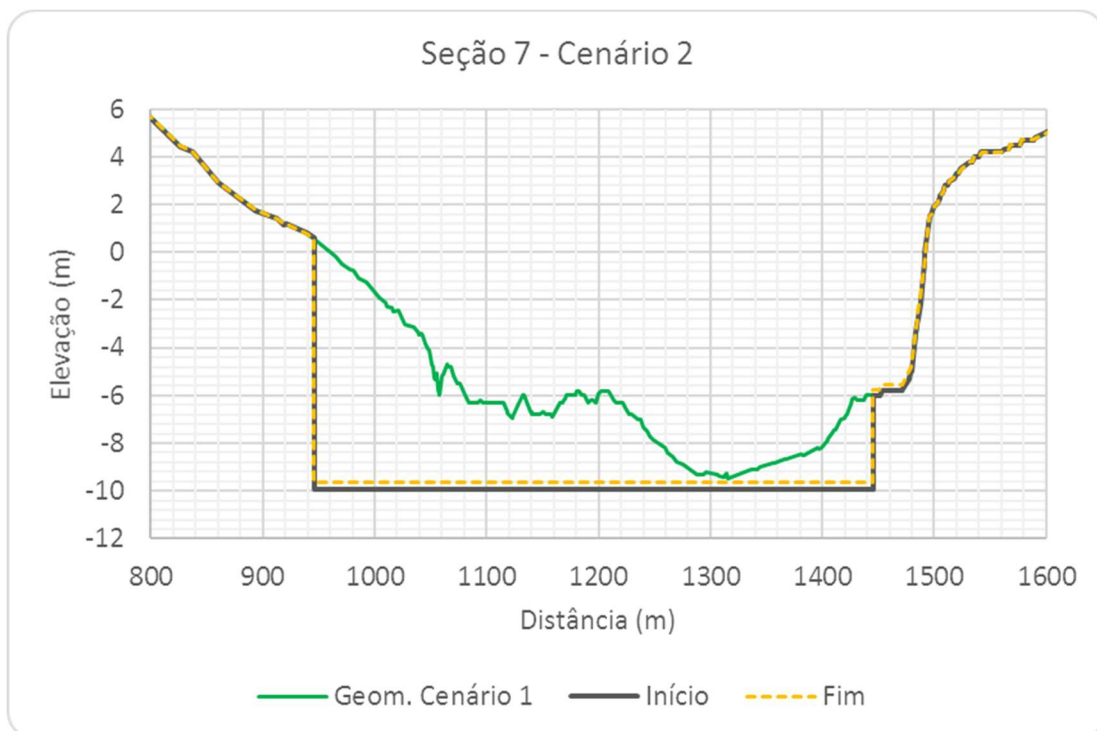


Figura 6.62 – Seção Transversal S7, com escala aumentada, Cenário 2.

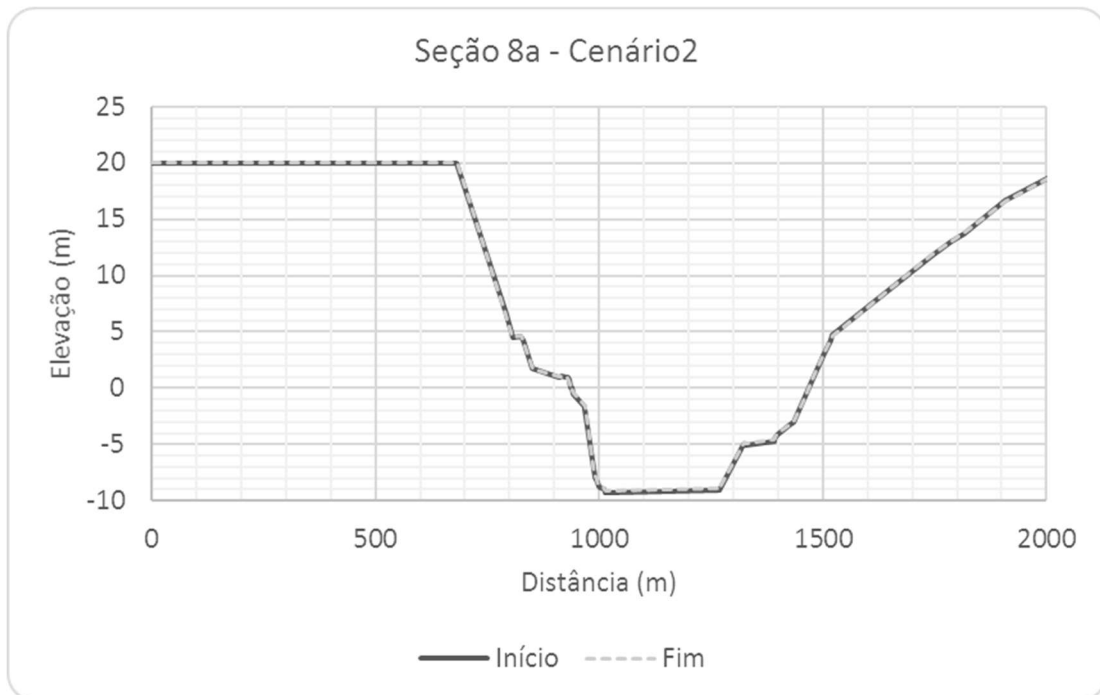


Figura 6.63 – Seção Transversal S8a, Cenário 2.

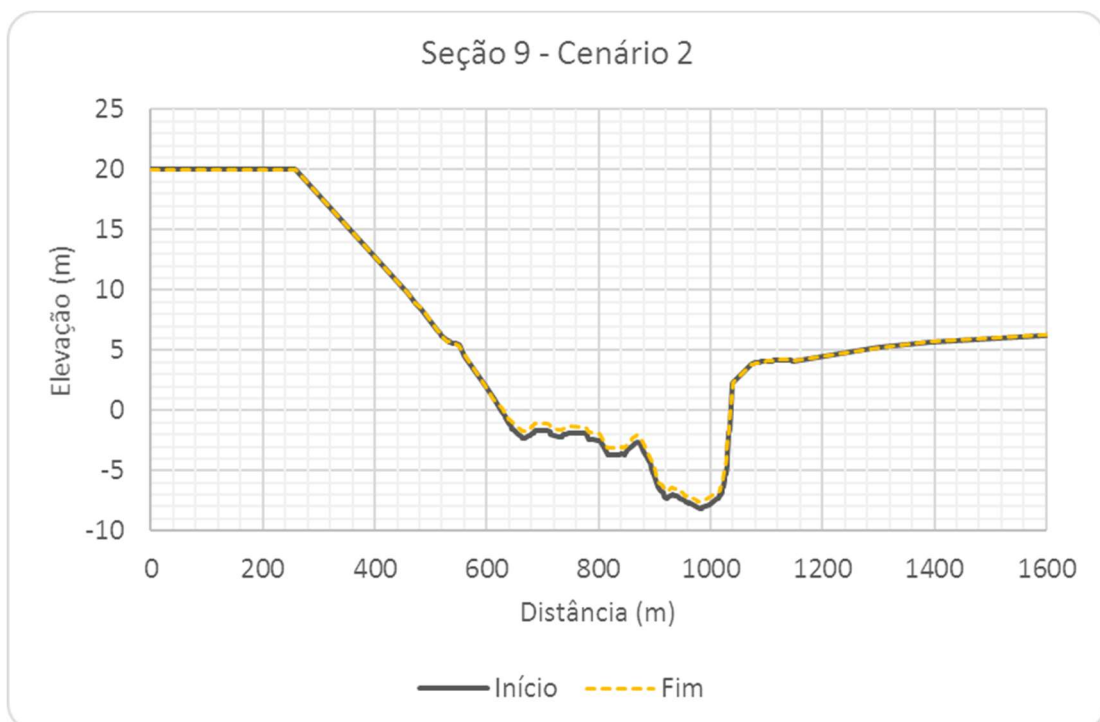


Figura 6.64 – Seção Transversal S9, Cenário 2.

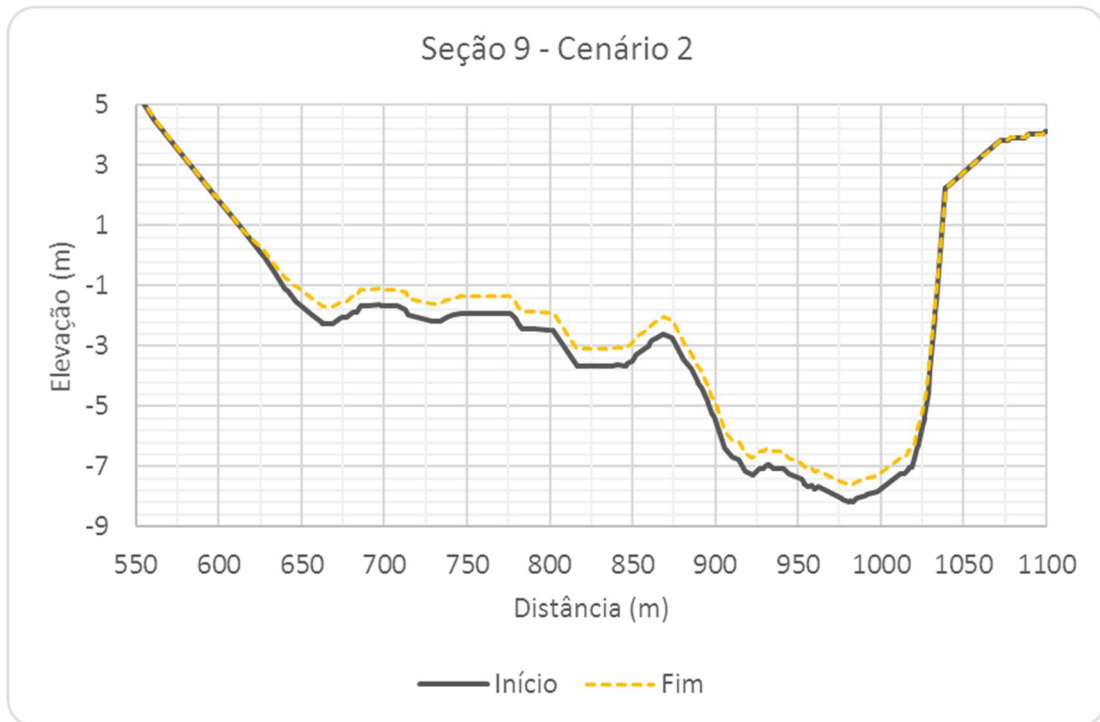


Figura 6.65 – Seção Transversal S9, com escala aumentada, Cenário 2.



Figura 6.66 – Seção Transversal S10, Cenário 2.

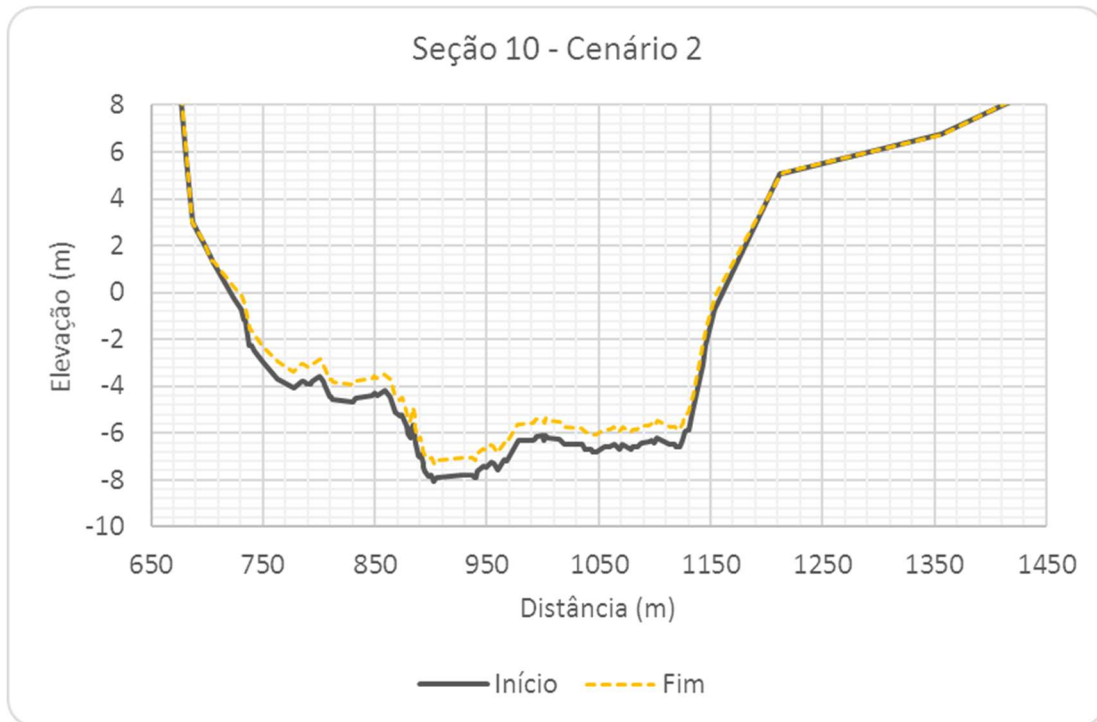


Figura 6.67 – Seção Transversal S10, com escala aumentada, Cenário 2.

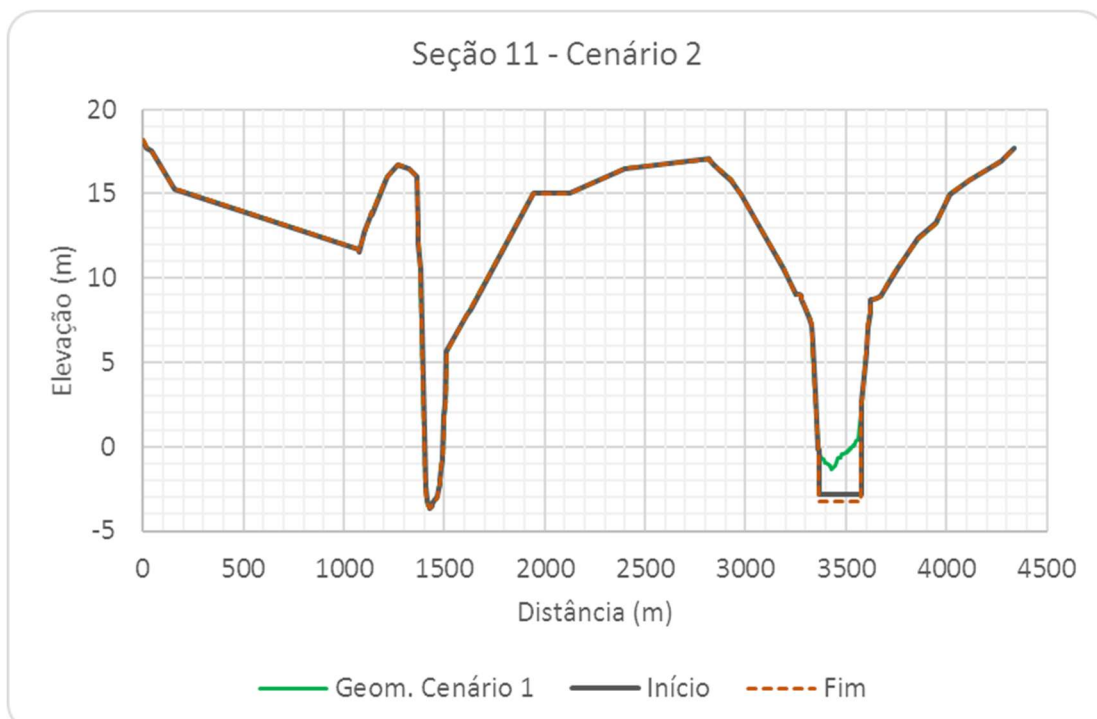


Figura 6.68 – Seção Transversal S11, Cenário 2.

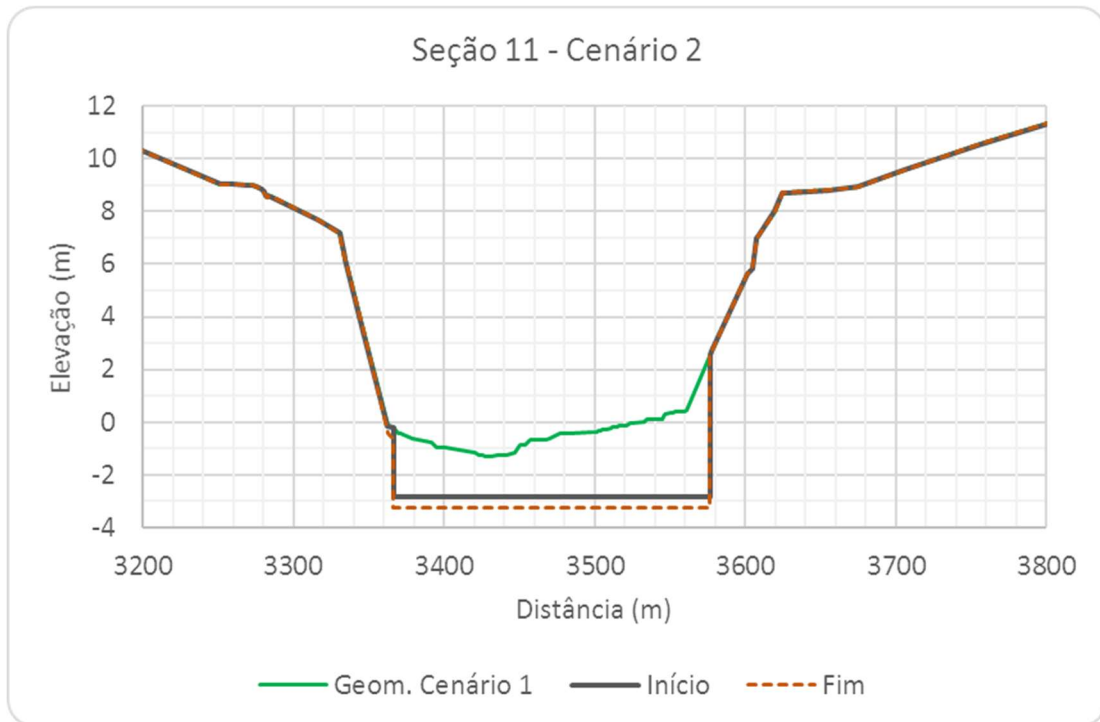


Figura 6.69 – Seção Transversal S11, com escala aumentada, Cenário 2.

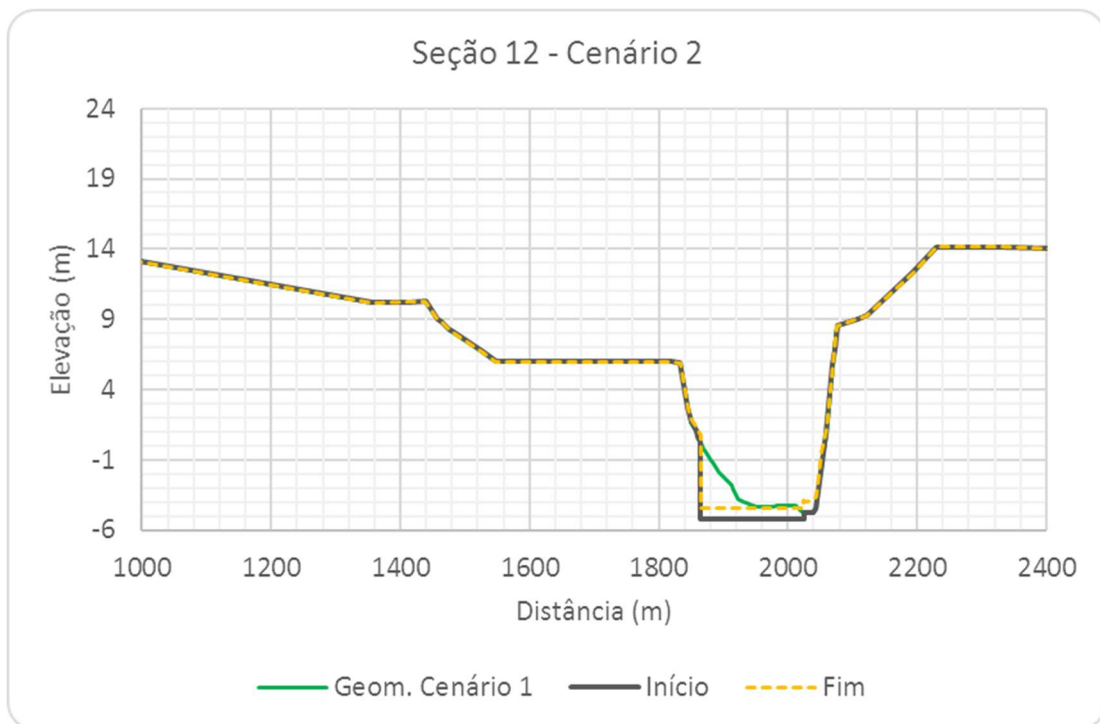


Figura 6.70 – Seção Transversal S12, Cenário 2.



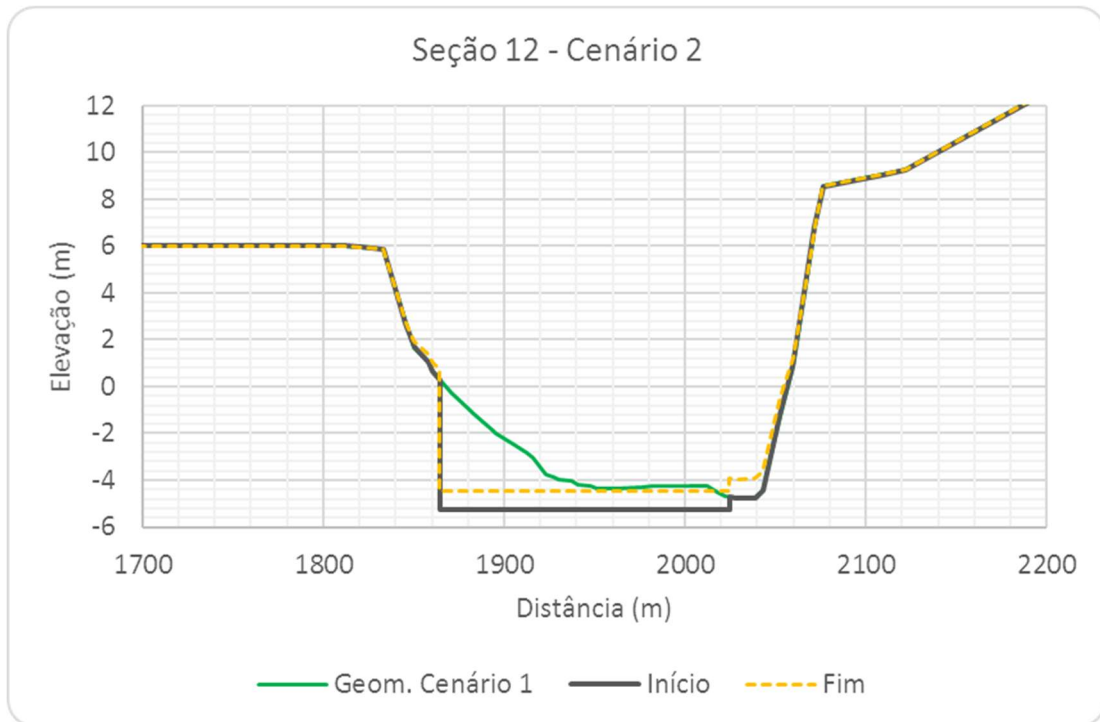


Figura 6.71 – Seção Transversal S12, com escala aumentada, Cenário 2.

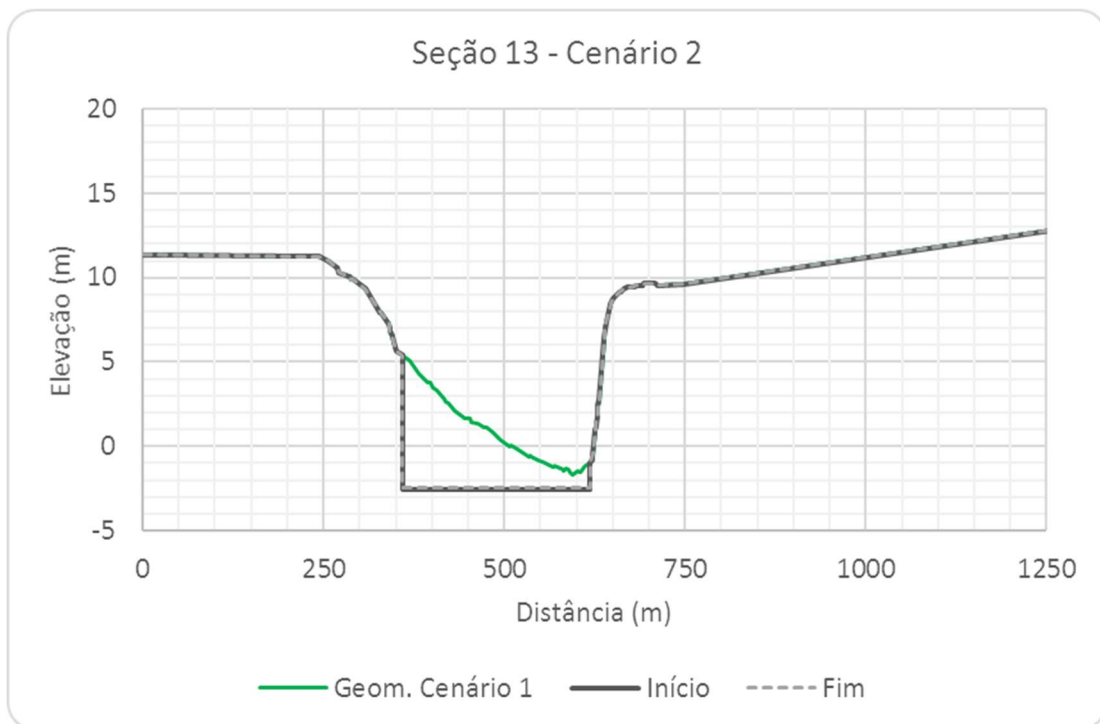


Figura 6.72 – Seção Transversal S13, Cenário 2.

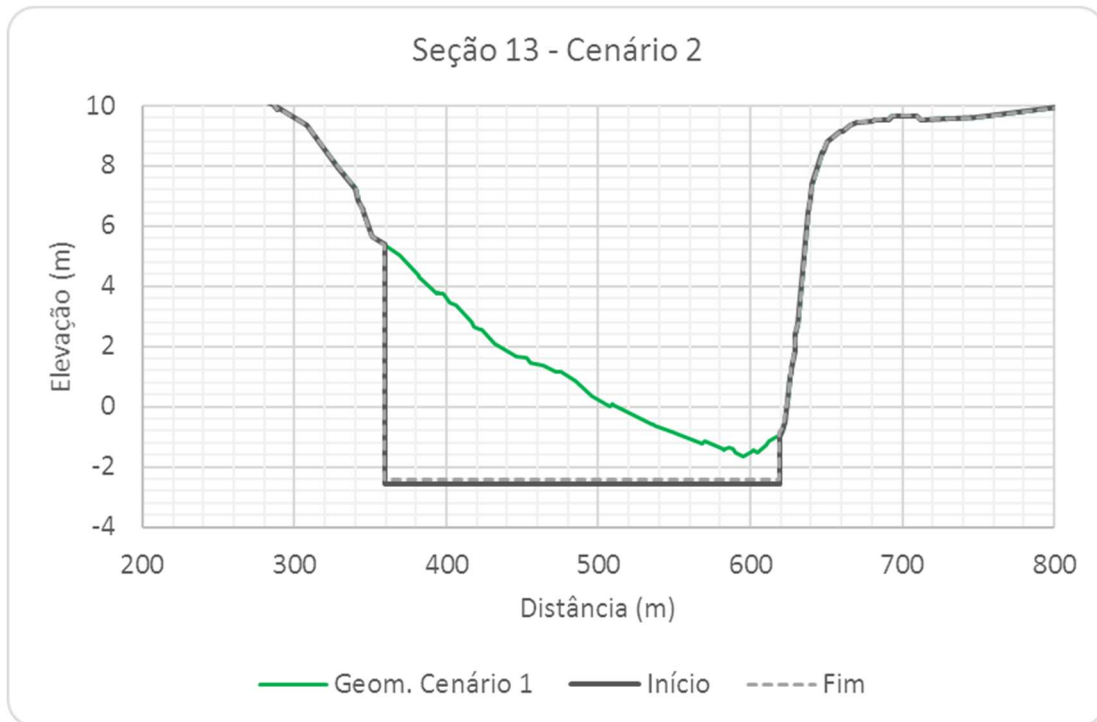


Figura 6.73 – Seção Transversal S13, com escala aumentada, Cenário 2.

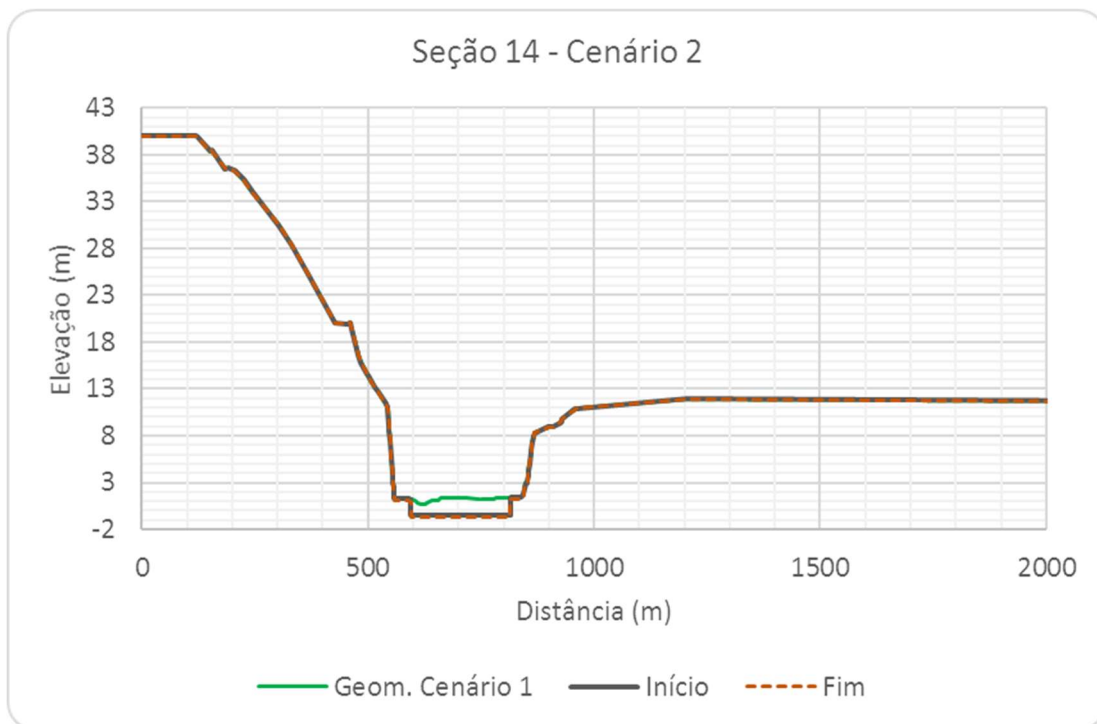


Figura 6.74 – Seção Transversal S14, Cenário 2.

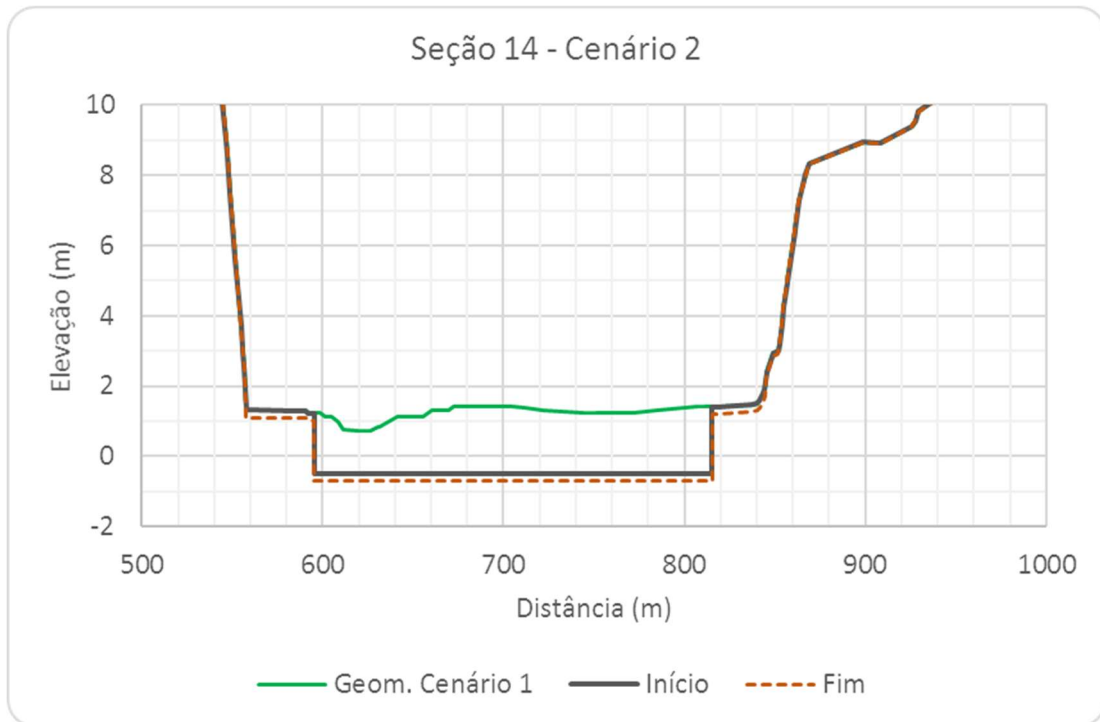


Figura 6.75 – Seção Transversal S14, com escala aumentada, Cenário 2.

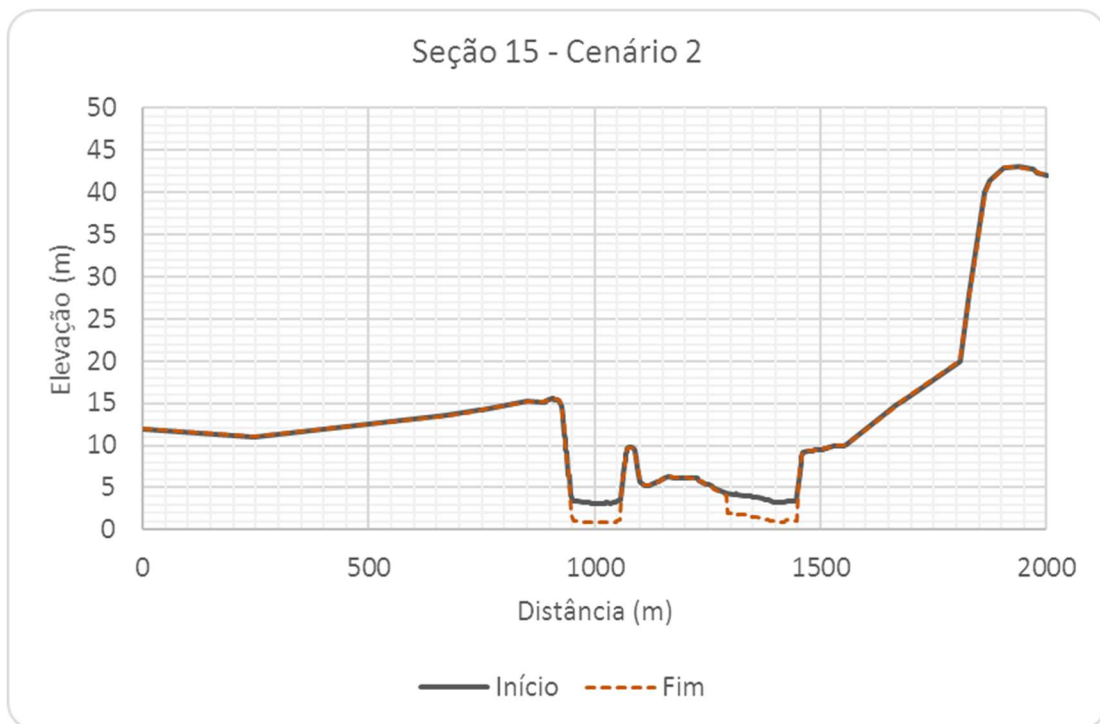


Figura 6.76 – Seção Transversal S15, Cenário 2.

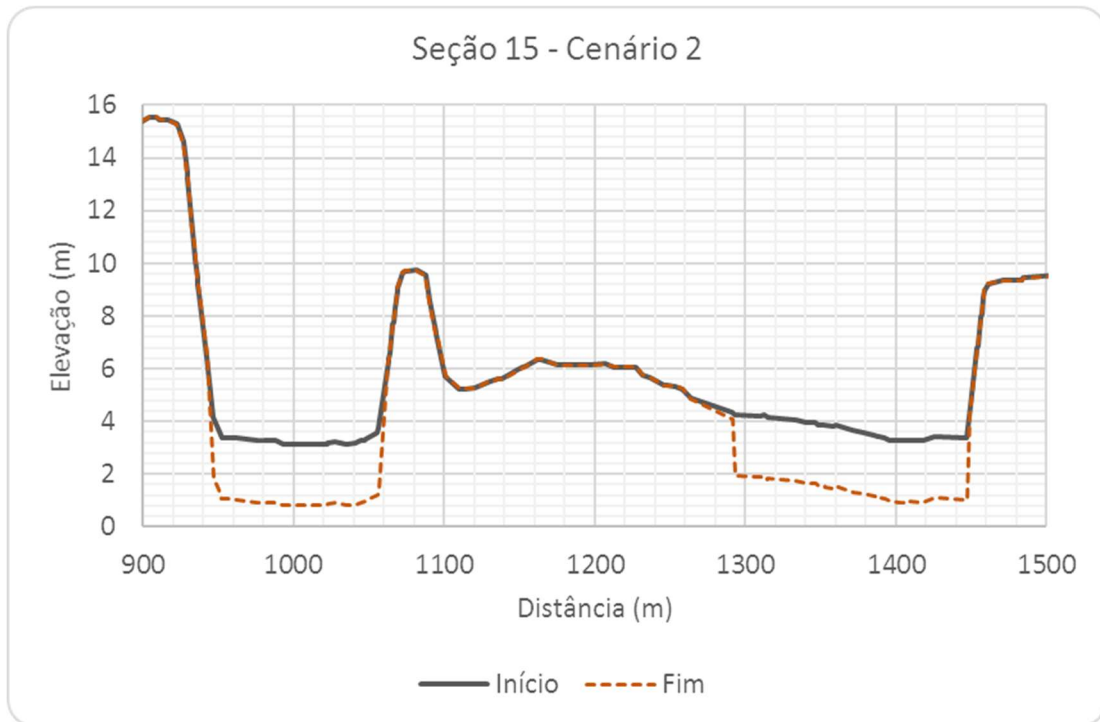


Figura 6.77 – Seção Transversal S15, com escala aumentada, Cenário 2.

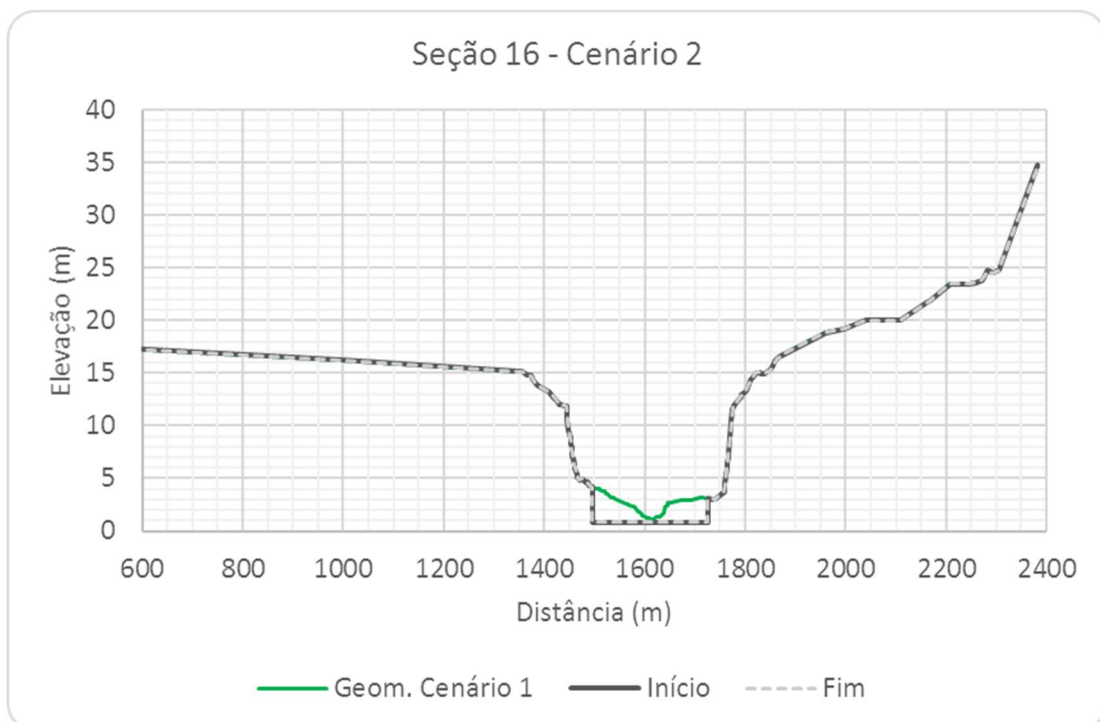


Figura 6.78 – Seção Transversal S16, Cenário 2.

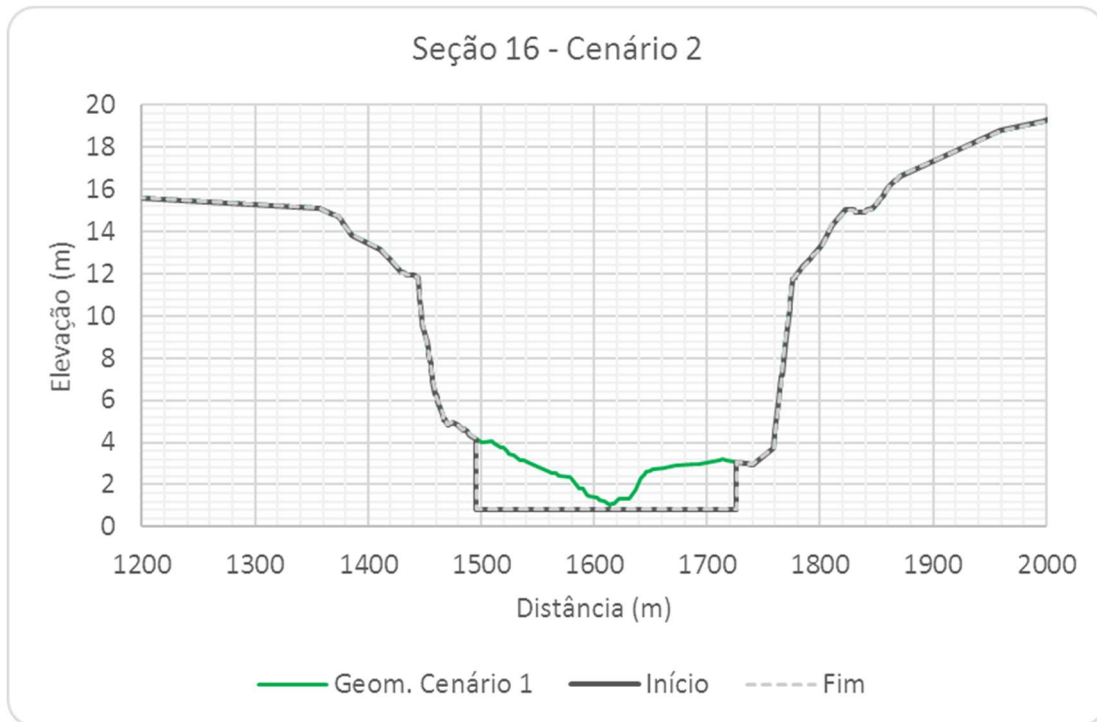


Figura 6.79 – Seção Transversal S16, com escala aumentada, Cenário 2.

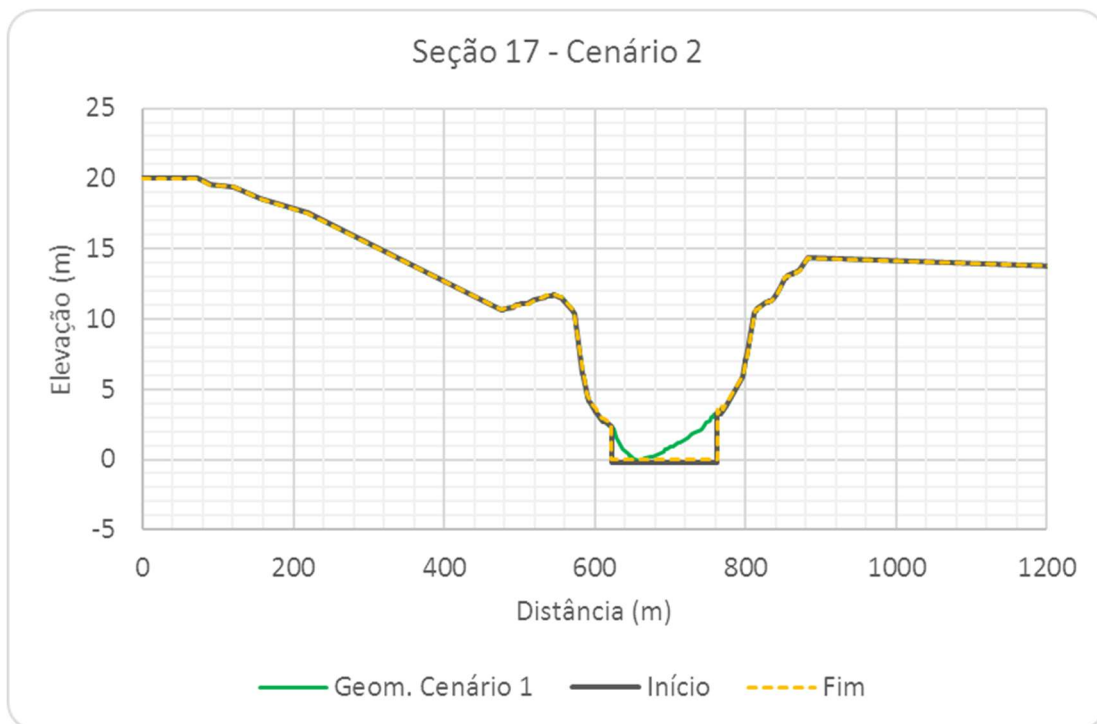


Figura 6.80 – Seção Transversal S17, Cenário 2.

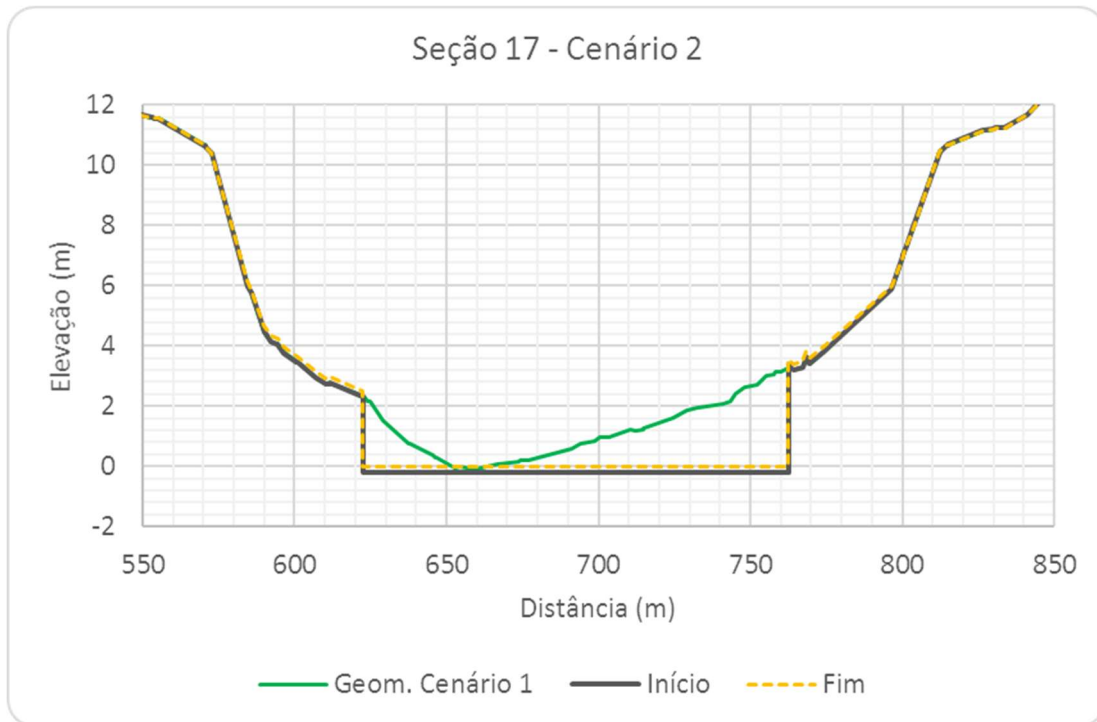


Figura 6.81 – Seção Transversal S17, com escala aumentada, Cenário 2.

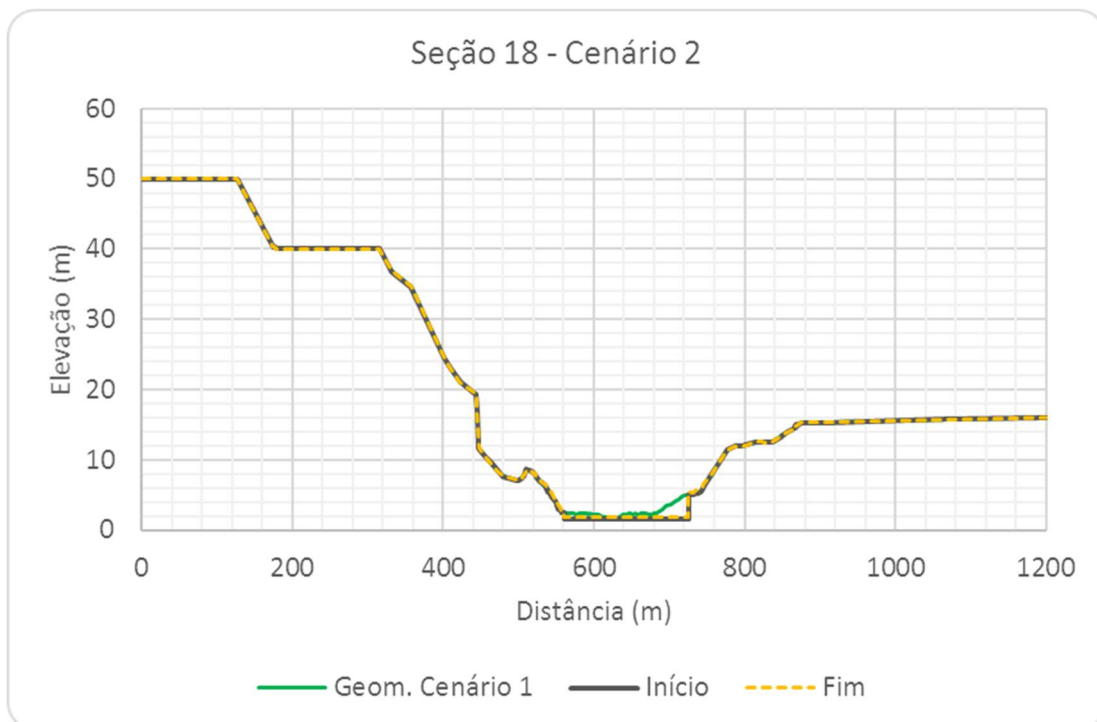


Figura 6.82 – Seção Transversal S18, Cenário 2.

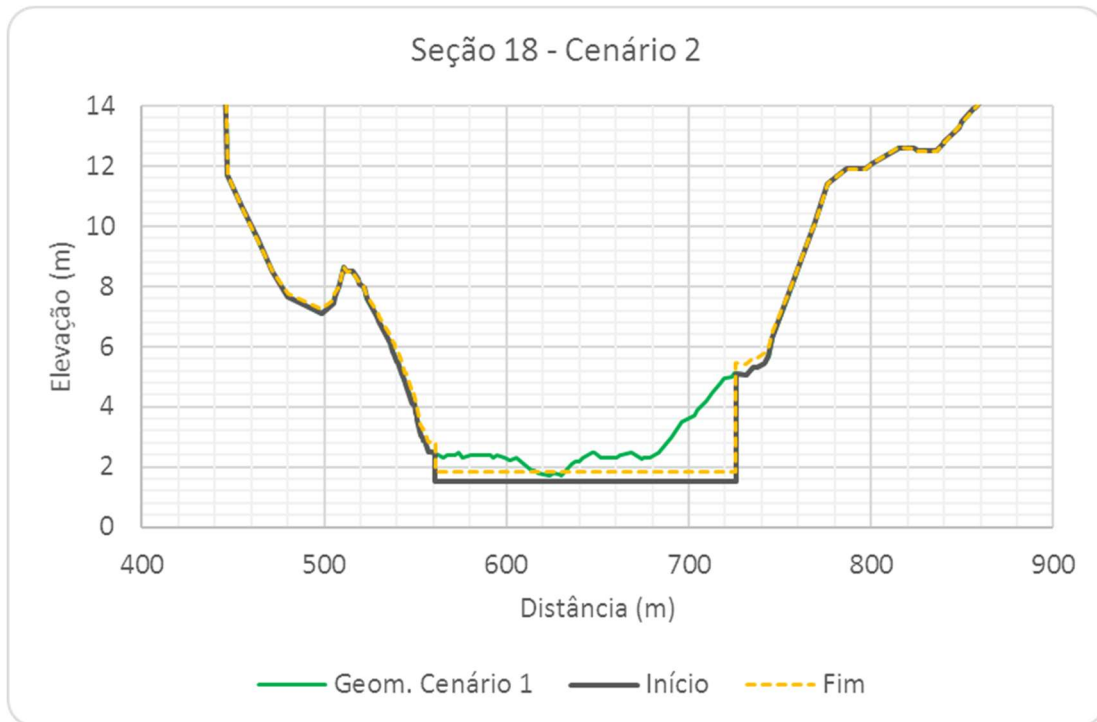


Figura 6.83 – Seção Transversal S18, com escala aumentada, Cenário 2.

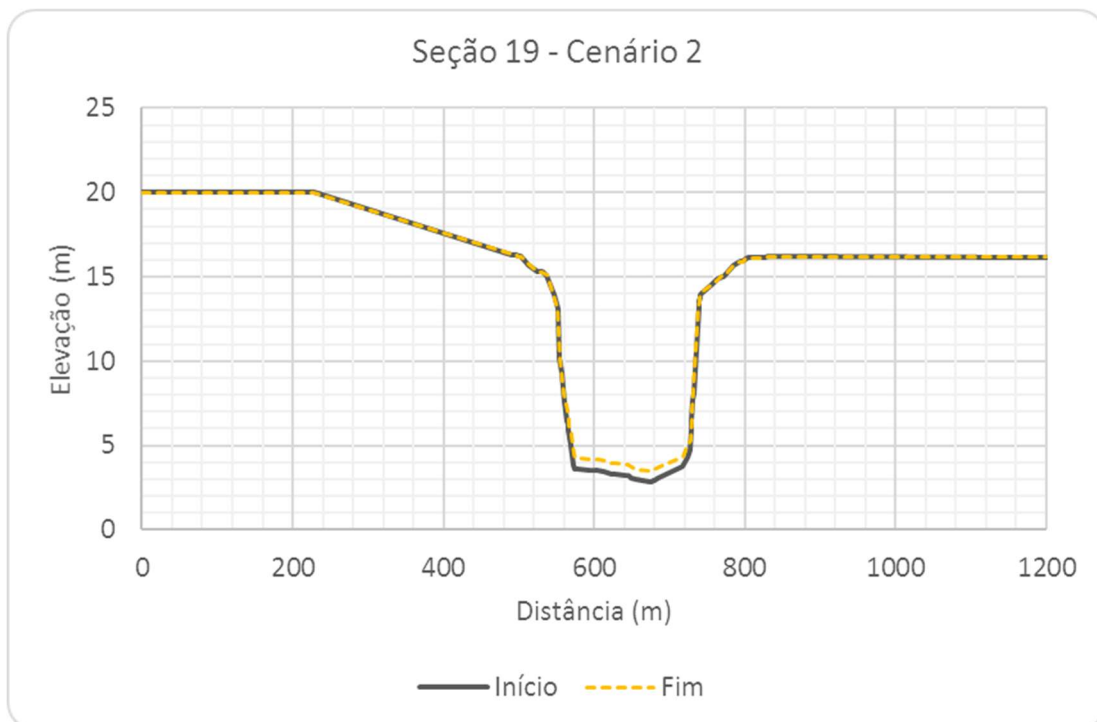


Figura 6.84 – Seção Transversal S19, Cenário 2.

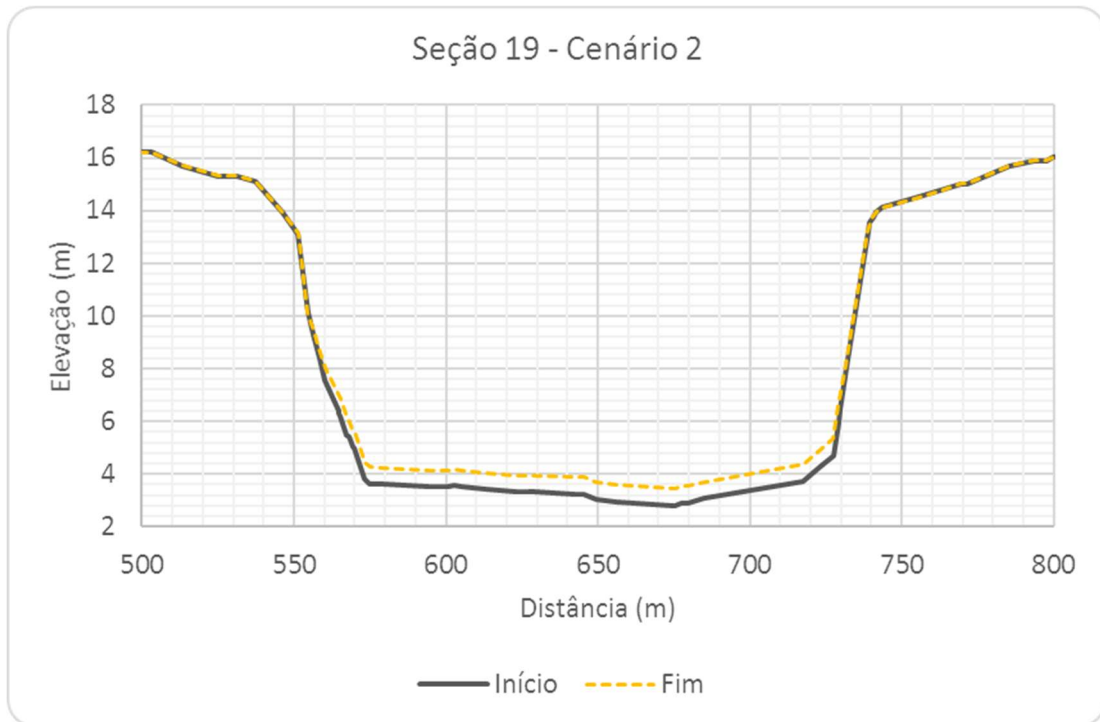


Figura 6.85 – Seção Transversal S19, com escala aumentada, Cenário 2.

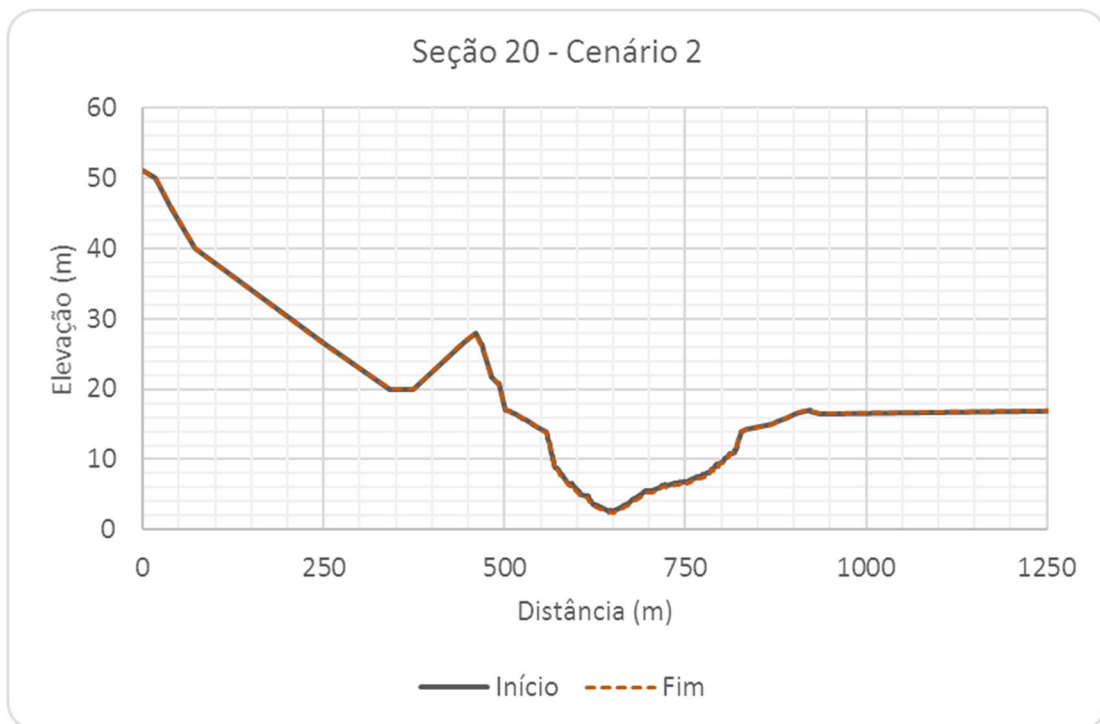


Figura 6.86 – Seção Transversal S20, Cenário 2.



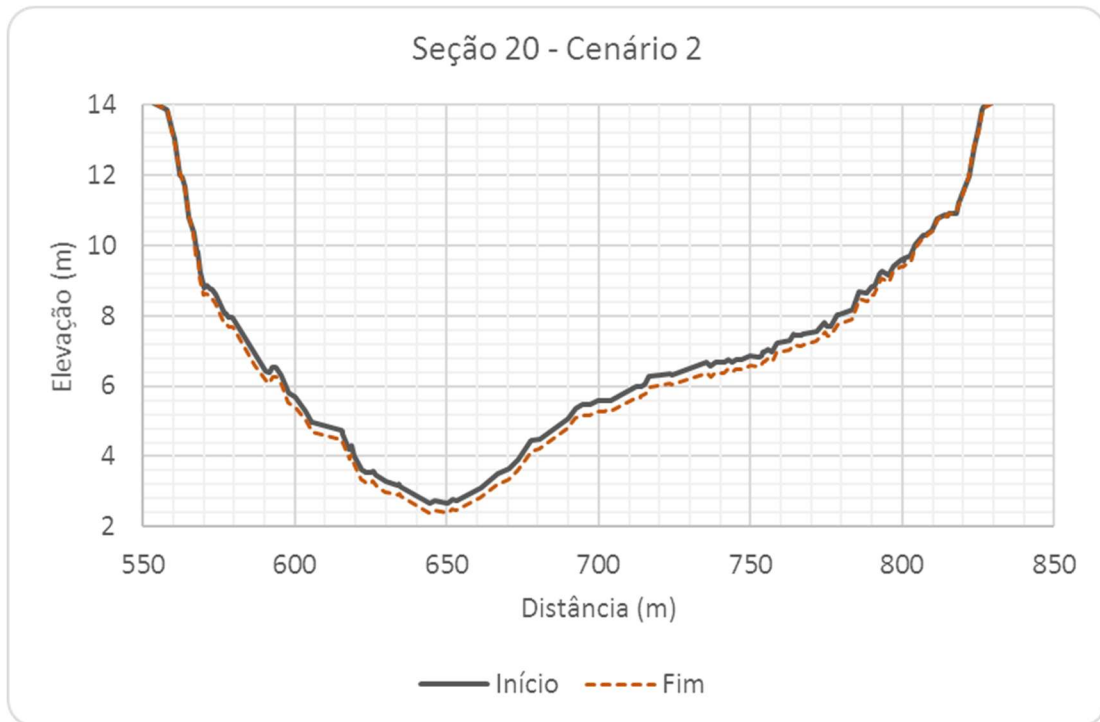


Figura 6.87 – Seção Transversal S20, com escala aumentada, Cenário 2.

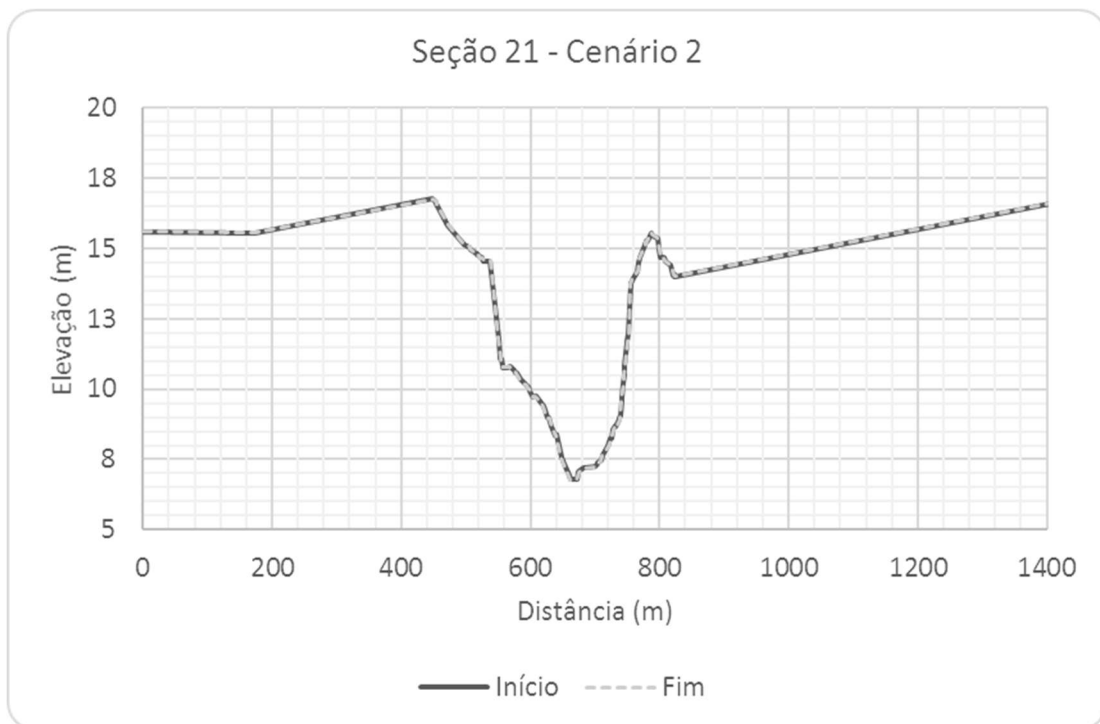


Figura 6.88 – Seção Transversal S21, Cenário 2.

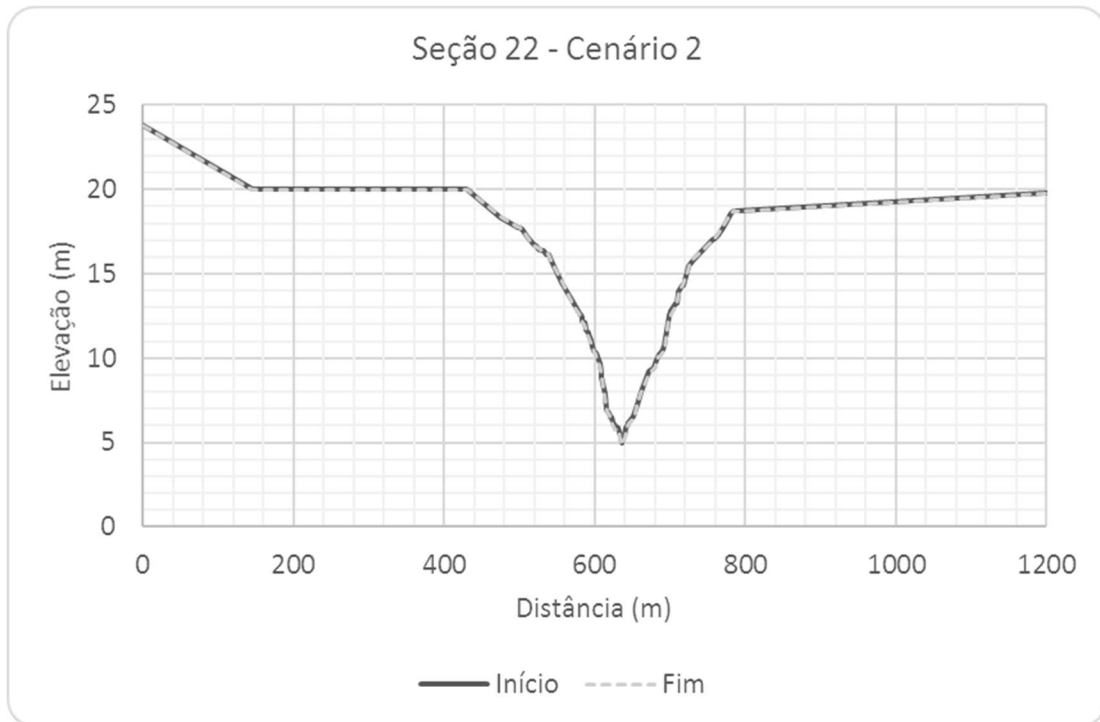


Figura 6.89 – Seção Transversal S22, Cenário 2.

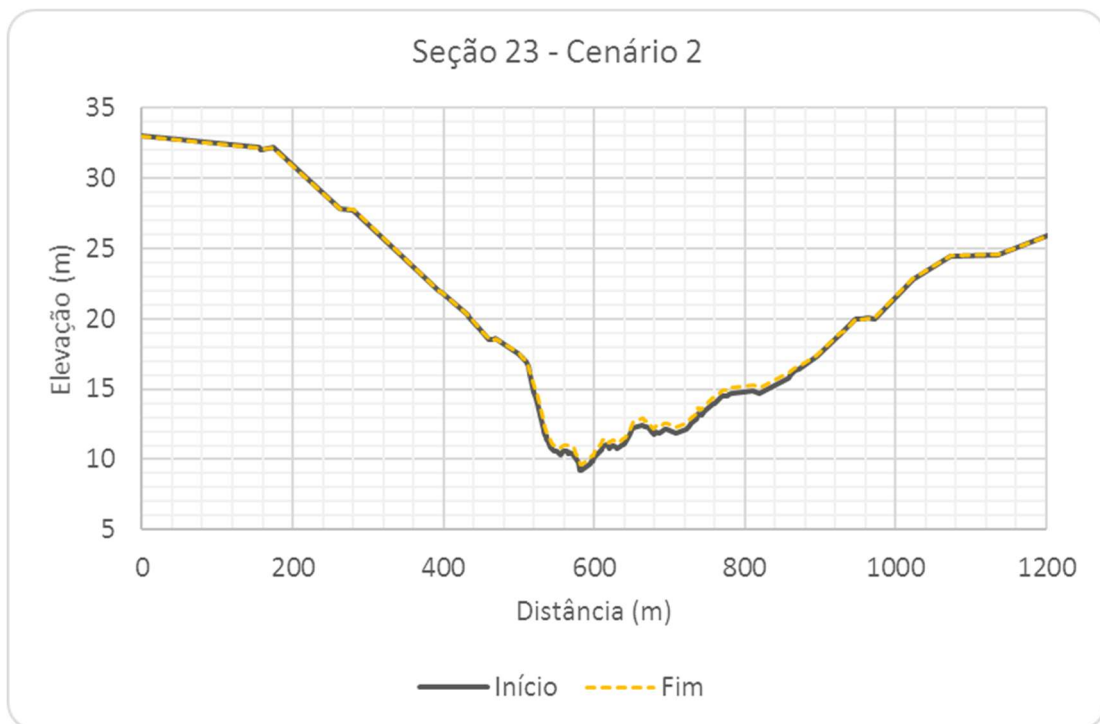


Figura 6.90 – Seção Transversal S23, Cenário 2.

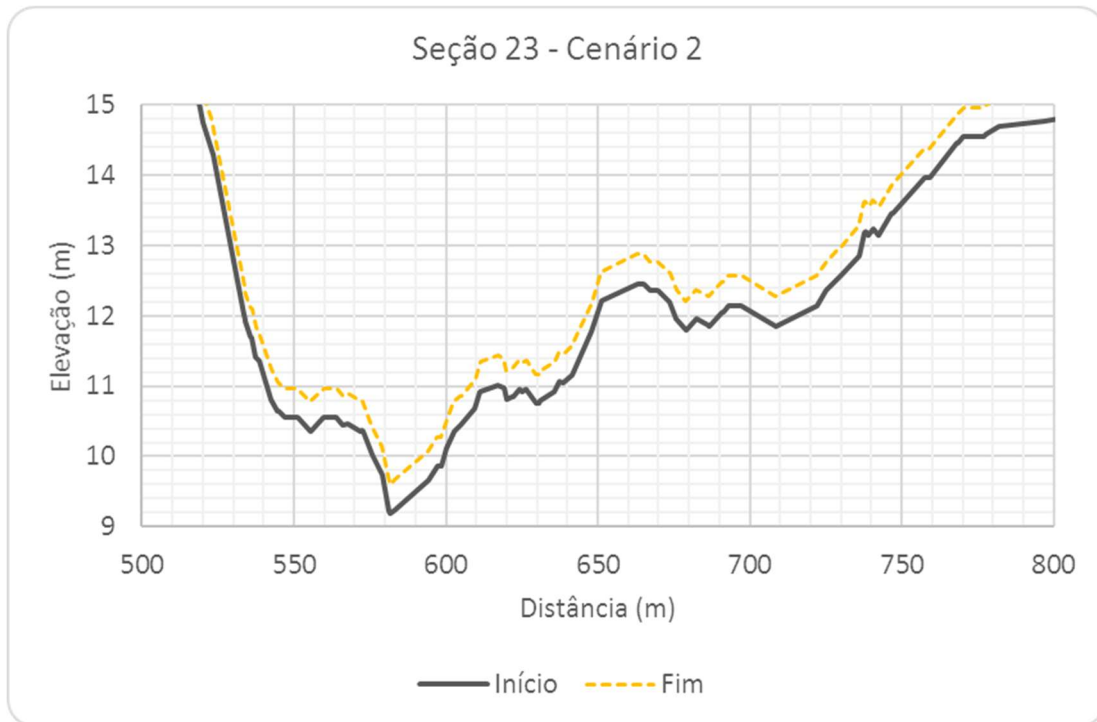


Figura 6.91 – Seção Transversal S23, com escala aumentada, Cenário 2.

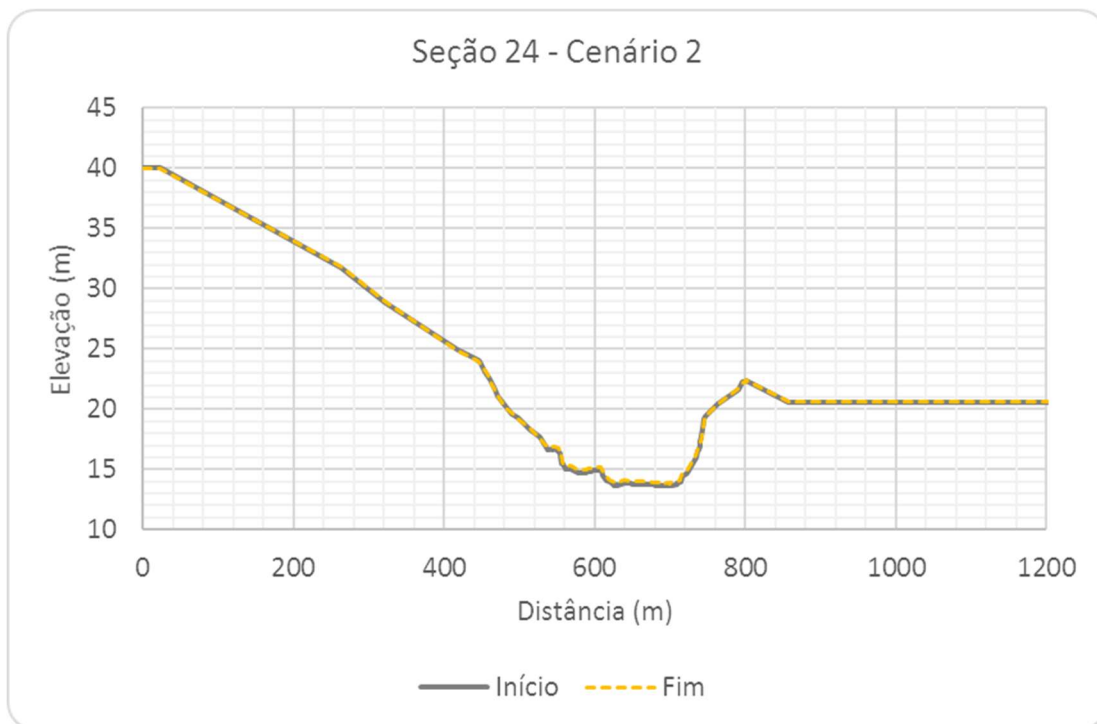


Figura 6.92 – Seção Transversal S24, Cenário 2.

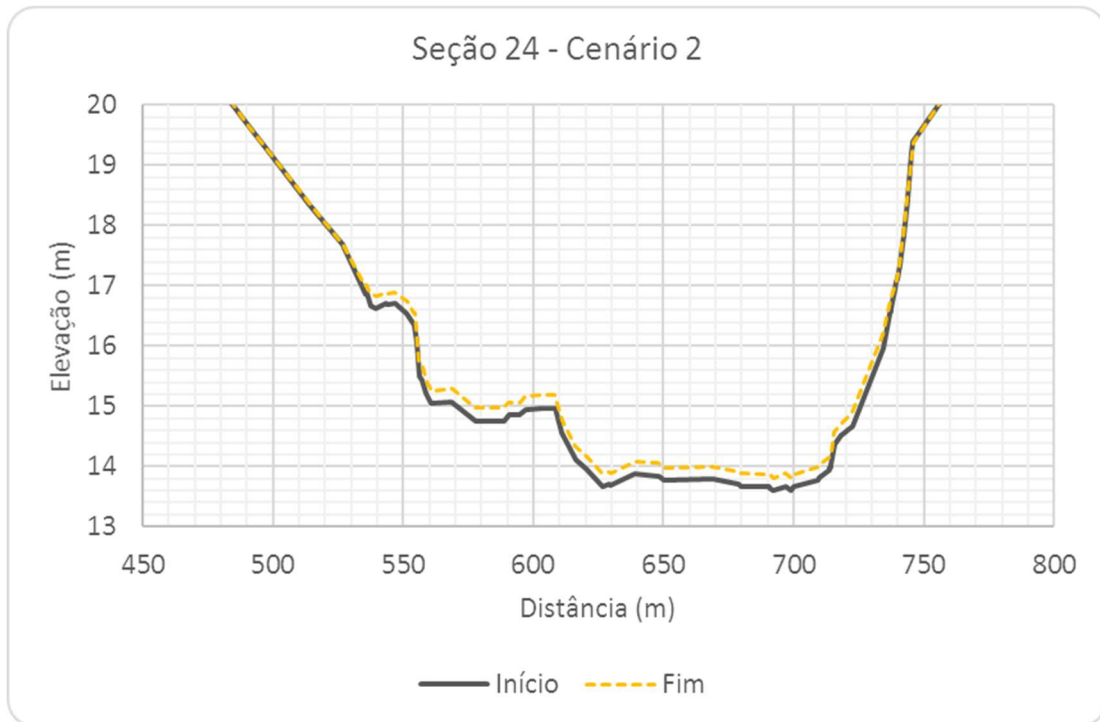


Figura 6.93 – Seção Transversal S24, com escala aumentada, Cenário 2.

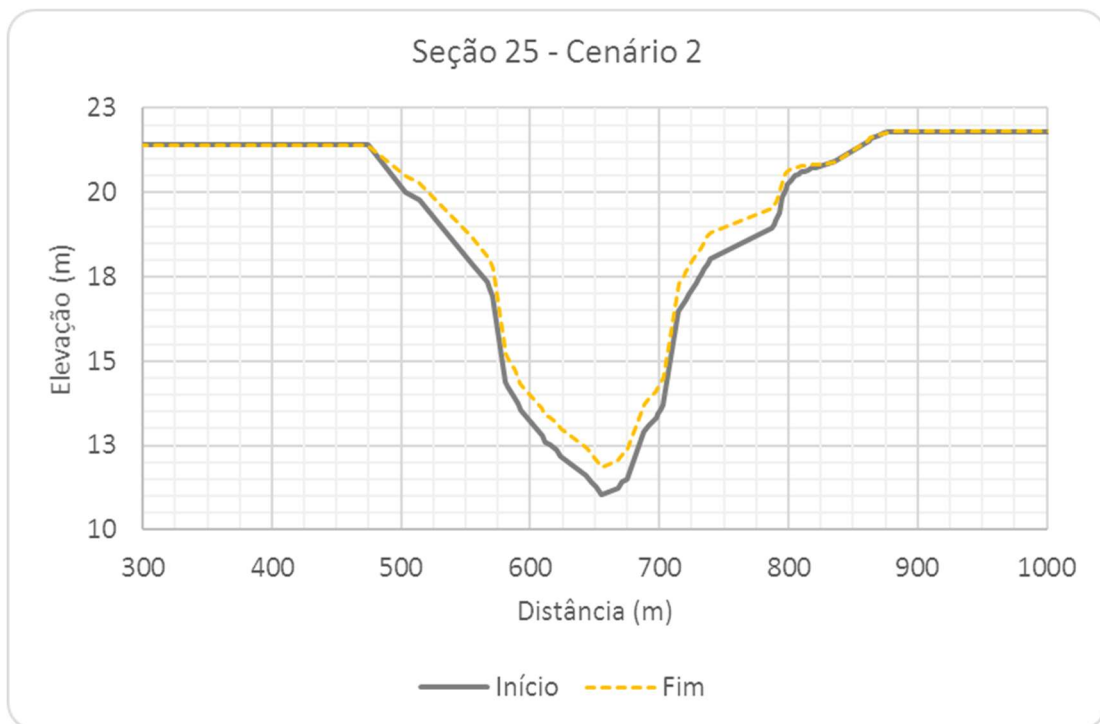


Figura 6.94 – Seção Transversal S25, Cenário 2.

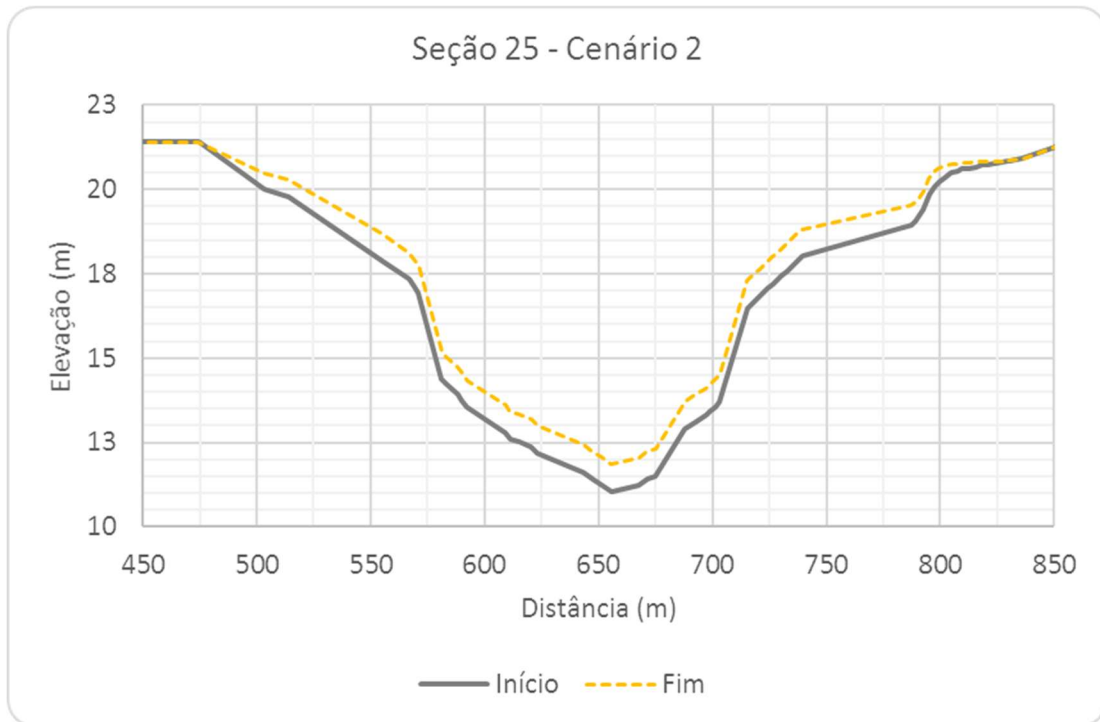


Figura 6.95 – Seção Transversal S25, com escala aumentada, Cenário 2.

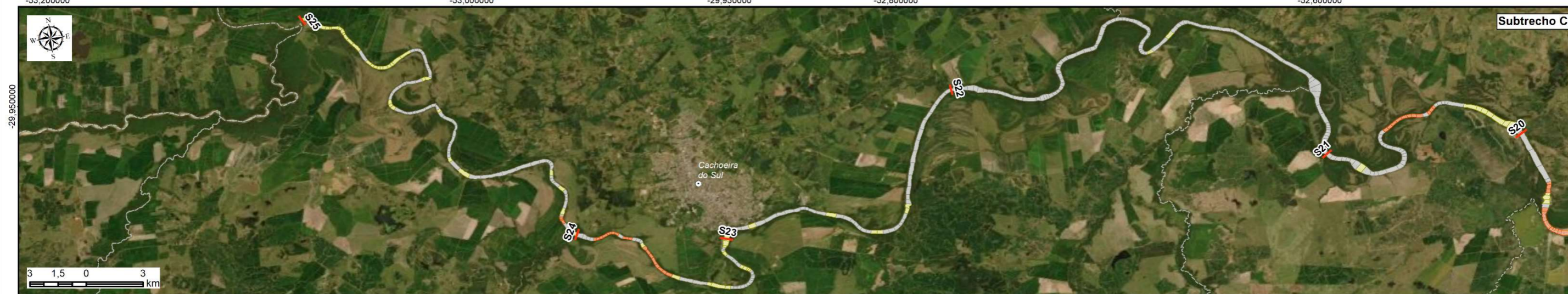
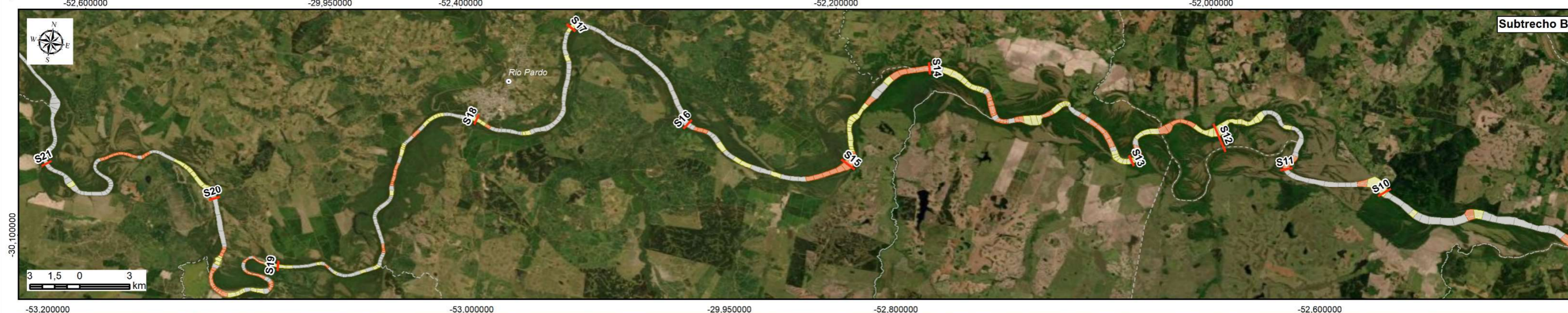


### **6.2.3 Alteração do leito (*planta baixa*)**

No Mapa 6.3 é apresentada a variação do leito resultante da simulação de sedimentos entre cada seção do modelo, para o Cenário 2.

### **6.2.4 Velocidade de escoamento (*planta baixa*)**

No Mapa 6.4 é apresentada a velocidade de escoamento ao longo do trecho do Rio Jacuí, resultante da simulação hidrodinâmica para o Cenário 2.



**LEGENDA**

- Sede municipal
  - Seções topobatimétricas
  - - - Limite municipal
- Cenário 2**
- Alteração do Leito**
- Deposição
  - Sem alteração
  - Erosão

Nota: A Seção 8a representa uma seção interpolada, junto a foz do Rio Taquari, para caracterizar aquele trecho, pela sua relevância



Elaboração  
**PROFILL**

**RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**

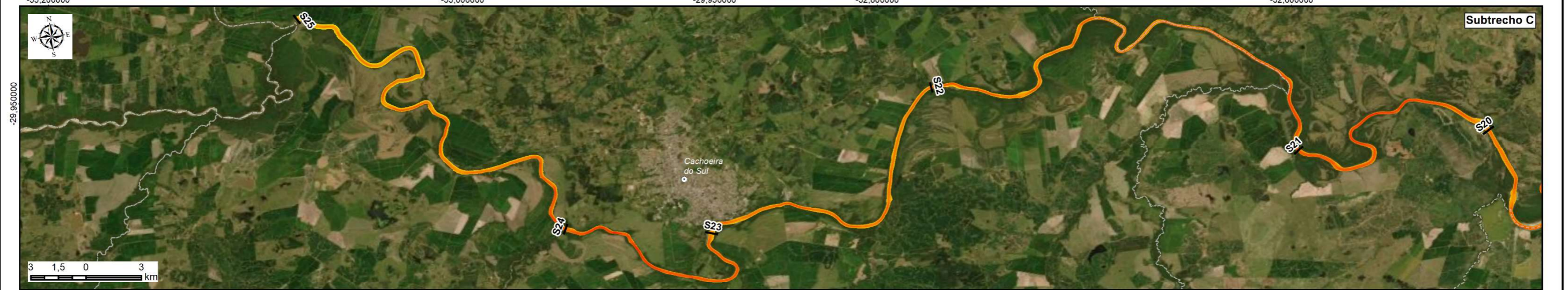
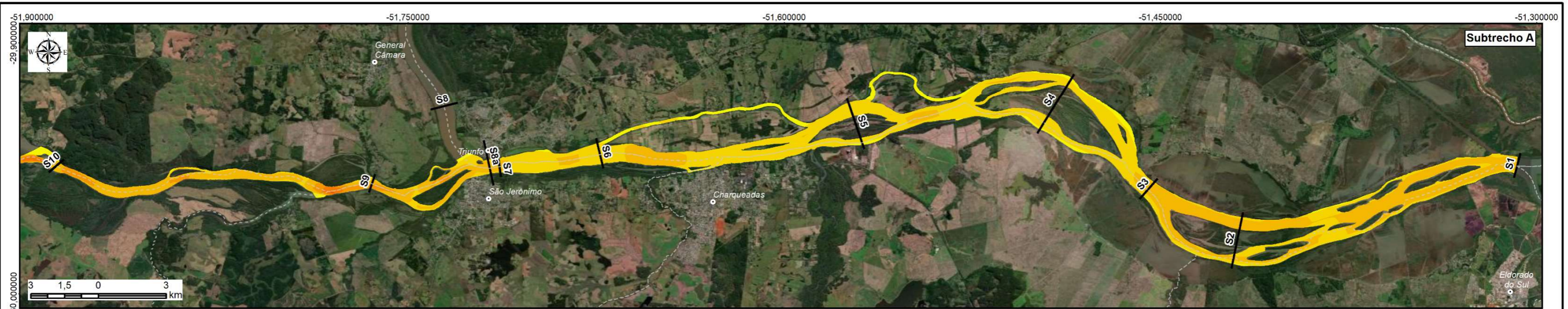
**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Contratação e fiscalização  
**Fepam**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: Indicada

**Mapa 6.3 - Variação do leito entre as seções Cenário 2**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Seções topobatimétricas: Profill (2019)  
- Variações do leito: Profill (2020)



**LEGENDA**

- Sede municipal
- Seções topobatimétricas
- - - Limite municipal
- Velocidade (m/s)**
- Cenário 2**
- 0 - 0.10
- 0.10 - 0.25
- 0.25 - 0.50
- 0.50 - 0.75
- 0.75 - 1.00
- 1.00 - 1.50
- 1.50 - 2.00
- 2.00 - 2.35
- 2.35 - 3.54

Nota: A Seção 8a representa uma seção interpolada, junto a foz do Rio Taquari, para caracterizar aquele trecho, pela sua relevância



Elaboração  
**PROFILL**

**RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS**  
**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Contratação e fiscalização  
**Fepam**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: Indicada

**Mapa 6.4 - Velocidade de escoamento ao longo do Rio Jacuí  
Cenário 2**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Seções topobatimétricas: Profill (2019)  
- Velocidade: Profill (2020)





## 6.3 ANÁLISE COMPARATIVA

Com base nos resultados das simulações obtidos para os dois cenários avaliados, foi possível realizar uma análise comparativa a fim de identificar possíveis alterações do leito nas seções e nas velocidades de escoamento devido as atividades de mineração.

### 6.3.1 *Alteração do leito nas seções*

A análise foi realizada com relação ao Cenário 2 procurando identificar, a partir daquelas seções que sofreram alteração na geometria, as tendências deposicional, erosiva ou sem nenhuma alteração do leito. Dentre as 25 seções de referência, observou-se que as seções 7, 12, 17 e 18 apresentam tendência deposicional, ou seja, a seção tende a voltar a geometria anterior (Cenário 1); nas seções 11 e 14 ocorre o contrário, apresentam tendência erosiva que se acentua com alteração da geometria; e as seções 4, 5, 6, 13 e 16 não apresentaram alteração do leito em função da alteração da geometria.

Observou-se também que no resultado do Cenário 2, algumas seções que não tiveram alteração na geometria, apresentaram tendências diferentes comparadas com o Cenário 1, ou seja, seções que antes apresentavam tendência deposicional e passaram a apresentar tendência erosiva ou sem nenhuma alteração no leito e, em outras seções ocorre também o contrário, mas essas mudanças são mais visíveis nas seções interpoladas. No Mapa 6.5 é apresentada essa análise comparativa da alteração do leito entre as seções.

### 6.3.2 *Velocidade de escoamento*

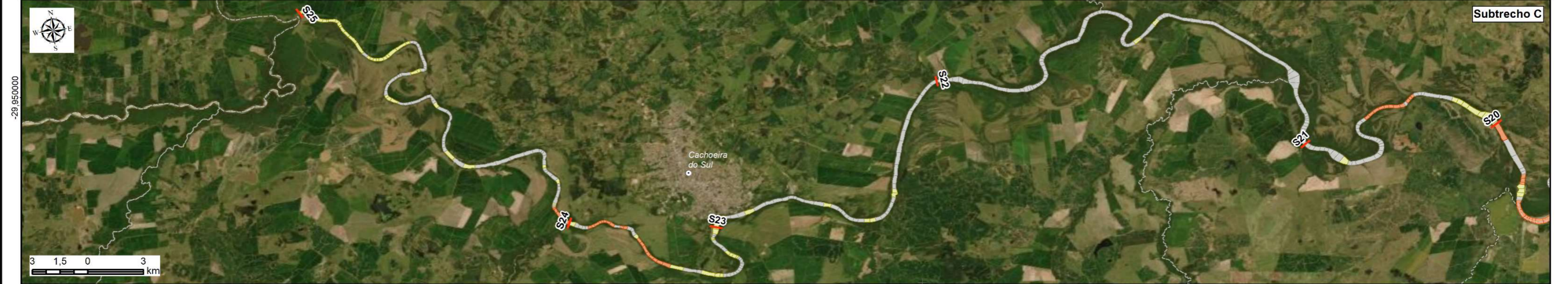
A análise comparativa da velocidade de escoamento devido a alteração da geometria foi realizada a partir do cálculo da diferença entre as velocidades dos cenários 1 e 2, com isso foi possível observar trechos onde houve aumento ou diminuição da velocidade, tanto na calha quanto próximo as margens.

De acordo com os mapas de velocidade apresentados para os cenários 1 e 2, observa-se que para o Cenário 1 a velocidade máxima de escoamento foi igual a 2,4 m/s; já para o Cenário 2, a velocidade máxima foi igual a 3,5 m/s. Fazendo uma análise na diferença de velocidade entre os dois cenários, observa-se que em alguns trechos essa diferença é da ordem de 2,8 m/s a mais da velocidade e em outros é da ordem de 1,2 m/s a menos na velocidade no Cenário 1. Esse aumento de velocidade



acontece em um determinado trecho onde há estrangulamento da seção, principalmente com a elevação natural do leito, resultando em pequenas lâminas d'água. Com relação a diminuição da velocidade de escoamento, ocorre o contrário, com a alteração da geometria da seção alguns trechos há uma melhora da eficiência das condições hidráulicas de escoamento.

No Mapa 6.6 é apresentada essa diferença de velocidade entre os cenários 1 e 2, onde é possível identificar esses trechos da variação da velocidade.



**LEGENDA**

- Sede municipal
  - Seções topobatimétricas
  - Limite municipal
- Análise Comparativa**
- Alteração do leito**
- Deposição, tendência a se recuperar
  - Deposição
  - Sem alteração
  - Erosão
  - Erosão, tendência a se agravar

Nota: A Seção 8a representa uma seção interpolada, junto a foz do Rio Taquari, para caracterizar aquele trecho, pela sua relevância



Elaboração  
**PROFILL**

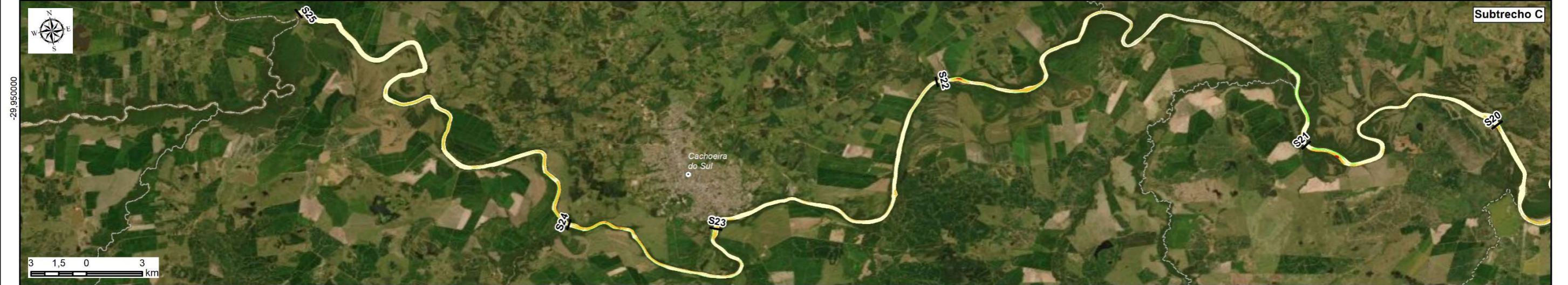
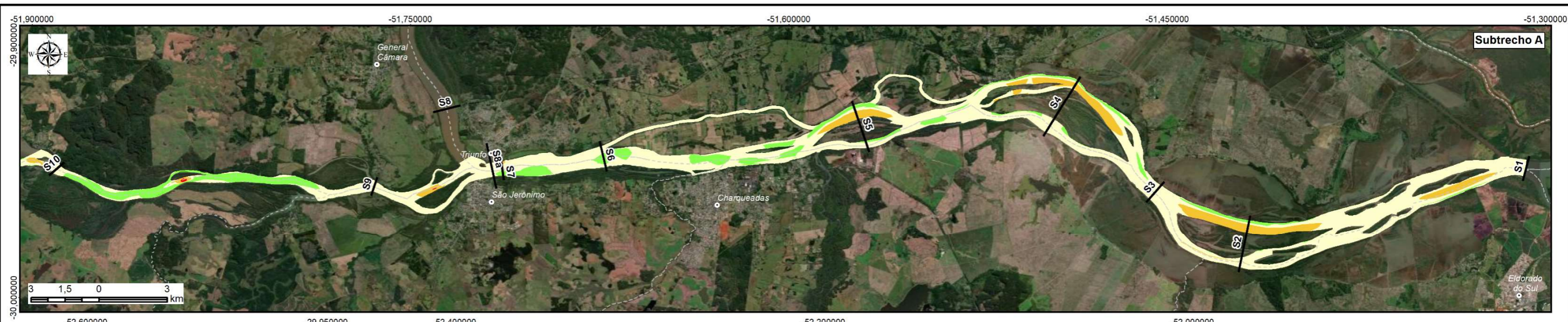
RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS  
**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Contratação e fiscalização  
**Fepam**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: Indicada

**Mapa 6.5 - Análise comparativa  
Variação do leito**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Seções topobatimétricas: Profill (2019)  
- Variações do leito: Profill (2020)



**LEGENDA**

- Sede municipal
  - Seções topobatimétricas
  - - - Limite municipal
- | Diferenças (incrementos) de velocidade |               |
|--|---------------|
| Velocidade (m/s)                       | Cor           |
| -1.24 - -0.50                          | Verde escuro  |
| -0.50 - -0.10                          | Verde claro   |
| -0.10 - 0                              | Amarelo claro |
| 0 - 0.10                               | Amarelo       |
| 0.10 - 0.50                            | Laranja       |
| 0.50 - 2.84                            | Vermelho      |

Nota: A Seção 8a representa uma seção interpolada, junto a foz do Rio Taquari, para caracterizar aquele trecho, pela sua relevância



Elaboração  
**PROFILL**

RT5 - HIDROGRAFIA, HIDROSEDIMENTOMETRIA E PROGNÓSTICOS  
**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NOS CURSOS MÉDIO E BAIXO DO RIO JACUÍ**

Contratação e fiscalização  
**Fepam**

Sistema de Coordenadas Geodésicas  
Sistema Geodésico de Referência  
SIRGAS2000  
Escala: Indicada

**Mapa 6.6 - Diferenças de velocidade entre os Cenários 1 e 2**

Fonte de dados:  
- Sede municipal: SEMARS (2018)  
- Limite municipal: SEMARS (2018)  
- Limite estadual: IBGE (2019)  
- Hidrografia: DRH/SEMA (2015)  
- Seções topobatimétricas: Profill (2019)  
- Diferenças de velocidade: Profill (2020)



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da simulação do transporte dos sedimentos foi realizado para os cursos médio e baixo do Rio Jacuí, entre o trecho da Barra do Rio Vacacaí e a foz do Rio Jacuí, totalizando um trecho de 261 km.

Essa modelagem foi realizada utilizando o software HEC-RAS para dois cenários de geometria: o Cenário 1, o qual foi obtido a partir dos dados primários e secundários e o Cenário 2 com alteração da geometria nos trechos com atividades de mineração. O modelo conseguiu estimar os padrões de escoamento bem como também reproduzir as alterações na calha com base nos dados disponíveis e, assim, prever o transporte de sedimentos ao longo de um ano hidrológico simulado.

É importante ressaltar que no uso do HEC-RAS a simulação utiliza como dados de entrada aqueles obtidos em campanhas de campo e análises em laboratório. Além disso os diversos métodos aplicados no cálculo da vazão sólida são empíricos e muitos sensíveis a diversos fatores, e assim, não se tem resultados completamente seguros que representam a realidade integralmente, dessa forma não é possível fazer uma análise quantitativa dos resultados. Porém é fundamental entender que as simulações realizadas nesse estudo são importantes para mostrar tendências de alterações no leito a partir da erosão e do depósito dos sedimentos na região ao longo do tempo, e com isso oferecer um melhor entendimento do transporte de sedimento nos cursos médio e baixo do Rio Jacuí, contribuindo para uma gestão mais adequada da bacia hidrográfica.

Para a simulação hidrodinâmica foram utilizados dados de vazões médias e o resultado do modelo foi bem efetivo na estimativa dos padrões de escoamento para os dois cenários de geometria das seções. Para a simulação do transporte de sedimentos foram utilizados hidrogramas sintéticos gerados a partir das vazões médias mensais ao longo de um ano hidrológico e a avaliação da capacidade de transporte de sedimentos escolhida foi a função de Meyer Peter e Müller.

De acordo com os resultados obtidos pela modelagem, observa-se que os volumes de sedimentos (taxas) para o Cenário 1, cerca de 68% das seções de referências apresentam taxas positivas e 32% taxas negativas. No Cenário 2, o percentual das taxas positivas aumenta para 72% e conseqüentemente diminui os valores das taxas negativas para 28%. Avaliando o balanço de massa acumulado total de sedimentos resultante da simulação, nota-se que o trecho do Rio Jacuí apresenta



um saldo positivo em ambos os cenários, o que demonstra que o Rio apresenta uma tendência deposicional de sedimentos ao longo do tempo.

Com relação as velocidades de escoamento, observa-se que as velocidades máximas atingidas foram de 2,4 m/s e 3,5 m/s para os cenários 1 e 2, respectivamente. Esse aumento da velocidade no Cenário 2, ocorre em alguns trechos que possuem alterações significativas em “estrangulamentos”, principalmente com a elevação natural do leito, que resultam em pequenas lâminas d’água. Vale destacar que essas alterações significativas são bem pontuais, conforme observados no mapa de velocidade de escoamento, essas alterações podem auxiliar na definição de trechos críticos de mineração, principalmente no que diz respeito ao seu impacto na erosão das margens.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackers, P. & White, W. R. (1973). Sediment Transport: New Approach and Analysis. Journal of the Hydraulics Division, v.99, n. HY11, p. 2040-2060.
- Aguirre-PE, J.; Moncada, A. T. e Olivero, M. L. (2004). Transporte de Sedimentos em Rios y Canales. In: XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica. IAHR, Oct., São Pedro, SP. 10p.
- ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) – Hidroweb. Agência Nacional de Águas, 2019. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.
- Carvalho, N. O. (2008). Hidrossedimentologia Prática. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência.
- Copeland, R. R. (1993). Numerical Modeling of Hydraulic Sorting and Armoring in Alluvial Rivers. 572f. Tese (doutorado) – University of Iowa, Iowa City.
- Elsayed, S. M. (2013). Comparative Study of diferente scenarios for morphological evolution in a river stream. 309f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil para mitigação de riscos). Politecnico di Milano, Milão.
- Engelund, F. & Hansen, E. (1967). A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Copenhagen: Teknisk Forlag.
- Hasenack, H.; Weber, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).
- Laursen, E. M. (1958). The total sediment load of streams. Journal of the Hydraulics Division, v. 84, n. HY1, p. 1530-1 1530-36.
- Meyer-Peter, E. & Muller, R. (1948). Formula for Bed-Load Transport. International Association for Hydraulic Research, Stockholm, 2nd Meeting, p. 39-65.
- Rubey, W. W. (1933). Setting Velocities of Gravel, Sand, and Silt Particles. American Journal of Science, v. 25, n. 148, p. 325-338.
- SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente – Governo do Estado do Rio Grande do Sul (2010). Zoneamento Ambiental da Silvicultura – Diretrizes da Silvicultura por unidade de Paisagem e Bacia Hidrográfica.
- SEINFRA/DNIT – Superintendência de Infraestrutura de Transportes / Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Projeto de Estruturação do Desenvolvimento Hidroviário no Rio Grande do Sul (Hidrovia Brasil – Uruguai).
- Scapin J.; Paiva J. B. D e Beling F. A. (2007). Avaliação de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano. Porto Alegre. RBRH, vol. 12, nº 4.
- Sousa, H. T. (2009). Sistema computacional para regionalização de vazões. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil.
- Thomas, W. A. (1982). Mathematical modeling of sediment movement. In: Hey, R. D.; Bathurst, J. C.; Trorne, C. R. Gravel-bed Rivers. John Wiley & Sons Ltd, cap.18.
- Toffaleti, F. B. (1968). Definitive Computations of Sand Discharge in Rivers. Journal of the Hydraulics Division, v. 95, n. 1, p. 225-248, 1969.
- USACE: US Army Corps of Engineers (2016). River Analysis System. Hydraulic Reference Manual, version 5.0.
- Wilcock, P. R. & Crowe, J. C. (2003). Surface-based Transport Model for Mixed-Size Sediment. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, v. 129, n. 2, p. 120-128.



Yang, C. T. (1973). Incipiente motion and sediment transport. Journal of Hydraulic Division, v.99, n.10, p. 1679-1704.