



**IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DEFT3D PARA ANÁLISE
DE ALTERNATIVAS DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ E
SEUS EFEITOS NOS PADRÕES DE INUNDAÇÃO DAS ÁREAS
ADJACENTES DURANTE EVENTOS DE EXTREMA VAZÃO**

Preparado para:

Acquaplan Tecnologia e Consultoria Ambiental

Preparado por:

Coastal Planning & Engineering do Brasil

Fevereiro de 2011

ÍNDICE DE REVISÕES									
REV	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS								
0	ORIGINAL								
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	26/01/2011								
PROJETO	BR55								
EXECUÇÃO	JP/FD								
VERIFICAÇÃO	RB								
APROVAÇÃO	LB								
AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA COASTAL PLANNING & ENGINEERING DO BRASIL, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.									
A IMPRESSÃO OU REPRODUÇÃO DESTE DOCUMENTO TORNA A CÓPIA NÃO CONTROLADA.									

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DELFT3D PARA ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ E SEUS EFEITOS NOS PADRÕES DE INUNDAÇÃO DAS ÁREAS ADJACENTES DURANTE EVENTOS DE EXTREMA VAZÃO

SUMÁRIO EXECUTIVO

A *Coastal Planning & Engineering do Brasil* foi solicitada pela *Acquaplan Tecnologia e Consultoria Ambiental* para realizar um estudo de modelagem numérica de inundação associada a eventos de vazão fluvial extrema no Rio Araranguá, localizado no litoral sul do Estado de Santa Catarina (SC). O objetivo do estudo é verificar a influência das alternativas de retificação e fixação da barra do Rio Araranguá no sobrenível do rio durante eventos extremos de vazão fluvial (enchentes).

Foram considerados 4 diferentes cenários estruturais/batimétricos nas simulações, sendo um o cenário atual e três alternativas de fixação da barra. A fim de quantificar a influência das três alternativas frente ao cenário atual, foram simulados eventos de vazão fluvial extrema e comparados os valores de elevação da superfície da água ao longo do rio.

A modelagem numérica foi executada com o modelo numérico Delft3D, desenvolvido pela Deltares, sendo considerada a ferramenta mais avançada na atualidade para simulações de ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Para a modelagem hidrodinâmica (de inundação) foi utilizado o módulo Delft3D-Flow.

A batimetria/topografia ao longo da área modelada foi definida com base em uma compilação de dados provenientes de levantamentos realizados em campo e dados digitalizados de cartas náuticas fornecidas pela DHN.

Os cenários simulados indicam que as alternativas de abertura e fixação da barra propostas geram, durante eventos extremos de vazão, uma diminuição dos valores de máxima cota alcançada pelo rio e, conseqüentemente, a diminuição das áreas inundadas em comparação ao cenário atual. Adicionalmente, as intervenções aumentam o escoamento em momentos de extravasamento do rio, diminuindo o tempo de permanência das águas nas áreas inundadas.

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	1
2.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	5
2.2	HIDROLOGIA	7
2.3	CARACTERÍSTICAS DAS MARÉS	8
3.	MODELAGEM NUMÉRICA	10
3.1	DESCRIÇÃO DO MODELO DELFT-FLOW	10
3.2	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DELFT3D.....	11
3.2.1	GRADE NUMÉRICA	12
3.2.2	DADOS BATIMÉTRICOS.....	14
3.2.3	DADOS TOPOGRÁFICOS.....	14
3.2.4	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	18
3.2.5	NÍVEL DO MAR – MARÉ ASTRONÔMICA	21
3.2.6	VAZÕES DOS RIOS	22
4.	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA OBRA EM EVENTOS DE VAZÃO FLUVIAL EXTREMA (ENCHENTES)	25
4.1	EVENTO 1 - DEZ. 1995 (-25%)	26
4.2	EVENTO 2 - DEZ. 1995	50
4.3	EVENTO 3 - DEZ. 1995 (+25%)	74
5.	CONCLUSÕES E DISCUSSÕES.....	98
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.	2
Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (adaptado de PIAVA SUL, 2010).....	3
Figura 3 – Localização das Estações Fluviométricas da ANA.	7
Figura 4 – Constantes harmônicas de Araranguá – SC. Fonte: FEMAR (2000).	8
Figura 5 – Grade numérica utilizada para a simulação dos cenários de vazão extrema e inundação.	12
Figura 6 – Detalhe da grade numérica na região da cidade e da BR-101.	13
Figura 7 – Detalhe da grade numérica na região da obra e na desembocadura do Rio Araranguá, com uma das alternativas dos molhes analisada.	13
Figura 8 – Dados de topografia coletados em campo.	15
Figura 9 – Vista da cidade de Araranguá – SC. A linha vermelha representa a área do perímetro urbano inundada na enchente de janeiro de 2009 (adaptado de Niles, 2009).	16
Figura 10 – Batimetria/topografia interpolada e projetada na grade numérica do modelo de inundação.	17
Figura 11 – Cenário Atual. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.	18
Figura 12 – Alternativa 1. Estruturas de fixação representadas pelos polígonos em preto. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.	19
Figura 13 – Alternativa 2. Estruturas de fixação representadas pelos polígonos em preto. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.	20
Figura 14 – Alternativa 3. Desembocadura atual fechada e estruturas de fixação representadas pelos polígonos em preto. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.	21
Figura 15 – Correlação entre os dados de vazão da estação Taquaruçu e Forquilha.	23
Figura 16 – Séries temporais de nível e vazão utilizadas nas simulações.	24
Figura 17 – Pontos de controle pré-definidos para análise da variação do nível da água ao	

longo do tempo de simulação.	26
Figura 18 – Série temporal de vazão do evento 1 e os tempos selecionados (pontos em vermelho) para gerar os mapas de nível de água.	27
Figura 19 – Nível da água do cenário Atual_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).	28
Figura 20 – Nível da água para o cenário Atual_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).	29
Figura 21 – Nível da água para o cenário Atual_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).	30
Figura 22 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).	31
Figura 23 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).	32
Figura 24 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).	33
Figura 25 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).	34
Figura 26 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).	35
Figura 27 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).	36
Figura 28 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).	37
Figura 29 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).	38
Figura 30 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).	39
Figura 31 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC1 - Cidade de Araranguá/Ponte BR-101.	41
Figura 32 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à cidade de Araranguá/BR-101, para as simulações do evento 1.	42
Figura 33 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC2 - Localidade de Manhoso.	43
Figura 34 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à localidade de Manhoso, para as simulações do evento 1.	44
Figura 35 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC3 - Balsa de Araranguá.	45
Figura 36 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à balsa de Araranguá, para as simulações do evento 1.	46
Figura 37 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC4 -	

Comunidade de Ilhas.....	47
Figura 38 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à Comunidade de Ilhas, para as simulações do evento 1.....	48
Figura 39 – Série temporal de vazão do Evento 2 e os tempos selecionados (pontos em vermelho) para gerar os mapas de nível de água.	50
Figura 40 – Nível da água para o cenário Atual_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).	51
Figura 41 – Nível da água para o cenário Atual_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).	52
Figura 42 – Nível da água para o cenário Atual_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).	53
Figura 43 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).	54
Figura 44 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).	55
Figura 45 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).	56
Figura 46 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).	57
Figura 47 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).	58
Figura 48 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).	59
Figura 49 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).	60
Figura 50 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).	61
Figura 51 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).	62
Figura 52 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC1 - Cidade de Araranguá/Ponte BR-101.	64
Figura 53 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à cidade de Araranguá/BR-101, para as simulações do evento 2.	65
Figura 54 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC2 - Localidade de Manhoso.	66
Figura 55 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à localidade de Manhoso, para as simulações do evento 2.	67
Figura 56 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC3 - Balsa de Araranguá.....	68
Figura 57 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à balsa	

de Araranguá, para as simulações do evento 2.	69
Figura 58 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC4 - Comunidade de Ilhas.....	70
Figura 59 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à Comunidade de Ilhas, para as simulações do evento 2.....	71
Figura 60 – Série temporal de vazão do Evento 3 e os tempos selecionados (pontos em vermelho) para gerar os mapas de nível de água.	74
Figura 61 – Nível da água para o cenário Atual_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).	75
Figura 62 – Nível da água para o cenário Atual_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).	76
Figura 63 – Nível da água para o cenário Atual_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).	77
Figura 64 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).	78
Figura 65 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).	79
Figura 66 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).	80
Figura 67 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).	81
Figura 68 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).	82
Figura 69 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).	83
Figura 70 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).	84
Figura 71 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).	85
Figura 72 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).	86
Figura 73 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC1 - Cidade de Araranguá/Ponte BR-101.	88
Figura 74 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à cidade de Araranguá/BR-101, para as simulações do evento 3.	89
Figura 75 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC2 - Localidade de Manhoso.	90
Figura 76 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à localidade de Manhoso, para as simulações do evento 3.	91
Figura 77 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC3 - Balsa de	

Araranguá.....	92
Figura 78 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à balsa de Araranguá, para as simulações do evento 3.	93
Figura 79 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC4 - Comunidade de Ilhas.....	94
Figura 80 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à Comunidade de Ilhas, para as simulações do evento 3.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de calibração utilizados no modelo.	11
Tabela 2 – Séries temporais de vazão utilizadas nas simulações (m ³ /s).	24
Tabela 3 – Simulações conduzidas, contemplando os diferentes cenários batimétricos/estruturais e séries temporais de vazão.....	25
Tabela 4 – Valores de máxima elevação do nível do rio (m) e máximas diferenças entre o cenário atual e alternativas (m) ao longo da simulação para cada ponto de controle analisado.	97

1. INTRODUÇÃO

No presente relatório são apresentados os procedimentos de implementação e os resultados da modelagem numérica de inundação associada a eventos de vazão fluvial extrema no Rio Araranguá, localizado no litoral sul do Estado de Santa Catarina (SC). O objetivo do estudo é verificar a influência de 3 alternativas de retificação e fixação da barra no sobrenível do rio durante eventos extremos de vazão fluvial (enchentes).

Segundo INPH (1993), diversos estudos relacionados à implantação de estruturas para fixação da desembocadura já foram realizados na região de Araranguá, cuja justificativa é reduzir os efeitos das inundações e facilitar a navegação. Um desses estudos foi conduzido pelo próprio INPH, no ano de 1993.

2. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Santa Catarina possui 293 municípios, distribuídos em 10 regiões hidrográficas, um vasto planalto e duas serras - Serra Geral e Serra do Mar. Sua zona costeira é constituída por 13 municípios, distribuídos em sete bacias hidrográficas.

Araranguá está localizada no sul do Estado de Santa Catarina, a aproximadamente 200 km da capital Florianópolis (Figura 1).

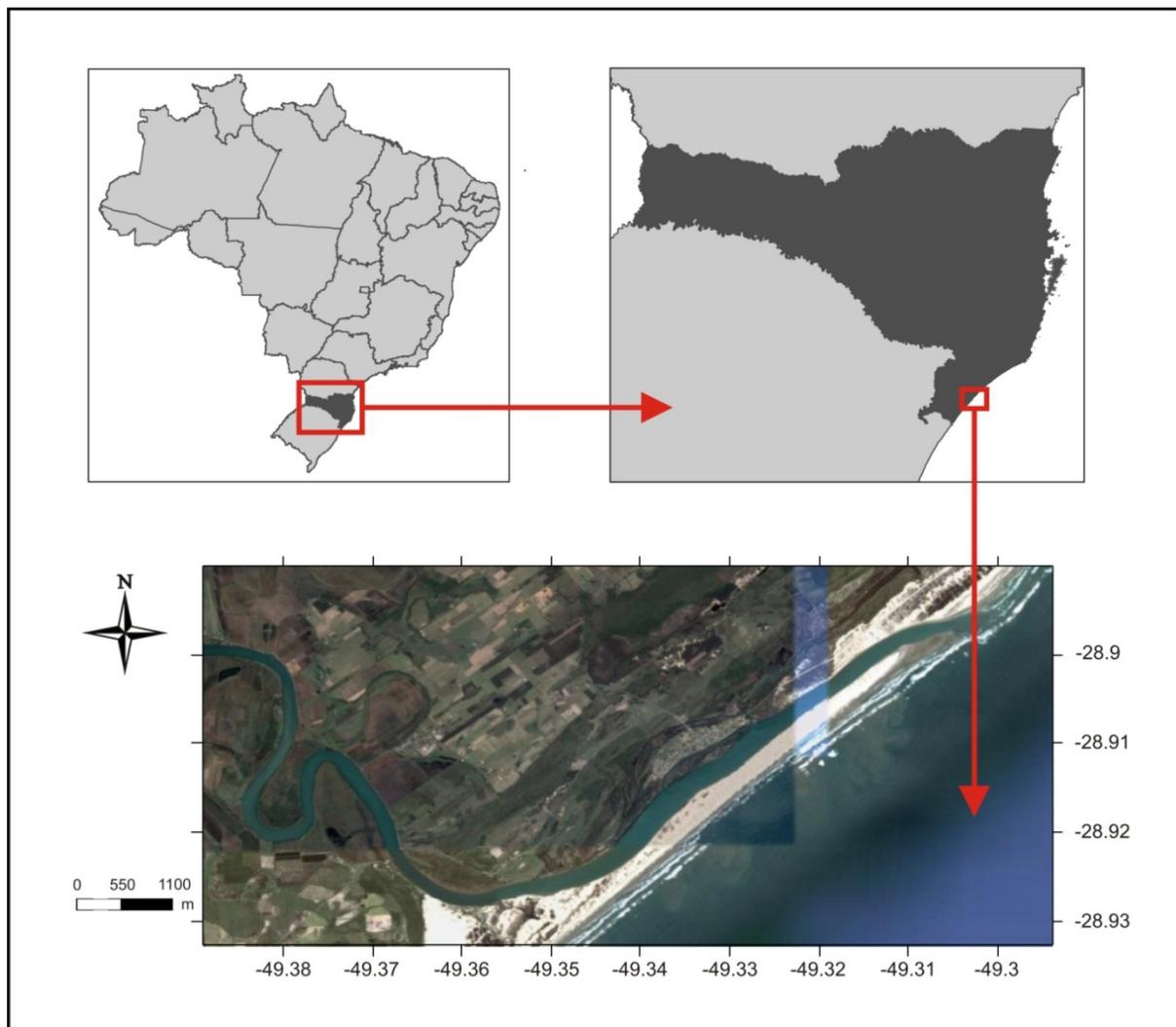


Figura 1 – Localização da área de estudo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (Figura 2) apresenta escoamento em direção ao mar, assumindo uma direção oeste-leste (W-E). A bacia hidrográfica abrange uma área de 3.020 km², sendo formada pela confluência dos rios Itoupava e Mãe Luzia, recebendo mais um tributário próximo à desembocadura, o Rio dos Porcos (D'Aquino *et al.*, 2008). Nos últimos 7 km do rio, o curso está voltado para a direção nordeste, é paralelo à linha de costa, com seu canal cruzando uma barreira arenosa.

Segundo o censo de 2000 do IBGE, a população que ocupa a bacia é de aproximadamente 382.300 habitantes, que correspondem a 7,13% da população do Estado de Santa Catarina. A população está distribuída em 15 municípios, dos quais 13 têm sua sede dentro da bacia.

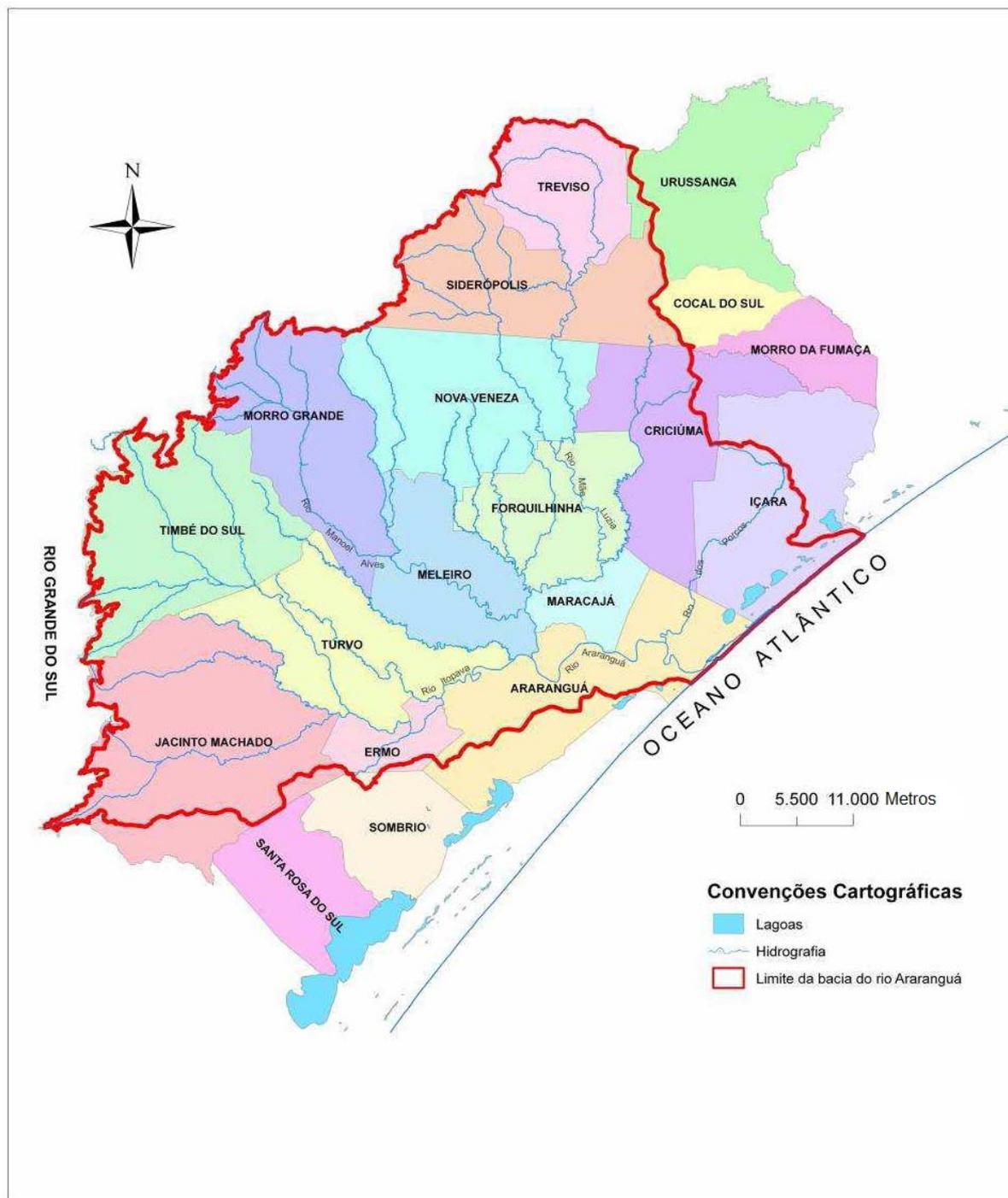


Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (adaptado de PIAVA SUL, 2010).

Nas encostas da Serra Geral localizam-se, na grande maioria, as nascentes dos rios que drenam os terrenos da bacia do Rio Araranguá. O relevo da bacia do Rio Araranguá é constituído pelos compartimentos: Encostas da Serra Geral, Contrafortes da Serra Geral, Serras do Leste Catarinense e Planície Costeira. Esses quatro compartimentos se alternam numa curta extensão, das nascentes até a foz do rio, produzindo desníveis muito acentuados de mais de 1.000 m em cerca de 60 km. A bacia do Rio Araranguá pode ser dividida em cinco

sub-bacias: Rio Mãe Luzia, Manoel Alves, Itoupava, dos Porcos e Baixo Araranguá (PIAVA SUL, 2010).

A sub-bacia do Rio Itoupava é formada pelo Rio da Pedra e Rio Amola Faca, com uma área drenada de 1.162,03 km². Abrange o território dos municípios de Jacinto Machado, Timbé do Sul e Turvo e parte dos municípios de Morro Grande, Meleiro e Araranguá.

A sub-bacia do Rio Mãe Luzia abrange uma área de 1.113,65 km², e drena o território dos municípios de Treviso, Siderópolis, Forquilha e parte dos municípios de Nova Veneza, Meleiro, Maracajá, Urussanga e Criciúma.

A sub-bacia do Rio Manoel Alves apresenta uma área de abrangência de 405,22 km². Os cursos d'água desta sub-bacia drenam parte dos territórios dos municípios de Morro Grande, Nova Veneza e Meleiro.

A confluência dos rios Itoupava e Mãe Luzia forma a sub-bacia do Baixo Araranguá, com uma área de 183,74 km². Esta sub-bacia drena parte do território dos municípios de Araranguá, Maracajá e Içara. Próximo da sua foz, o Rio Araranguá recebe as águas da sub-bacia do Rio dos Porcos, com uma área de 192,10 km². A sub-bacia drena parte dos municípios de Criciúma e Içara.

Os períodos mais chuvosos na bacia do Rio Araranguá são na primavera e no verão (entre os meses de setembro e fevereiro). Os níveis mais elevados de precipitação ocorrem nas áreas próximas às encostas da Serra Geral, enquanto que na faixa litorânea os índices de precipitação são menores. Tal variação de pluviosidade na bacia deve-se ao efeito da orografia (relevo), que proporciona maiores índices pluviométricos nas áreas próximas às encostas da Serra Geral (Monteiro, 2007).

O período de menor pluviosidade ocorre no outono-inverno, especialmente entre os meses de abril e julho. Conforme Monteiro (2007), no outono as precipitações registradas estão associadas mais à passagem de frentes frias do que a chuvas convectivas (causadas pelo calor diurno).

A variação da pluviosidade interfere diretamente na variação das descargas médias dos rios da bacia. Como consequência disso, as intensas chuvas registradas entre os meses de dezembro e março ocasionam as maiores cheias da bacia, que ocorrem nos meses de fevereiro e março. A partir de abril, inicia-se o período de diminuição dos escoamentos nos

cursos fluviais, fato que está associado ao período de diminuição da pluviosidade registrada entre os meses de abril e julho. Por fim, no trimestre agosto-setembro-outubro inicia-se o segundo período anual de maior pluviosidade, que acarreta na ocorrência de novas cheias de magnitude secundária que se estendem do mês de agosto a janeiro (ECP, 1982).

2.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Quando a quantidade de água que chega simultaneamente no rio é superior à sua capacidade de drenagem, temos como resultado a elevação do nível da superfície da água e possível inundação das áreas marginais ao rio. Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com que ocorrem as inundações.

Niles (2009) realizou um estudo reunindo informações sobre as enchentes ocorridas na região de Araranguá entre 1974 e 2009. Os principais eventos de cheias são listados abaixo:

- março de 1974;
- julho de 1983;
- dezembro de 1995;
- maio de 2008;
- janeiro e setembro de 2009.

A enchente de 1974 é a mais antiga registrada e apresenta escassez de dados históricos. De acordo com Niles (2009), houve uma precipitação de 493 mm na sub-bacia do Rio Mãe Luzia no mês de março. O evento de inundação ocorreu entre os dias 22 e 24 de março, período de maré de sizígia. Sabe-se que este evento foi de grande magnitude, porém não é possível afirmar ao certo devido à falta de registros.

O mês de julho de 1983 foi marcado por uma intensa precipitação na bacia do Rio Araranguá. Na cidade de Araranguá choveu um total de 388 mm ao longo do mês; a estação meteorológica de Timbé do Sul registrou um total de 425,1 mm, enquanto que na estação de Forquilha, a precipitação mensal foi de 491,6 mm (Niles, 2009). Segundo o mesmo autor, é possível que a inundação de 1983 não tenha magnitude tão grande quanto a de 1974.

A inundação de dezembro de 1995 foi um evento de grande magnitude. Esta enchente foi causada por uma precipitação na Serra Geral muito intensa, onde choveu 150,4 mm em

poucas horas (Niles, 2009), com um total no mês de 310,4 mm. Na estação da ANA (Agência Nacional de Águas) de Forquilha e da foz do Rio Manoel Alves, foi registrado um total de 360 mm e 242 mm, respectivamente, durante o mês de dezembro.

O evento de maio de 2008 foi marcado por fortes chuvas em toda a bacia, porém não de forma uniforme. As maiores taxas de precipitação ocorreram junto à Serra Geral – 415,1 mm na estação de Timbé do Sul, entre os dias 2 e 4 de maio – enquanto que junto à planície litorânea as taxas foram menores – 171,8 mm na estação meteorológica de Sombrio, para o mesmo período. Às 6:30 hs do dia 5 de maio, o rio atingiu o nível de 3,5 m nas proximidades da cidade de Araranguá. De acordo com a Defesa Civil, esse evento foi classificado com um desastre de nível médio (Niles, 2009).

A enchente de janeiro de 2009 na cidade de Araranguá foi de grande magnitude, provavelmente menor apenas que a de 1974. Entre o dia 1º e 7 de janeiro, precipitou 376 mm em Timbé do Sul, com um total de 877 mm para o mês. Já na estação meteorológica de Araranguá, a precipitação foi de aproximadamente 185 mm entre 2 e 4 de janeiro. A enchente começou dia 2 de janeiro, classificada como uma cheia do tipo inundação gradual (Niles, 2009). O nível do rio chegou a 4,33 m acima do nível normal, medido em frente à cidade de Araranguá.

Entre 8 e 13 de setembro de 2009 ocorreu nova inundação na cidade. A estação meteorológica de Araranguá registrou uma precipitação acumulada de 239 mm durante o período de inundação. Já em Timbé do Sul, para o mesmo período (8 a 13 de setembro), o total de precipitação foi de 383,4 mm. O rio atingiu uma altura de 3,14 m acima do nível médio em frente à cidade de Araranguá. Ao contrário dos outros eventos, este teve uma contribuição mais significativa das chuvas na região litorânea.

Em seu trabalho, Niles (2009) acentua que todos esses eventos de inundação sofrem forte influência das chuvas que ocorrem nas cabeceiras da bacia, onde o sistema meteorológico responsável pelas chuvas é auxiliado pelo efeito orográfico da Serra Geral. Dentre os fatores associados a eventos de cheias temos: 1) a quantidade, intensidade e distribuição das precipitações; 2) o tamanho da bacia, o relevo da serra e a planície extensa próximo ao litoral e 3) as marés astronômicas e meteorológicas.

2.2 HIDROLOGIA

A descarga fluvial do Rio Araranguá é monitorada diariamente em uma série de estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA), sendo que os registros históricos apontam grande variabilidade temporal e baixo padrão sazonal. As estações situadas mais a jusante, sem influência da maré, são: a Estação de Taquaruçu (Rio Itoupava), que fornece uma vazão média mensal de 33,9 m³/s (dados entre 1943 e 2004), com um pico histórico de 1222 m³/s; a Estação de Forquilha (Rio Mãe Luzia), com vazão média mensal de 18,2 m³/s (dados entre 1942 e 2004), com um pico histórico de 1103 m³/s e a Estação da Foz do Rio Manoel Alves (Rio Manoel Alves), vazão média mensal de 12,7 m³/s (dados entre 1977 e 2004), com um pico histórico de 1425 m³/s. O Rio Manoel Alves desemboca no Rio Mãe Luzia, este que converge junto ao Rio Itoupava e dá origem ao Rio Araranguá. D'Aquino *et al.*(2008) afirmam que a dinâmica estuarina muda rapidamente de acordo com os eventos hidrológicos repentinos que ocorrem na região.

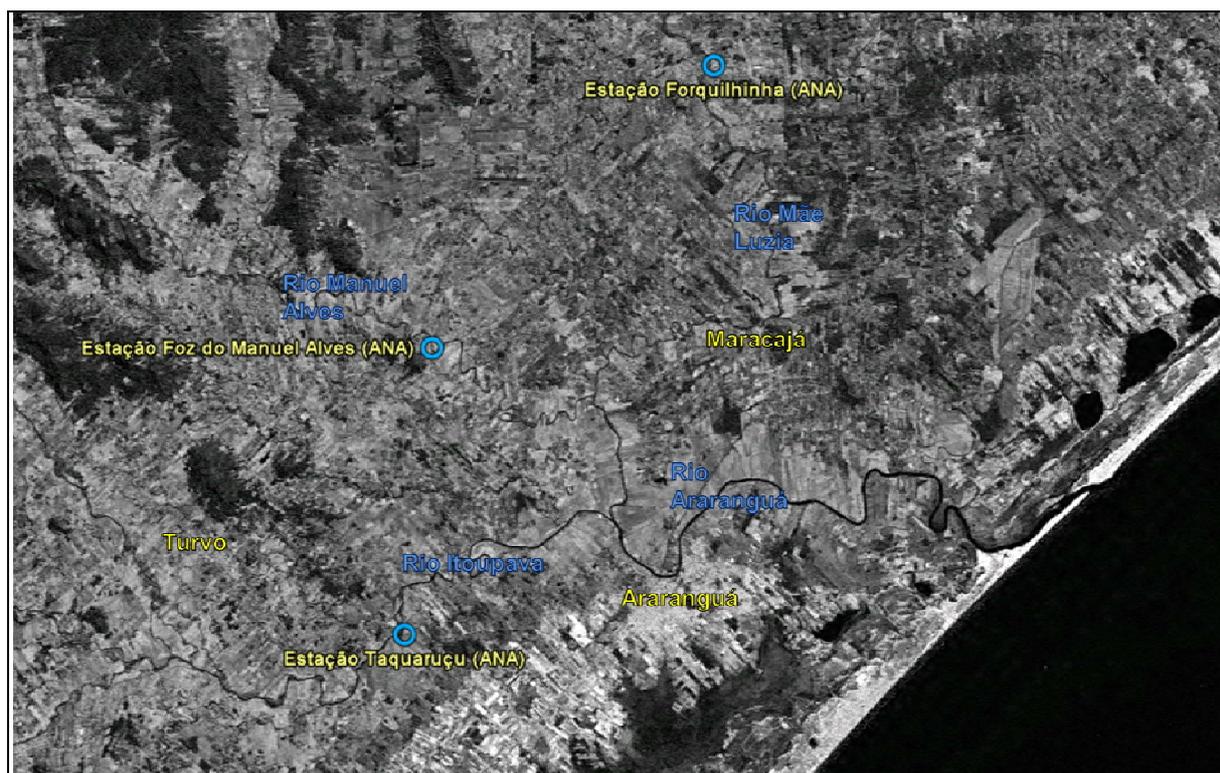


Figura 3 – Localização das Estações Fluviométricas da ANA.

2.3 CARACTERÍSTICAS DAS MARÉS

O regime de maré para a região do Rio Araranguá é de micromaré, com amplitude de maré astronômica de aproximadamente 0,9 m (INPH, 1993), havendo aumento apenas em consequência das marés meteorológicas provocadas pela entrada de frentes frias (BARRETO, 2008). A maré na região é caracterizada como semi-diurna com desigualdades diurnas, com número de forma $NF=1,2$, definido a partir da seguinte relação entre componentes diurnas e semi-diurnas da maré: $(K_1+O_1) / (M_2+S_2)$. Assim, a maré em toda a área de estudo é caracterizada por apresentar duas preamares e duas baixa-mares ao dia.

Valores de amplitude e fase de cada constituinte harmônico foram extraídos de FEMAR (2000). Na Figura 4 são apresentadas as constantes harmônicas da maré para um ponto situado no interior do Rio Araranguá ($28^\circ 55,2'S - 49^\circ 20,5'W$).

Nome da Estação : ARARANGUÁ – SC					
Localização : No Trapiche do Iate Clube de Araranguá					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : 28° 55,2' S		Longitude : 49° 20,5' W			
Período Analisado : 25/07/63 a 22/08/63			Nº de Componentes : 37		
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 50 min		Nível Médio (Zo): 32 cm acima do NR.	
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		55 cm acima do NR.		Média das Preamares Inferiores (MLHW) : 37 cm acima do NR.	
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		25 cm acima do NR.		Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) : 11 cm acima do NR.	
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	0,3	341
Ssa	-	-	N ₂	2,5	214
Mm	13,3	345	NU ₂	0,5	214
Mf	-	-	M ₂	6,4	086
MTM	-	-	L ₂	0,9	176
Msf	6,9	351	T ₂	0,4	074
Q ₁	5,2	053	S ₂	7,3	074
O ₁	10,4	077	K ₂	2,0	074
M ₁	0,4	308	MO ₃	0,5	145
P ₁	2,0	136	M ₃	0,6	176
K ₁	6,0	136	MK ₃	0,2	134
J ₁	1,2	136	MN ₄	0,6	052
OO ₁	1,0	230	M ₄	1,6	349
MNS ₂	-	-	SN ₄	1,1	083
2N ₂	0,3	342	MS ₄	0,6	035
Referências de Nível: RNs implantadas no patamar do trapiche do Iate Clube					
Obs: Não há referências a outros períodos					

Figura 4 – Constantes harmônicas de Araranguá – SC. Fonte: FEMAR (2000).

A elevação do nível do mar torna-se mais pronunciada quando a maré meteorológica coincide com as marés astronômicas de sizígia. A maré meteorológica possui um período de oscilação maior que o da maré astronômica (menor frequência) e não possui ciclicidade definida (a despeito da maré astronômica). Na costa leste dos continentes situados no hemisfério sul, a elevação do nível do mar devido à maré meteorológica positiva está relacionada à ocorrência de ventos provenientes do quadrante sul/sudoeste, principalmente paralelos à costa, que devido ao efeito de rotação da Terra (Força de Coriolis), geram um transporte de massa de água para o continente. A incidência de ventos do quadrante norte/nordeste resulta em marés meteorológicas negativas. Além da direção e intensidade dos ventos, a amplitude da maré meteorológica é, ainda, influenciada pela pressão atmosférica.

3. MODELAGEM NUMÉRICA

Para o presente estudo foi utilizado o modelo numérico *Delft3D*, desenvolvido pela *Deltares*, em Delft, Holanda. O *Delft3D* constitui-se em um avançado sistema de modelos numéricos 2D/3D (duas e três dimensões) que inclui vários módulos para possibilitar a simulação de processos costeiros complexos, tais como hidrodinâmica, geração e propagação ondas, transporte de sedimentos e mudanças na morfologia (erosão e deposição de sedimentos, variação da topografia de fundo e da linha de costa) e qualidade de água (e.g. advecção/difusão de salinidade). Para a modelagem de inundação foi utilizado o módulo *Delft3D-Flow*, descrito na seção seguinte.

3.1 DESCRIÇÃO DO MODELO DELFT-FLOW

O modelo *Delft3D-Flow* resolve um sistema de equações de águas rasas em modo bidimensional (ou integrado na vertical) e tri-dimensional. O sistema de equações empregado neste estudo consiste nas equações horizontais de movimento (*momentum*), na equação da continuidade, equações de difusão-advecção de consituintes e um modelo de fechamento turbulento. A equação vertical de momento é reduzida à relação de pressão hidrostática e as acelerações verticais são assumidas como sendo pequenas em relação à aceleração da gravidade. Isso faz com que o *Delft3D-Flow* seja adequado para a predição de fluxos em mares rasos, áreas costeiras, estuários, lagos, rios e lagoas.

Vários outros processos, tais como fricção do vento e correntes de densidade são também incluídos na formulação.

O usuário pode escolher a resolução das equações hidrodinâmicas em grades cartesianas retangulares, curvilíneas, ortogonais (*boundary fitted*) ou esféricas (Lesser *et al.*, 2004).

O modelo Delft3D conta com uma técnica robusta de cálculo de células inundadas e secas (*flood and dry cells*). Algumas regiões, como estuários e baías, contêm áreas marginais relativamente planas, rasas e largas, intercaladas por canais profundos e riachos. Em locais onde o nível d'água é muito alto, áreas inteiras são cobertas por água, e quando o nível baixa novamente, a água é confinada nas regiões mais profundas.

Na modelagem numérica, esses processos de inundação/secamento de células (*flooding/drying*) é representado pela remoção dos pontos de grade do domínio quando o fluxo seca e pela adição de pontos de grade quando o fluxo inunda determinada área. No

modelo Delft3D os processos de *flooding/drying* estão limitados a seguir o limite da célula da grade. Esses processos geram um movimento descontínuo dos contornos fechados e pode gerar pequenas oscilações no nível da água e nas velocidades. As oscilações introduzidas são pequenas se a grade possui alta resolução e o fundo possui gradientes suaves. O Delft3D possibilita trabalhar com três algoritmos diferentes para determinar o momento quando o ponto da grade passa a ser seco ou molhado. Esses algoritmos dependem da maneira na qual o valor de batimetria é definido no ponto de nível d'água, da maneira na qual o nível d'água é definido no ponto de velocidade e o critério para definição dos pontos de velocidade e/ou nível d'água seco ou molhado.

Esse modelo numérico foi extensivamente calibrado e validado através de experimentos de campo e de laboratório e é considerado o estado-da-arte em modelagem hidrodinâmica, de qualidade de água, transporte de sedimentos e morfologia.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DELFT3D

Com o objetivo de analisar o padrão de elevação do rio e áreas de inundação, bem como suas possíveis variações frente às diferentes alternativas de fixação da barra do Rio Araranguá, foi elaborado um modelo numérico hidrodinâmico/fluvial da região, considerando os efeitos conjuntos da vazão e das marés. O estudo envolveu um total de 12 simulações, sendo considerados 4 cenários batimétricos/estruturais (cenário atual e 3 alternativas) e 3 diferentes séries temporais de vazão fluvial extrema.

Na Tabela 1 são listados os principais parâmetros de ajuste utilizados no modelo.

Tabela 1 – Parâmetros de calibração utilizados no modelo.

Parâmetro	Valor
Número de Camadas verticais	1 (modelo 2DH)
Passo de tempo	0,2 min
Aceleração da gravidade	9,81 m/s ²
Densidade da água	1025 kg/m ³
Coefficiente de Chèzy no rio	100 m ^{0,5} /s
Coefficiente de Chèzy em terra	35 m ^{0,5} /s
Coefficiente de viscosidade turbulenta horizontal	1 m ² /s

Os dados de entradas utilizados no modelo e os cenários simulados são apresentados nas seções a seguir.

3.2.1 GRADE NUMÉRICA

Para simulação dos eventos de inundação foi criada uma grade numérica que abrange o corpo do Rio Araranguá desde a confluência dos rios Itoupava e Mãe Luzia até a região da desembocadura. A grade numérica incorpora, ainda, a região costeira adjacente e a planície marginal suscetível às inundações, possuindo dimensões de 184 x 519 elementos horizontais (Figura 5, Figura 6 e Figura 7).

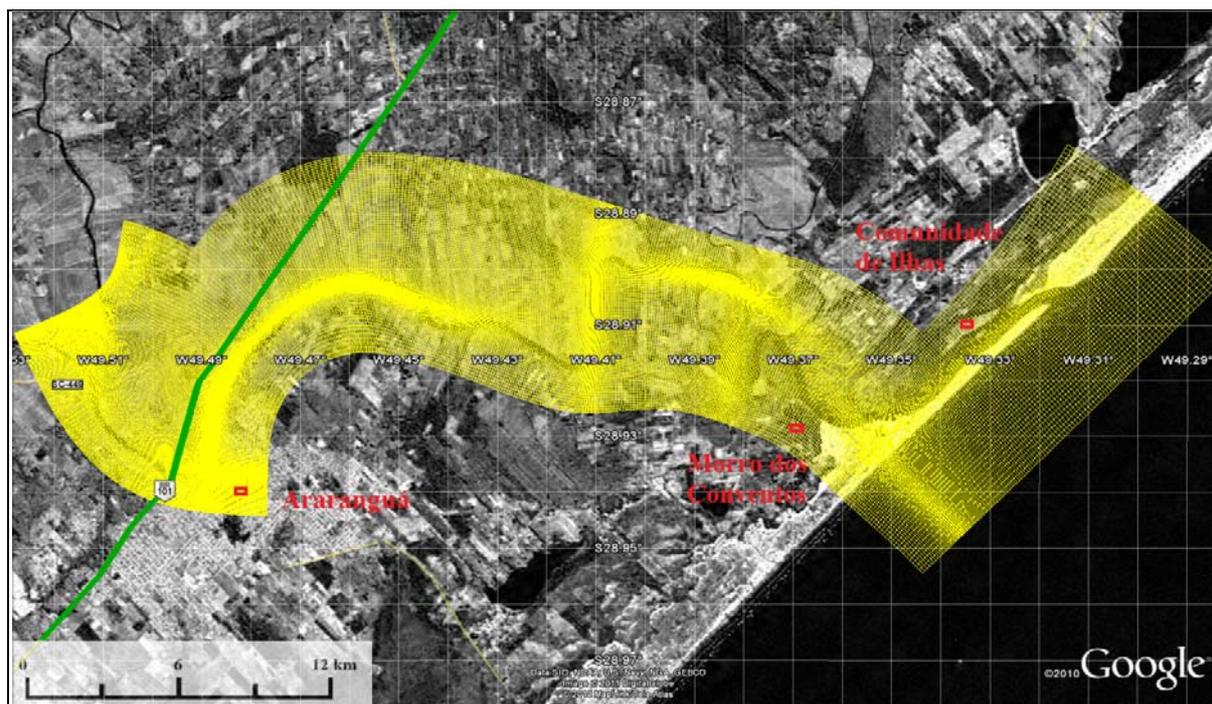


Figura 5 – Grade numérica utilizada para a simulação dos cenários de vazão extrema e inundação.



Figura 6 – Detalhe da grade numérica na região da cidade e da BR-101.

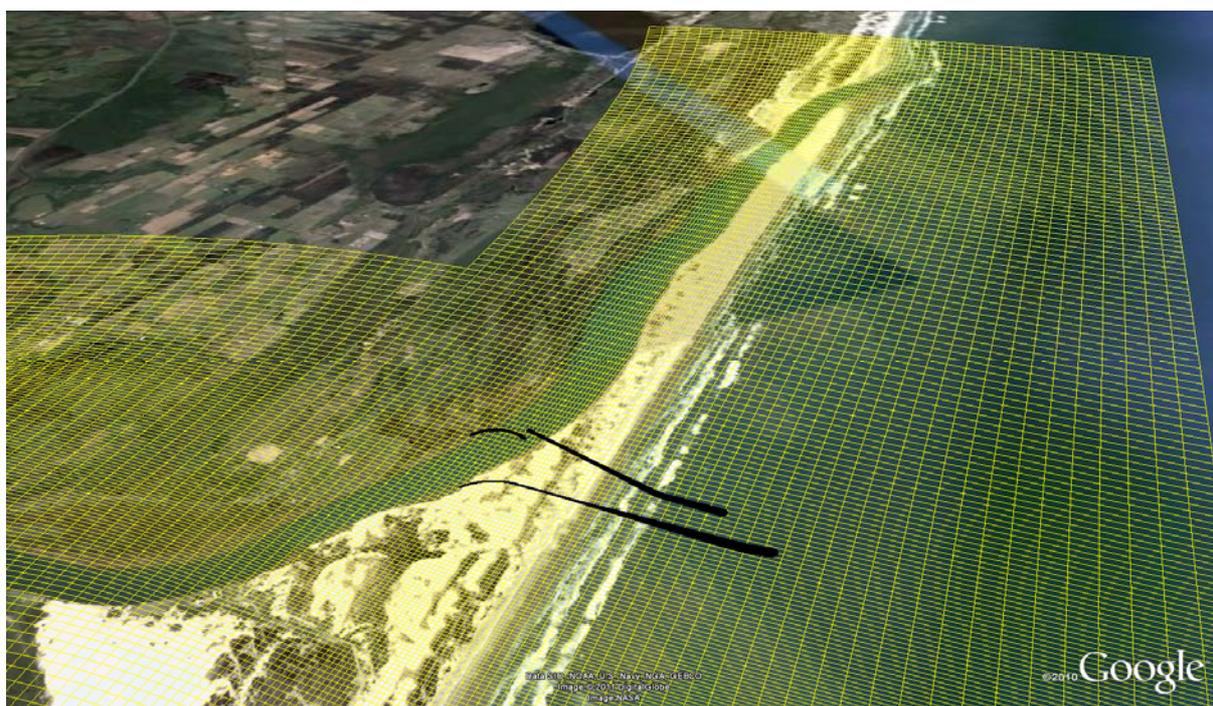


Figura 7 – Detalhe da grade numérica na região da obra e na desembocadura do Rio Araranguá, com uma das alternativas dos molhes analisada.

3.2.2 DADOS BATIMÉTRICOS

Os dados utilizados na definição da batimetria foram obtidos a partir da composição entre informações digitalizadas das cartas náuticas da DHN¹ disponíveis para a região e dados coletados em campo.

A aquisição de dados na região praial foram feitas pela Coastal Planning & Engineering do Brasil utilizando uma moto aquática (*jet sky*) com sonda batimétrica e sistema de posicionamento sub-métrico (DGPS) acoplado. Esse método torna viável a coleta de dados na zona de surfe, onde a presença de ondas gera perigos à navegação de embarcações maiores. Além disso, possibilita amostragens em áreas extremamente rasas (≈ 20 cm de coluna de água), tais como bancos arenosos, deltas de maré vazante e enchente. As linhas de navegação foram planejadas e executadas utilizando o software de navegação Hypack 2008, sendo os dados reduzidos para o RN IBGE, localizado na comunidade de Ilhas (N 6801111,745 e E 662982,254) com altitude 1,749 m (Datum SAD-1969 MC 51°). Salienta-se que todos os valores digitalizados foram reduzidos para o mesmo datum vertical (IBGE).

Os dados batimétricos do Rio Araranguá, coletados desde a foz até a região da ponte da rodovia BR-101, sobre o rio, foram cedidos pela Dra. Carla de Abreu D'Aquino. Os dados foram coletados com o suporte do CNPq, contemplando o projeto: 'Transport and retention processes of fine sediment in river dominated estuaries – TRANSEST'. O referenciamento vertical foi feito usando um marégrafo de pressão instalado durante o período do levantamento. Posteriormente, os dados foram referenciados ao nível médio do mar no período de amostragem.

Devido à escassez de dados batimétricos ao longo dos rios Itoupava e Mãe Luíza, as profundidades foram extraídas de dados pontuais disponibilizados pelo acadêmico do Curso de Oceanografia da UNIVALI (Universidade do Vale do Itajaí) Maurício Clezar Coelho, que estudou os padrões de intrusão salina no estuário do Rio Araranguá.

3.2.3 DADOS TOPOGRÁFICOS

Os dados topográficos próximos à margem do Rio Araranguá utilizados neste trabalho foram coletados pela empresa Engenharia e Gerenciamento de Recursos Ambientais Ltda. (ENGERA). Adicionalmente foi disponibilizado pela Acquaplan Tecnologia e Consultoria

¹ Diretoria de Hidrografia e Navegação

Ambiental um conjunto de dados topográficos coletados ao longo das dunas da praia de Araranguá.

Na Figura 8 é apresentado o traçado do levantamento topográfico realizado em campo. Nota-se que a amostragem dos dados topográficos possui menor resolução espacial em algumas regiões ao longo do rio, principalmente próximo à região do morro dos Conventos e da comunidade de Ilhas.

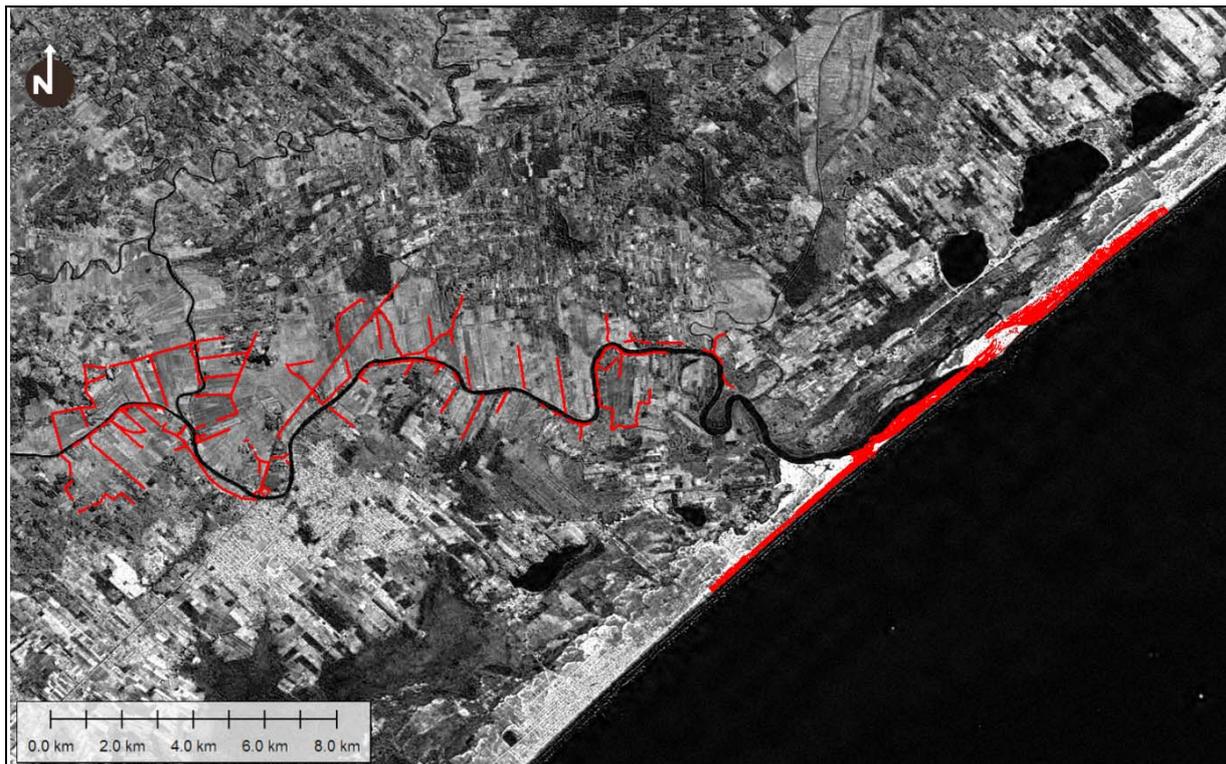


Figura 8 – Dados de topografia coletados em campo.

A batimetria/topografia foi interpolada e projetada na grade numérica do modelo com o uso do módulo Delft3D-QUICKIN, integrante do pacote de modelagem Delft3D. Essa interpolação foi feita seguindo alguns critérios, dependendo da região e da disponibilidade de dados:

- Observação de regiões mais suscetíveis a inundação em vídeos e fotografias da enchente de janeiro de 2009 (Figura 9);
- Identificação de regiões em imagens de satélite com características semelhantes (cobertura do solo) às áreas amostradas por dados topográficos.



Figura 9 – Vista da cidade de Araranguá – SC. A linha vermelha representa a área do perímetro urbano inundada na enchente de janeiro de 2009 (adaptado de Niles, 2009).

O resultado final da interpolação dos dados é apresentado na Figura 10. É importante ressaltar que a topografia utilizada nos esforços de modelagem apresenta limitações em termos de resolução e precisão e, por esse motivo, é necessário manter ressalvas quanto aos resultados de áreas inundadas. Entretanto, independente dessa limitação, a análise das mudanças causadas pela implementação da obra de fixação da desembocadura do rio em relação ao cenário atual é válida e perfeitamente útil na avaliação de resposta relativa.

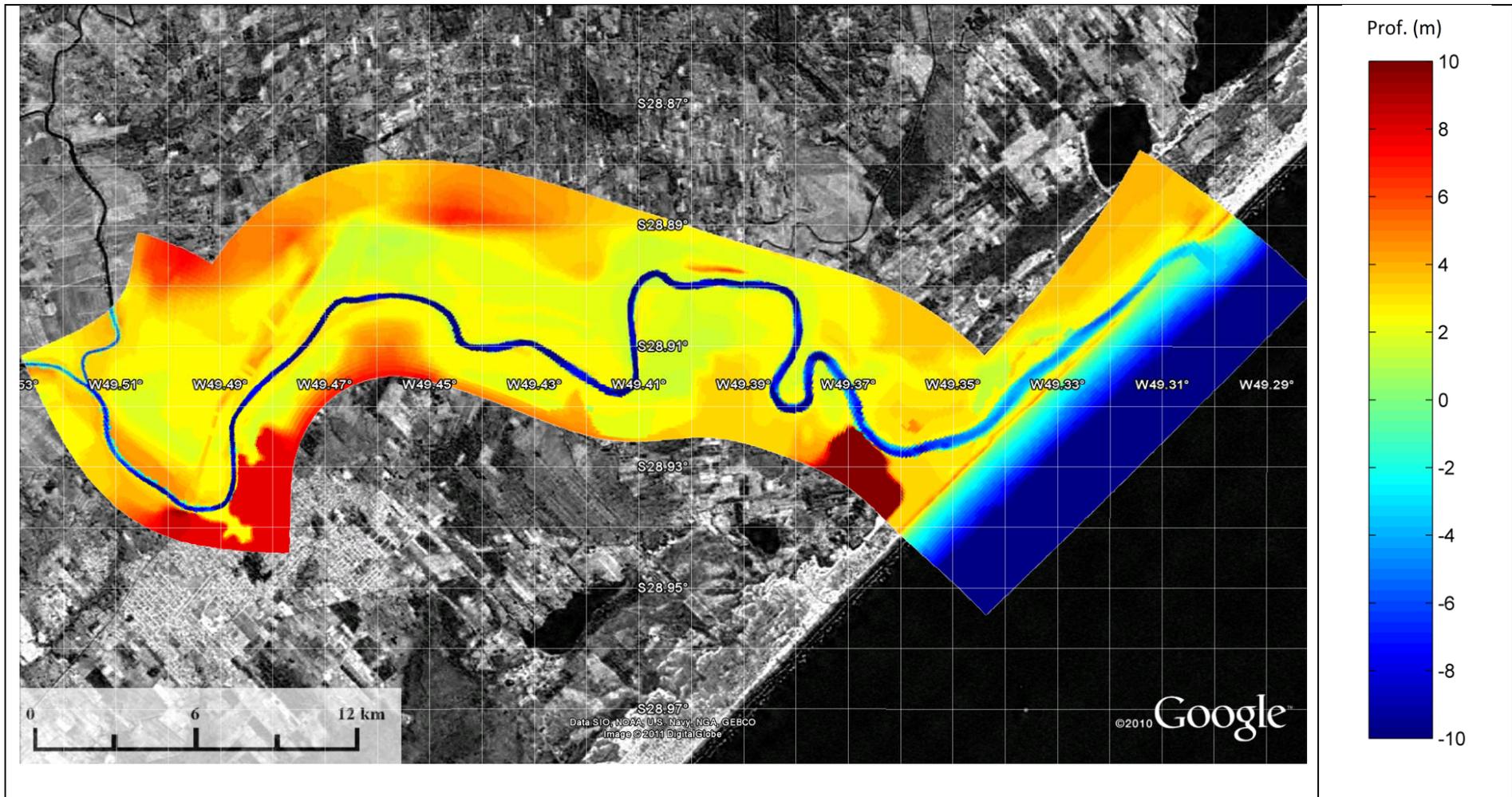


Figura 10 – Batimetria/topografia interpolada e projetada na grade numérica do modelo de inundação.

3.2.4 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

CENÁRIO ATUAL

No cenário atual a posição da desembocadura do Rio Araranguá está situada na extremidade nordeste, com o canal paralelo à linha de costa. A definição da batimetria/topografia deste cenário de simulação foi feita com base em dados de topografia da barreira arenosa e planície costeira nas proximidades do leito do rio, dados batimétricos medidos ao largo da Praia de Araranguá (incluindo áreas rasas próximas da desembocadura) e ao longo do Rio Araranguá (entre a cidade de Araranguá e a região da desembocadura). O mapa batimétrico associado ao cenário atual é apresentado na Figura 11.

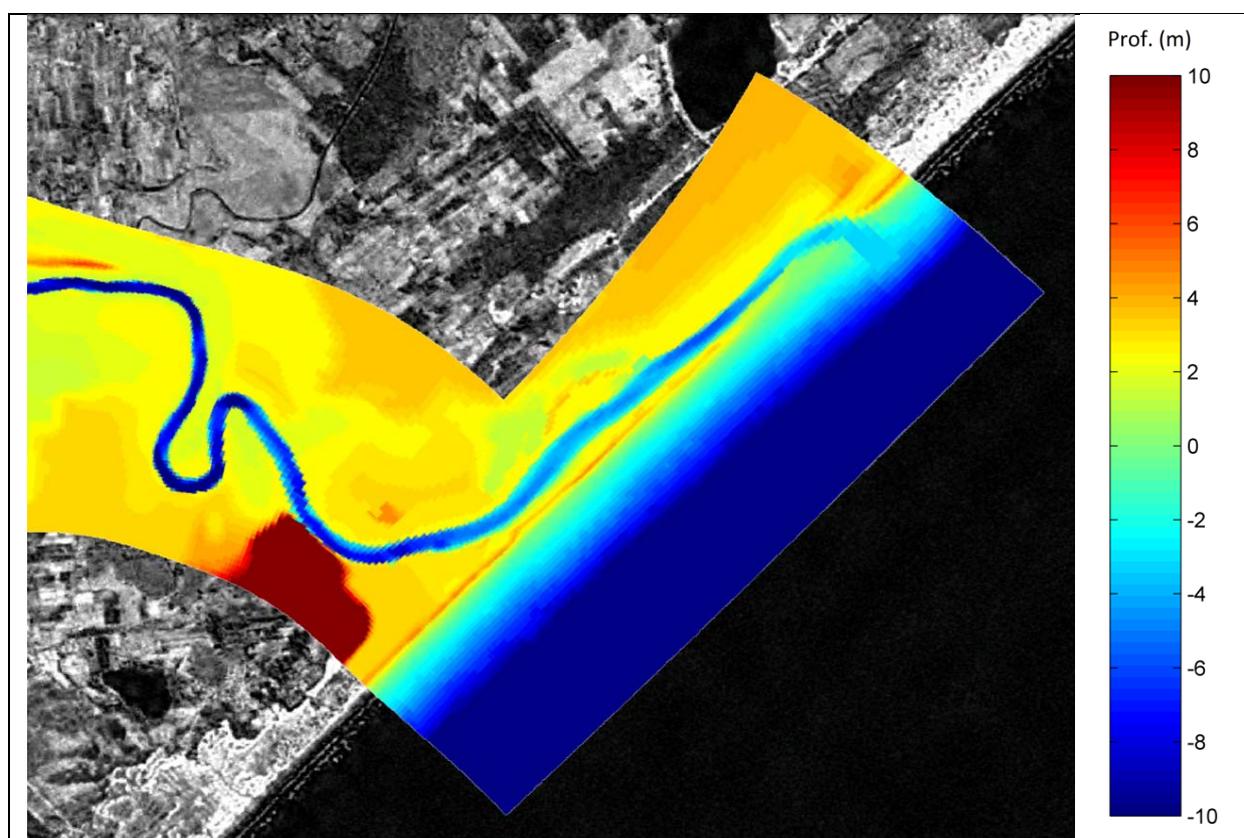


Figura 11 – Cenário Atual. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.

ALTERNATIVA 1 - PROJETO INPH

A Alternativa 1 corresponde ao projeto proposto pelo INPH, desenvolvido em 1993 (Figura 12). Neste cenário a geometria dos molhes apresenta forma semi-convergente de montante para jusante. O canal de navegação possui profundidade de 6 m. Nas demais áreas a batimetria é idêntica à utilizada no cenário atual.

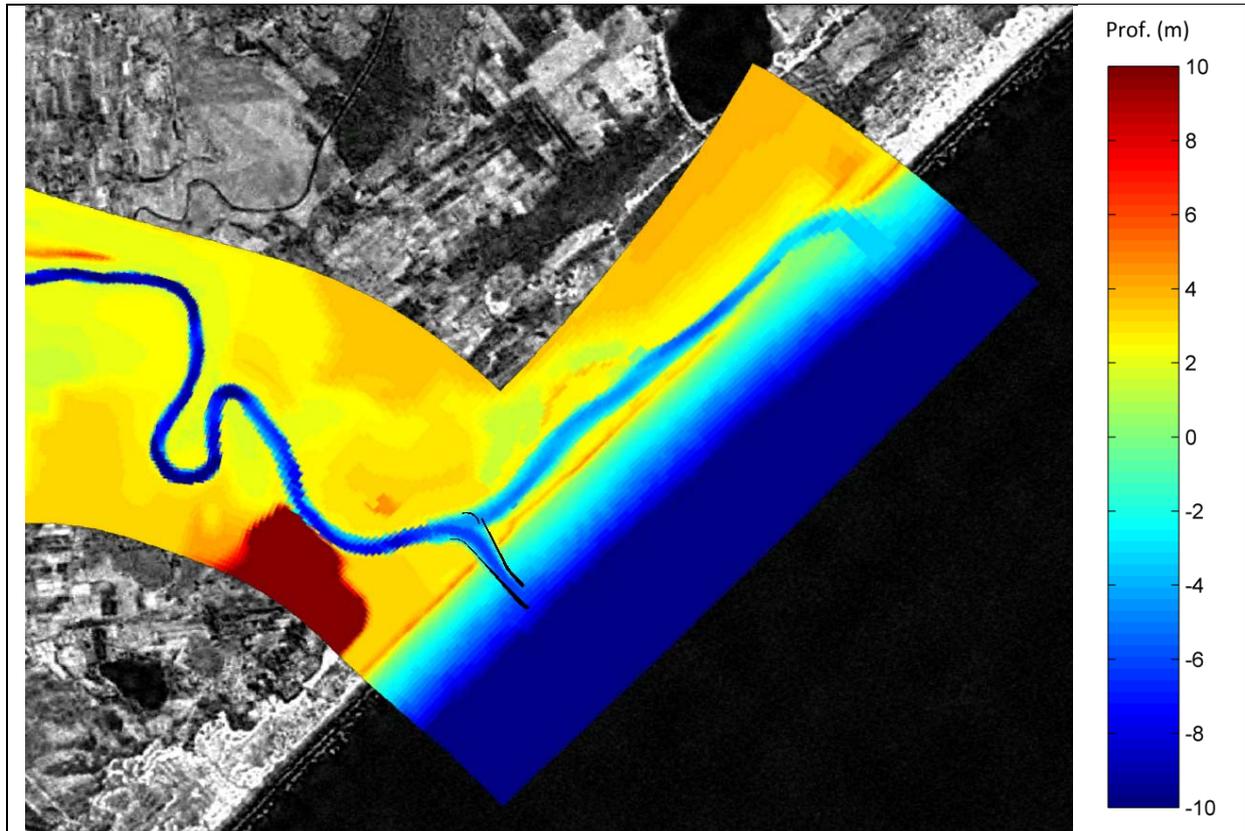


Figura 12 – Alternativa 1. Estruturas de fixação representadas pelos polígonos em preto. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.

ALTERNATIVA 2 - PROJETO INPH ABERTO

Este cenário de simulação é semelhante ao apresentado para a Alternativa 1, descrita no item anterior, porém com a ausência do espigão curvado que separa a parte do canal paralelo à costa. Esta alternativa não considera o fechamento da barra localizada ao norte do sistema. Na Figura 13 é apresentada em planta a configuração deste cenário.

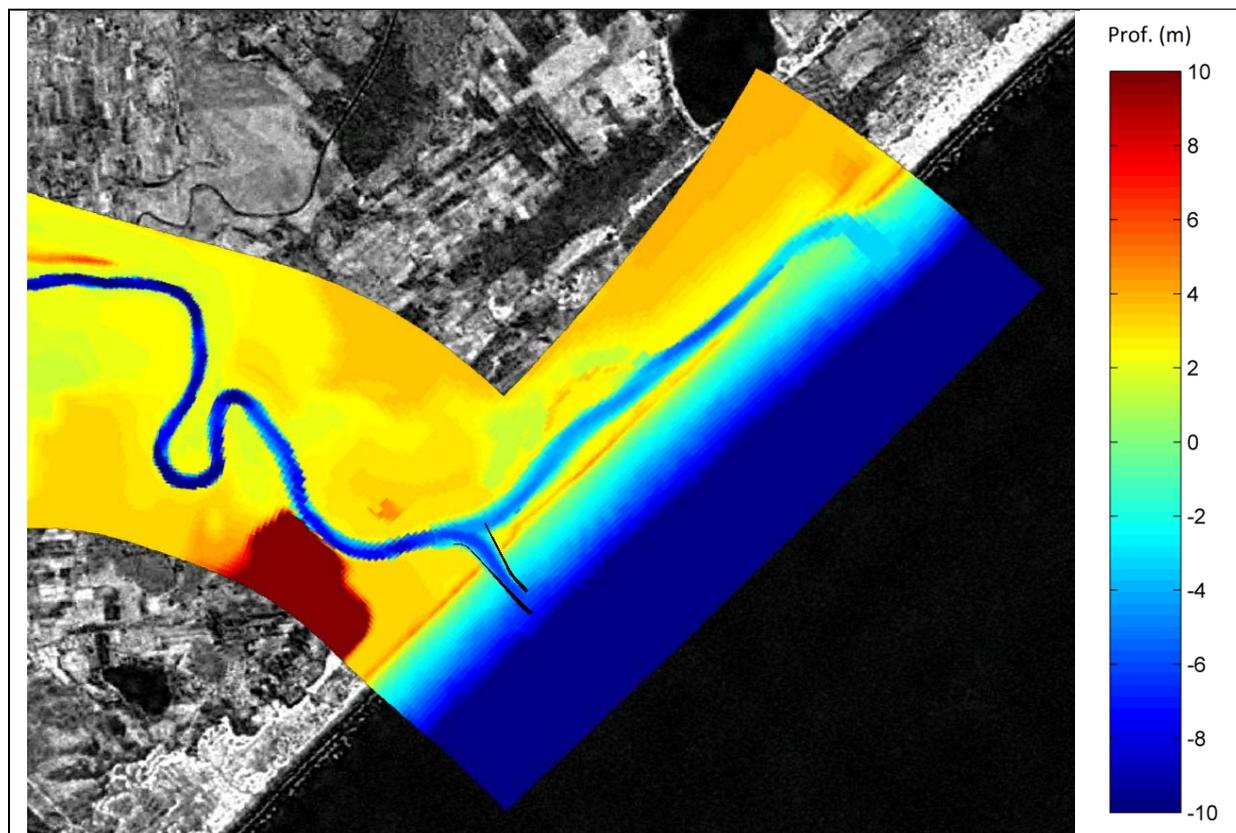


Figura 13 – Alternativa 2. Estruturas de fixação representadas pelos polígonos em preto. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.

ALTERNATIVA 3 - PROJETO INPH ABERTO, DESEMBOCADURA ATUAL FECHADA

A Alternativa 3 é idêntica à Alternativa 2, apresentado no item anterior, porém considera o fechamento da barra atual, situada a norte (Figura 14).

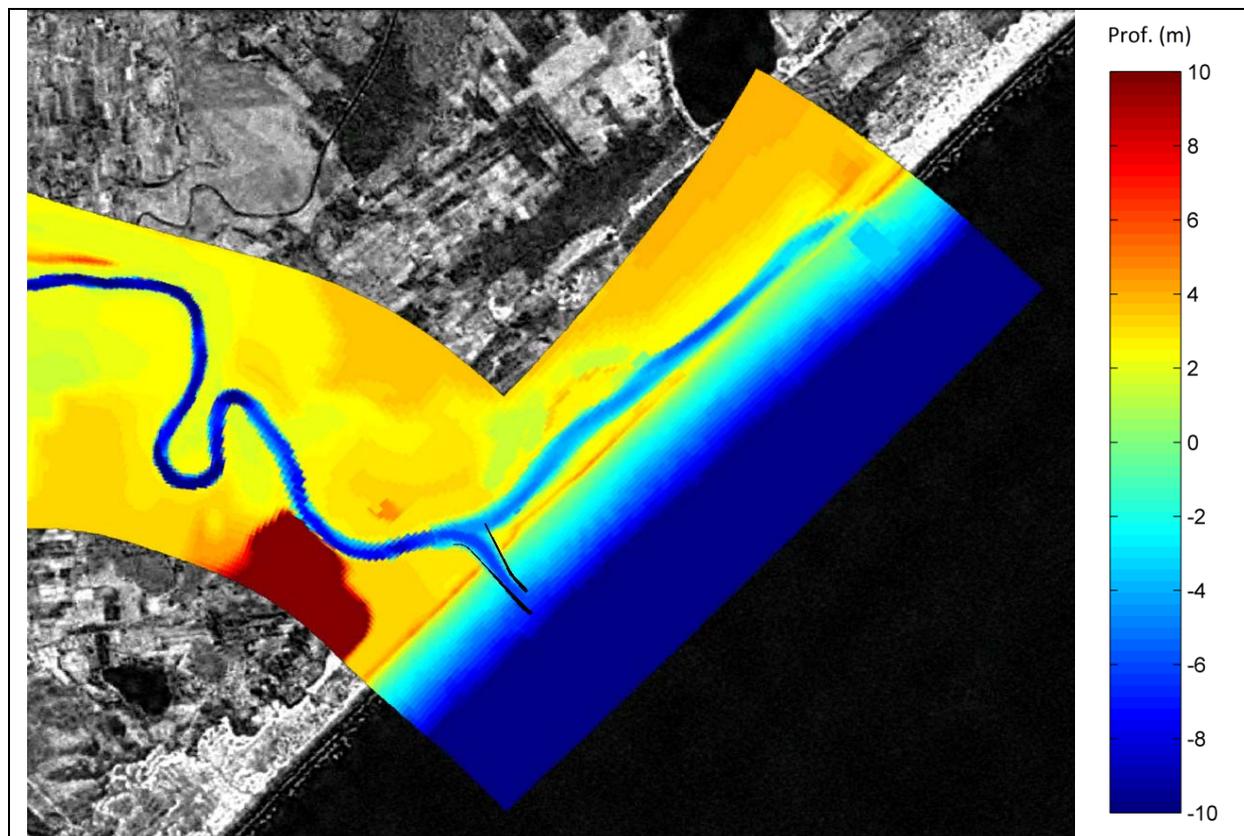


Figura 14 – Alternativa 3. Desembocadura atual fechada e estruturas de fixação representadas pelos polígonos em preto. Batimetria em metros (MSL). A escala de cores limita a apresentação de profundidades entre -10 e 10 m.

3.2.5 NÍVEL DO MAR – MARÉ ASTRONÔMICA

O modelo Delft3D permite gerar uma condição de contorno de nível a partir de valores das componentes astronômicas de maré. O movimento de maré pode ser descrito como um movimento de uma série de constituintes harmônicos simples, cada um com sua frequência, amplitude e fase características, onde a fórmula geral para a maré astronômica é:

$$H(t) = A_0 + \sum_{i=1}^k A_i \cdot F_i \cdot \cos(\omega \cdot t + (V_0 + u)_i - G_i)$$

onde:

$H(t)$ = nível do mar no tempo t

A_0 = nível do mar médio em certo período

k = número de constituintes

i = índice de constituintes

A_i = amplitude local da constituinte

F_i = fator de amplitude nodal

ω_i = velocidade angular

$(V_o + u)_i$ = argumento astronômico

G_i = defasagem

A partir das constantes harmônicas da FEMAR foi simulada a propagação da maré ao longo do domínio de modelagem, entre 21 de dezembro de 1995 e 05 de janeiro de 1996. A série temporal de dados de nível imposta no contorno do modelo paralelo à praia é apresentada na Figura 16, painel superior.

3.2.6 VAZÕES DOS RIOS

Os rios Itoupava, Mãe Luzia e Manuel Alves, que formam o Rio Araranguá, apresentam valores de vazão extremos durante eventos de enchente. As séries temporais de vazão fluvial associadas a esses rios e disponibilizadas pela ANA (Agência Nacional de Águas) não são contínuas, existindo períodos sem medições. Nas datas de ocorrência da maioria dos eventos de inundação citados no Capítulo 2.1 existe carência de dados para as estações Taquaruçu (Rio Itoupava), Forquilha (Rio Mãe Luzia) e/ou Foz do Manoel Alves (Rio Manoel Alves).

Entretanto, para o período de dezembro de 1995 a série temporal de médias diárias de vazão está completa para a estação Forquilha (Rio Mãe Luzia) e Foz do Manoel Alves (Rio Manoel Alves) e parcialmente completa para a estação Taquaruçu (Rio Itoupava). Este período foi escolhido para representar o comportamento dos rios durante um evento de enchente. Uma correlação linear foi estabelecida entre os dados da estação Taquaruçu e Forquilha com a finalidade de completar os dados ausentes do Rio Itoupava (Figura 15).

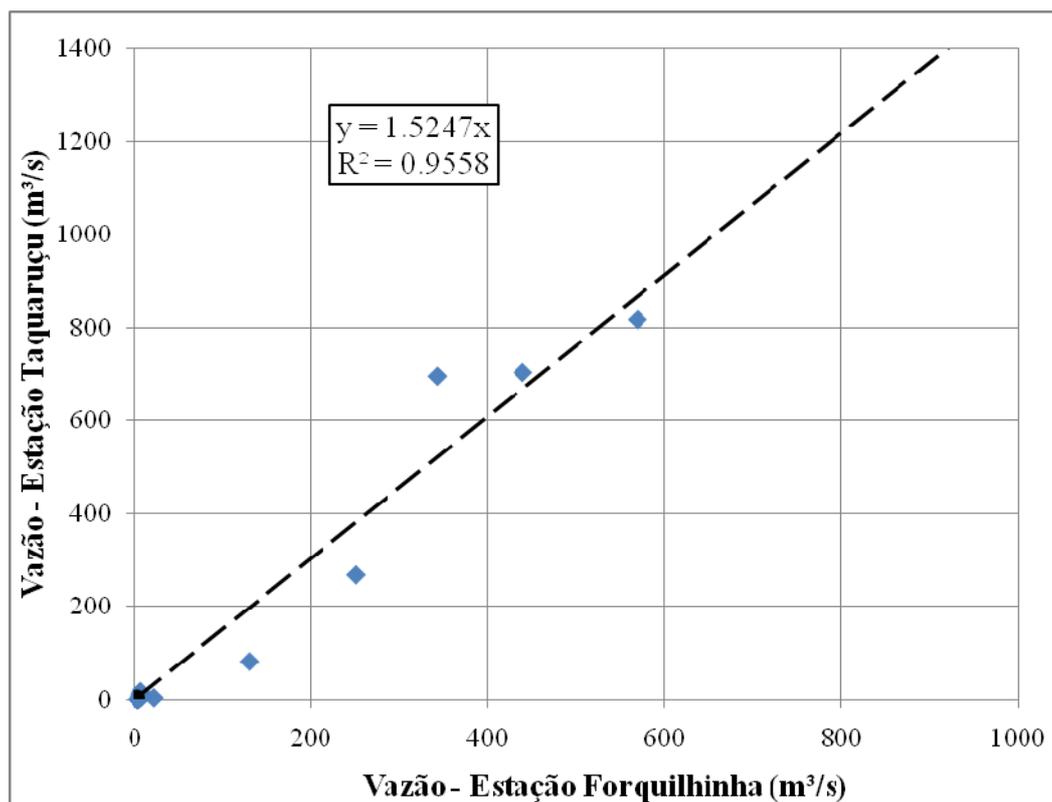


Figura 15 – Correlação entre os dados de vazão da estação Taquaruçu e Forquilha.

Para cada cenário batimétrico/estrutural foram realizadas simulações com 3 séries temporais de vazão diferentes:

- 1) série de vazão da enchente de 1995, do período de 21/12/1995 a 05/01/1996;
- 2) série de vazão da enchente de 1995 multiplicada por um fator de 0,75 (vazões 25% menores);
- 3) série de vazão da enchente de 1995 multiplicada por um fator de 1,25 (vazões 25% maiores).

As séries temporais de vazão utilizadas nas simulações são apresentadas na Tabela 2 e na Figura 16 (painel inferior).

Os dados de vazão foram impostos em dois contornos da grade, no Rio Itoupava e no Rio Mãe Luzia. A série temporal de vazão associada ao Rio Manuel Alves foi somada à série temporal do Rio Mãe Luzia, já que o limite da grade numérica se encontra a jusante do ponto de confluência destes.

Tabela 2 – Séries temporais de vazão utilizadas nas simulações (m³/s).

Dia	Evento 1995	Evento 1995 (-25%)	Evento 1995 (+25%)
21/12/1995	9,26	6,95	11,58
22/12/1995	8,76	6,57	10,95
23/12/1995	8,82	6,61	11,02
24/12/1995	1087,00	815,25	1358,75
25/12/1995	3329,74	2497,31	4162,18
26/12/1995	1897,31	1422,99	2371,64
27/12/1995	1794,44	1345,83	2243,05
28/12/1995	1667,00	1250,25	2083,75
29/12/1995	1308,00	981,00	1635,00
30/12/1995	608,20	456,15	760,25
31/12/1995	271,30	203,48	339,13
1/1/1996	213,90	160,42	267,37
2/1/1996	153,54	115,16	191,93
3/1/1996	114,20	85,65	142,75
4/1/1996	88,17	66,13	110,21
5/1/1996	72,12	54,09	90,15

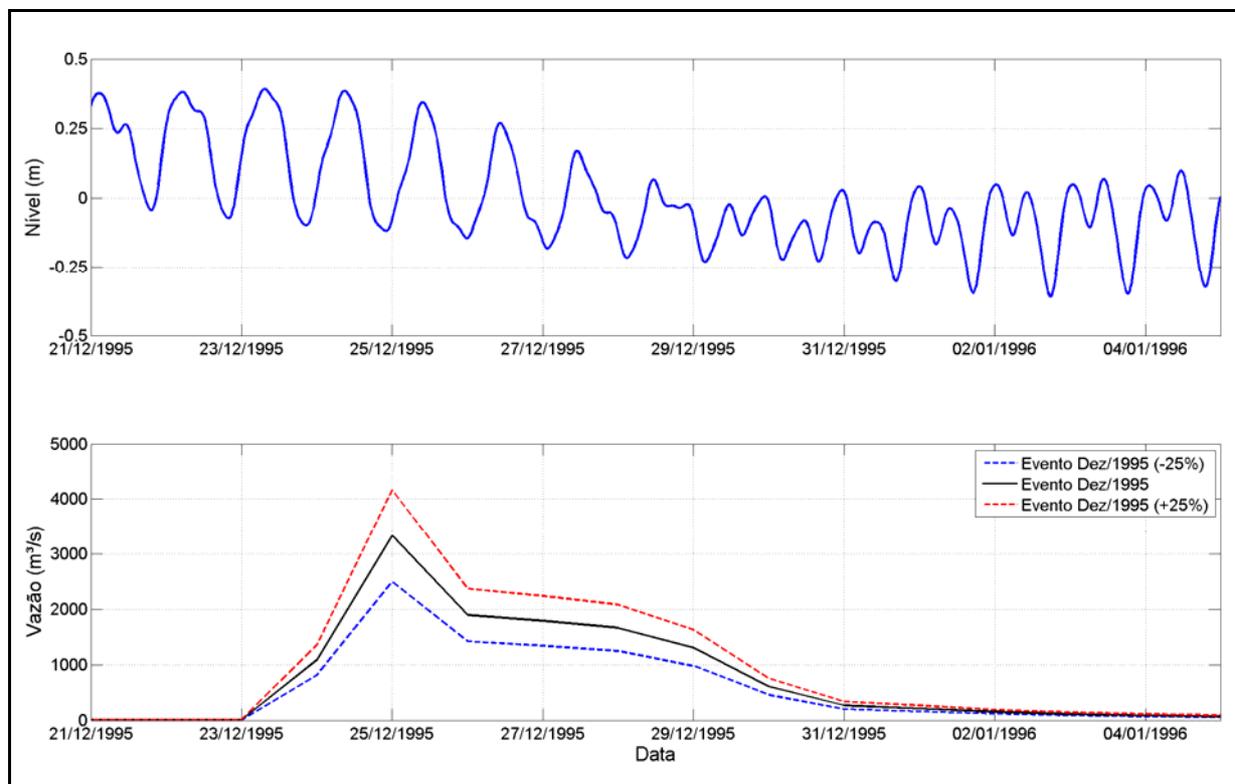


Figura 16 – Séries temporais de nível e vazão utilizadas nas simulações.

4. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA OBRA EM EVENTOS DE VAZÃO FLUVIAL EXTREMA (ENCHENTES)

Para analisar os efeitos das diferentes alternativas estruturais de fixação e aprofundamento da desembocadura do Rio Araranguá no sobrenível do rio durante eventos extremos, foram simuladas três séries temporais de vazão fluvial distintas para cada cenário batimétrico/estrutural proposto (4 cenários), totalizando 12 simulações, conforme indicado na Tabela 3. As séries temporais de vazão correspondem a eventos extremos de cheia, e são baseadas nos dados fluviométricos relativos à enchente de dezembro de 1995, conforme apresentado no item anterior.

Tabela 3 – Simulações conduzidas, contemplando os diferentes cenários batimétricos/estruturais e séries temporais de vazão.

Cenário	Eventos de vazão		
	Dez. 1995 (-25%)	Dez. 1995	Dez. 1995 (+25%)
Atual	Atual_Evento1	Atual_Evento2	Atual_Evento3
Alternativa 1	Alt1_Evento1	Alt1_Evento2	Alt1_Evento3
Alternativa 2	Alt2_Evento1	Alt2_Evento2	Alt2_Evento3
Alternativa 3	Alt3_Evento1	Alt3_Evento2	Alt3_Evento3

As simulações cobriram o período compreendido entre 21/12/1995 e 05/01/1996 (16 dias), contemplando o período anterior à enchente, com vazões fluviais relativamente baixas, o pico de vazão e sobrenível do rio (25/12/1995) e o período pós-enchente, no qual os valores de vazão diminuem ao longo do tempo (Tabela 2, Figura 16).

No contorno externo (oceano) o modelo foi forçado com variações de nível d'água obtidas a partir das constantes harmônicas de marés fornecidas por FEMAR (2000).

Entre os resultados das simulações apresentados neste documento estão incluídos mapas de elevação da superfície da água associado a cada evento e cenário batimétrico/estrutural proposto, bem como comparações de séries temporais de nível da água em pontos de controle pré-definidos ao longo da área de estudo (Figura 17).

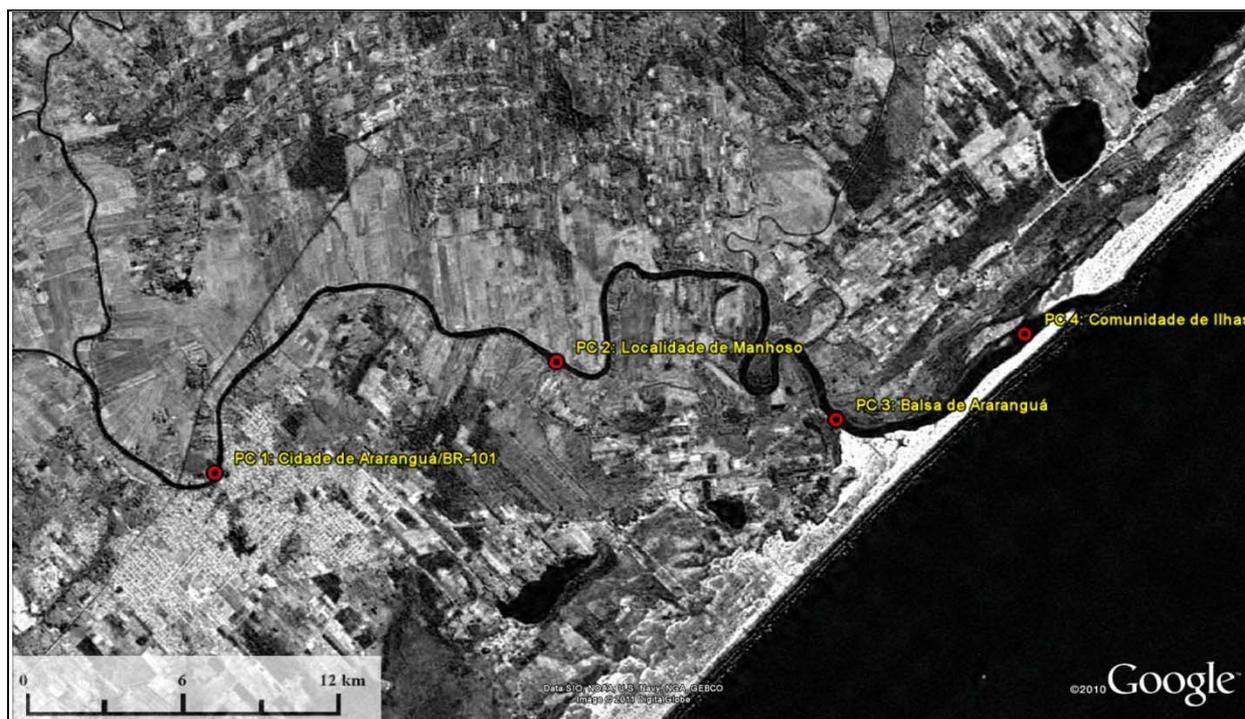


Figura 17 – Pontos de controle pré-definidos para análise da variação do nível da água ao longo do tempo de simulação.

4.1 EVENTO 1 - DEZ. 1995 (-25%)

O Evento 1 possui como forçante fluvial a série temporal de vazão da enchente de 1995 diminuída em 25%, conforme explicado no Capítulo 3.2.6.

Da Figura 19 até a Figura 30 são apresentados os mapas de elevação da superfície da água ao longo da área de estudo. Para cada cenário batimétrico/estrutural considerado foram geradas imagens em 3 diferentes tempos de simulação, indicados na Figura 18.

- O primeiro mapa é relativo ao dia 23/12/1995, e representa o início do evento extremo de vazão (anterior à enchente).
- O segundo mapa de elevação da superfície da água é associado ao pico de vazão/cota fluvial (25/12/1995).
- O terceiro mapa representa a condição após o máximo da enchente (28/12/1995), em momento de diminuição do nível de água.

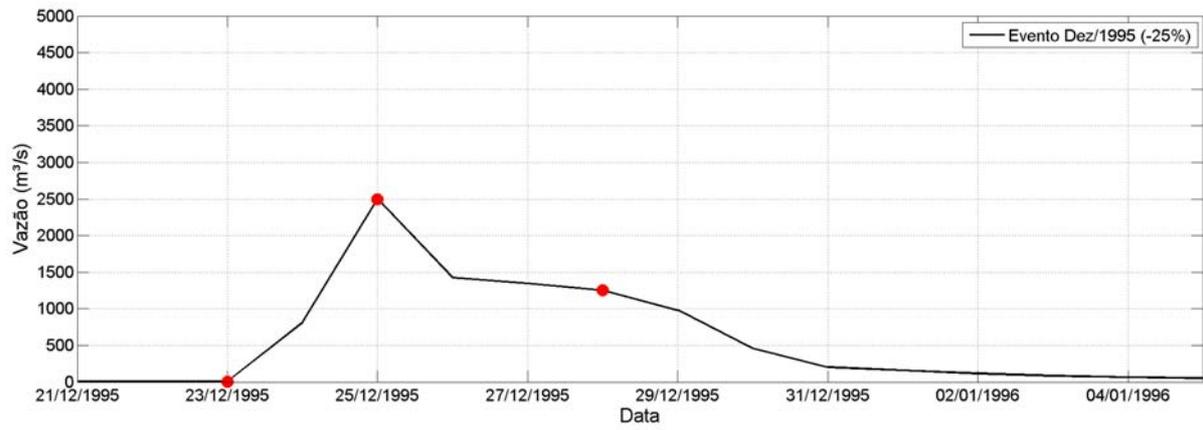


Figura 18 – Série temporal de vazão do evento 1 e os tempos seleccionados (pontos em vermelho) para gerar os mapas de nível de água.

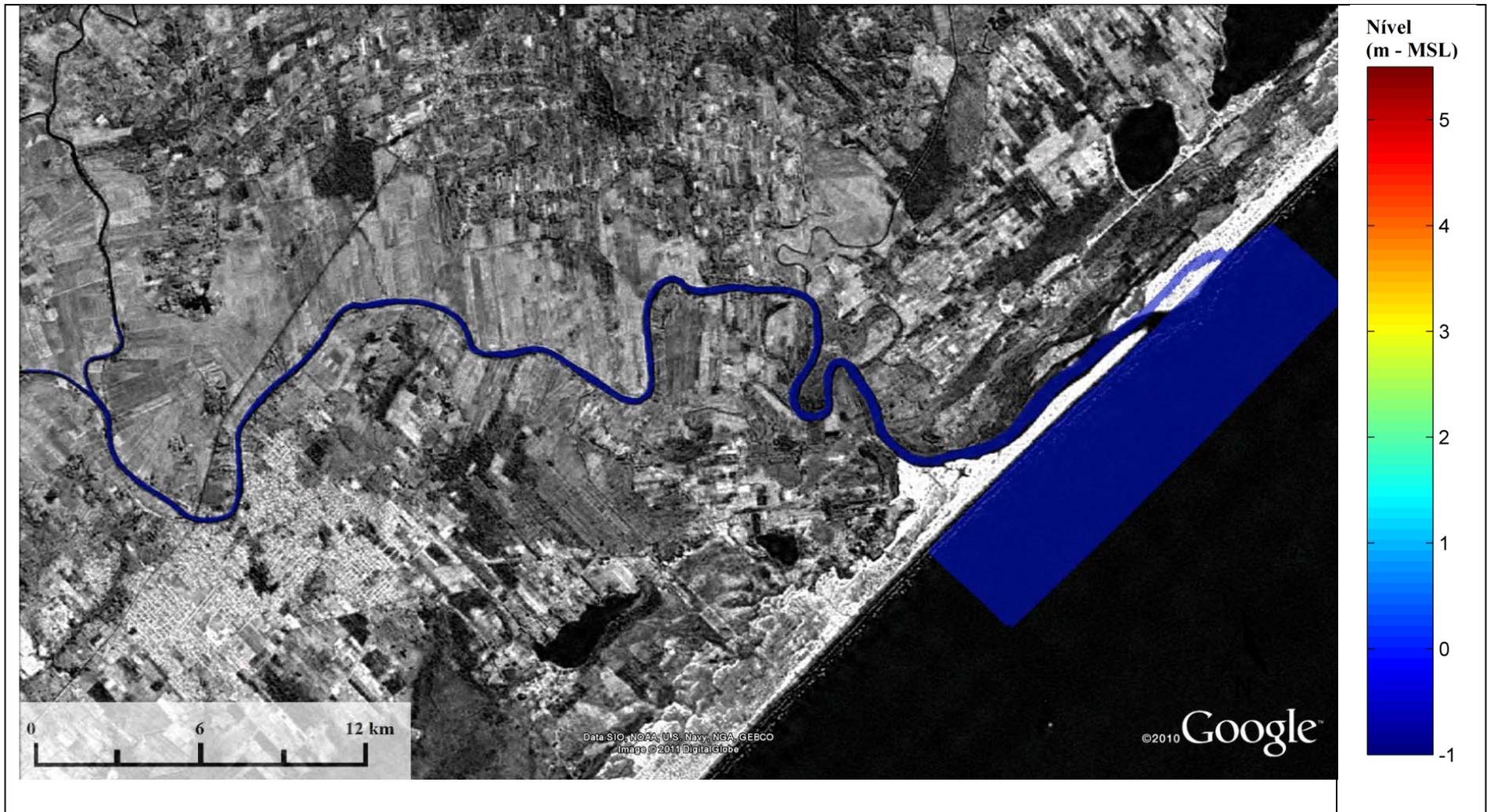


Figura 19 – Nível da água do cenário Atual_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).

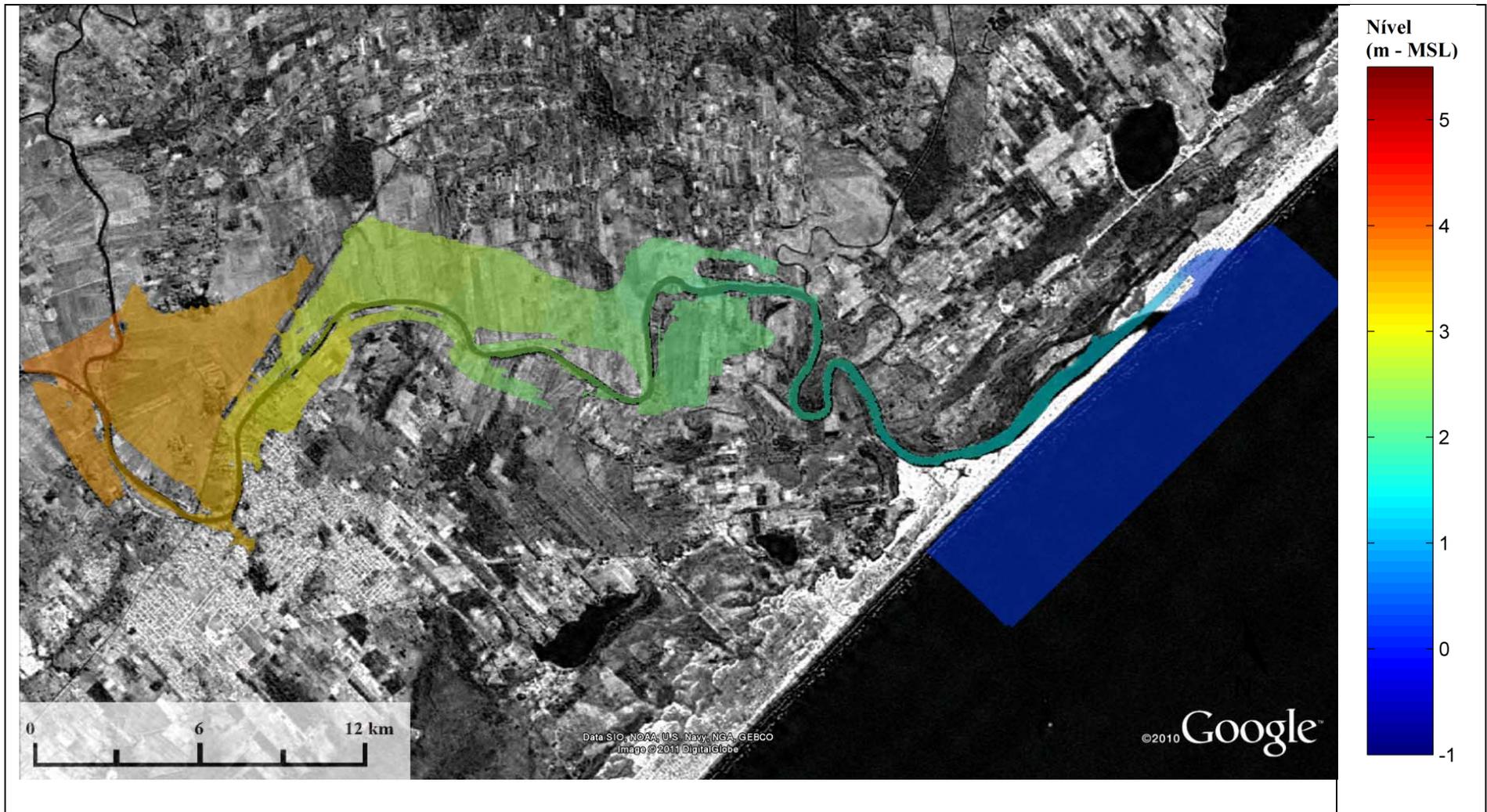


Figura 20 – Nível da água para o cenário Atual_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).

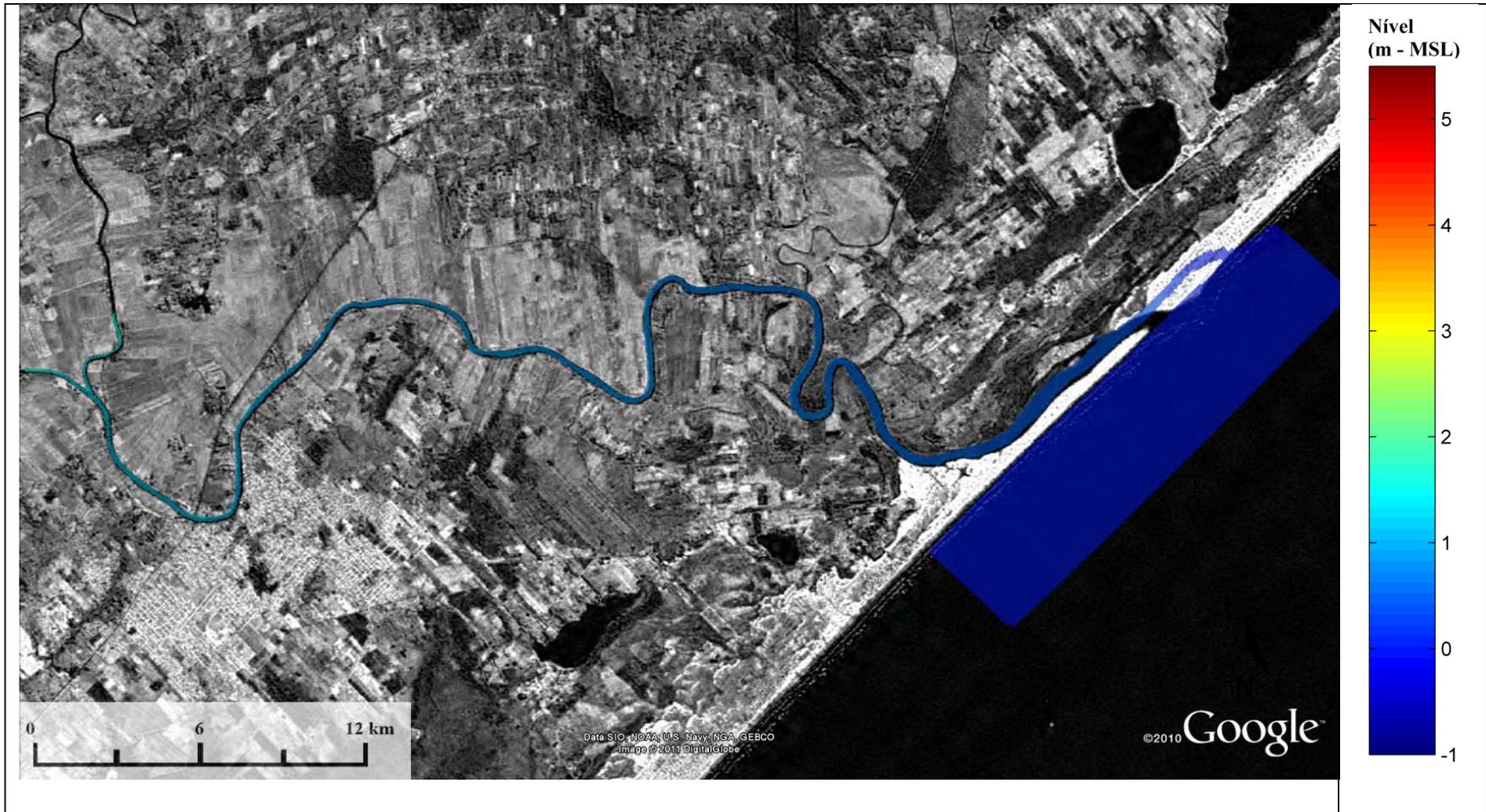


Figura 21 – Nível da água para o cenário Atual_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).

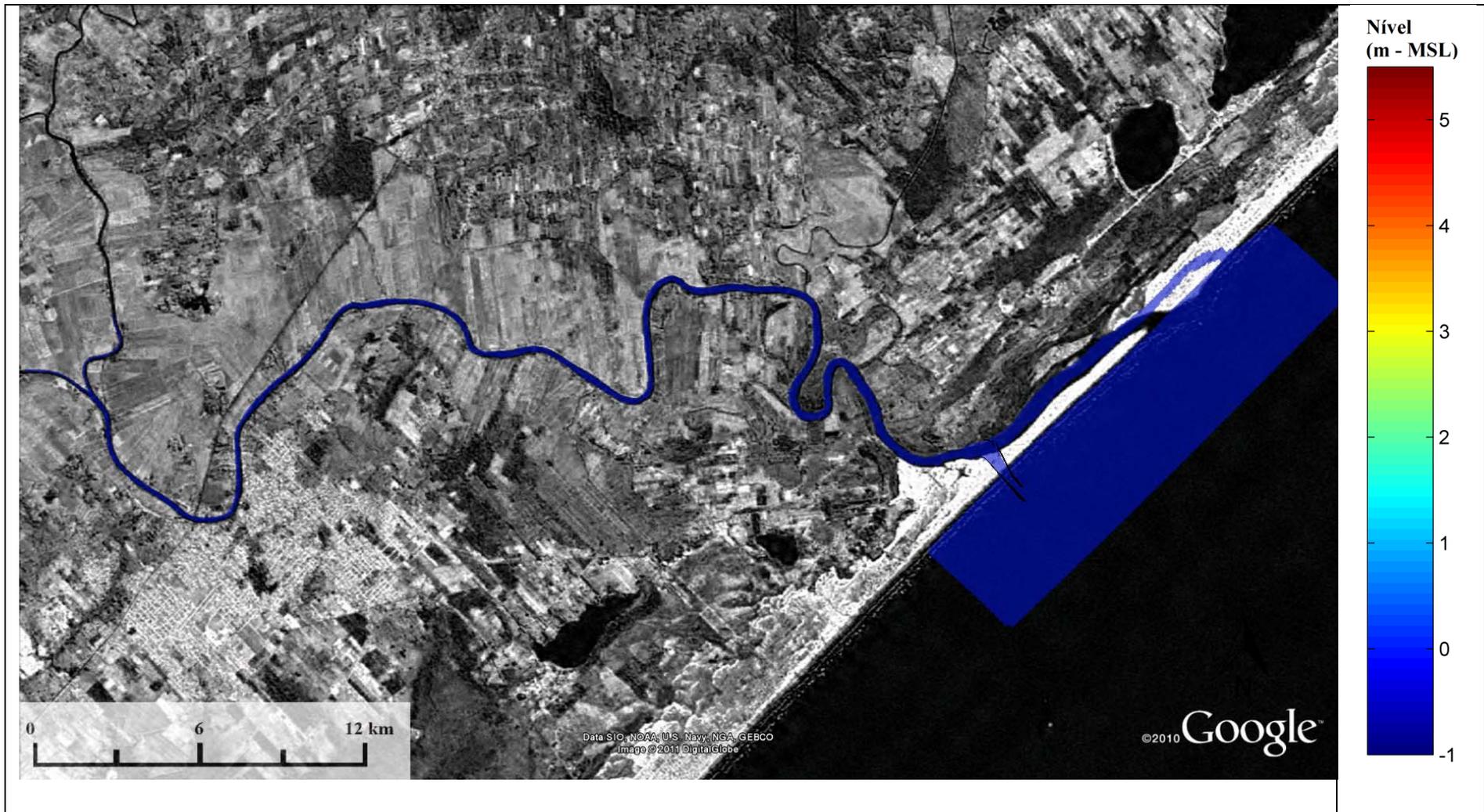


Figura 22 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).

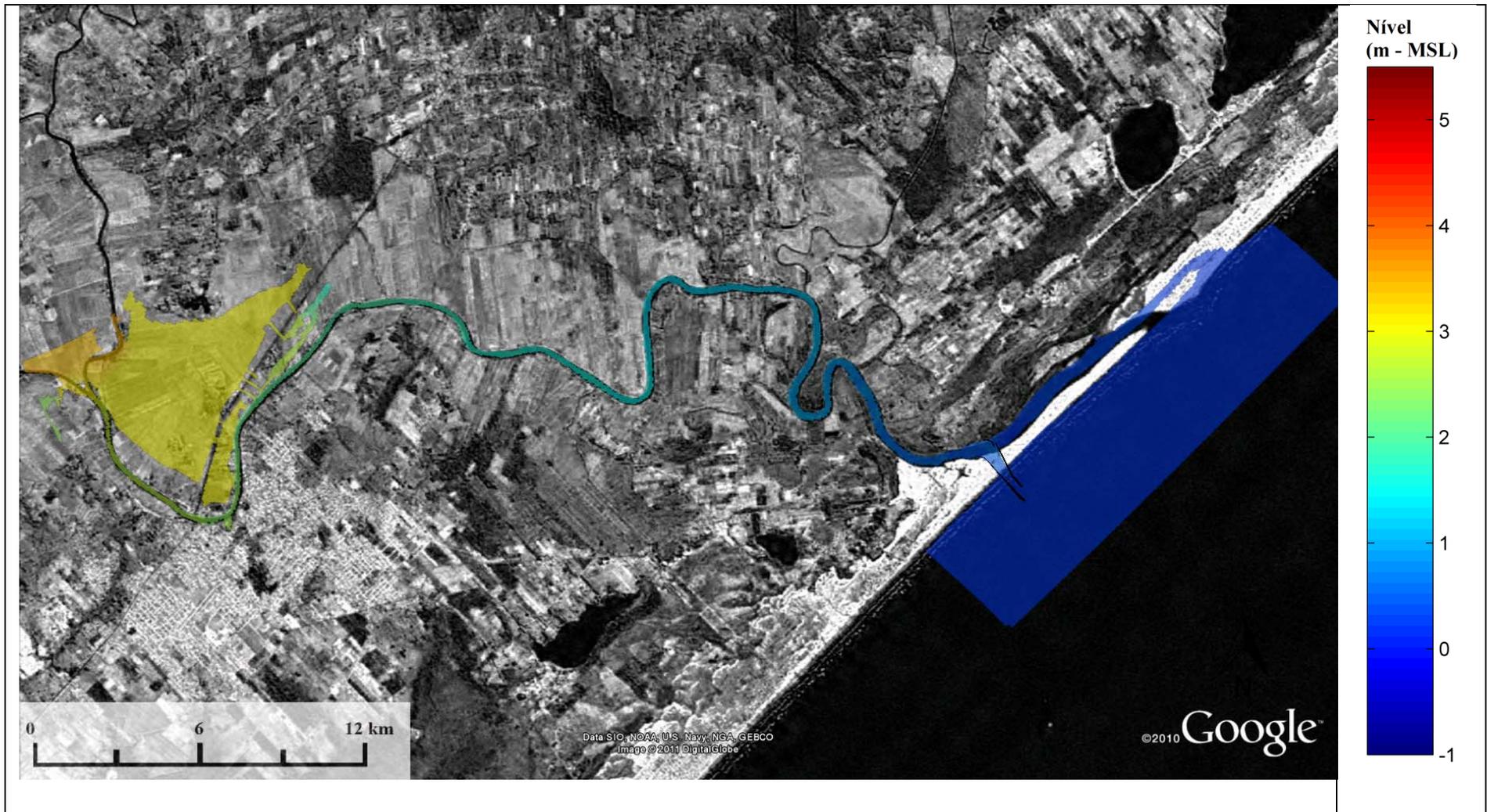


Figura 23 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).

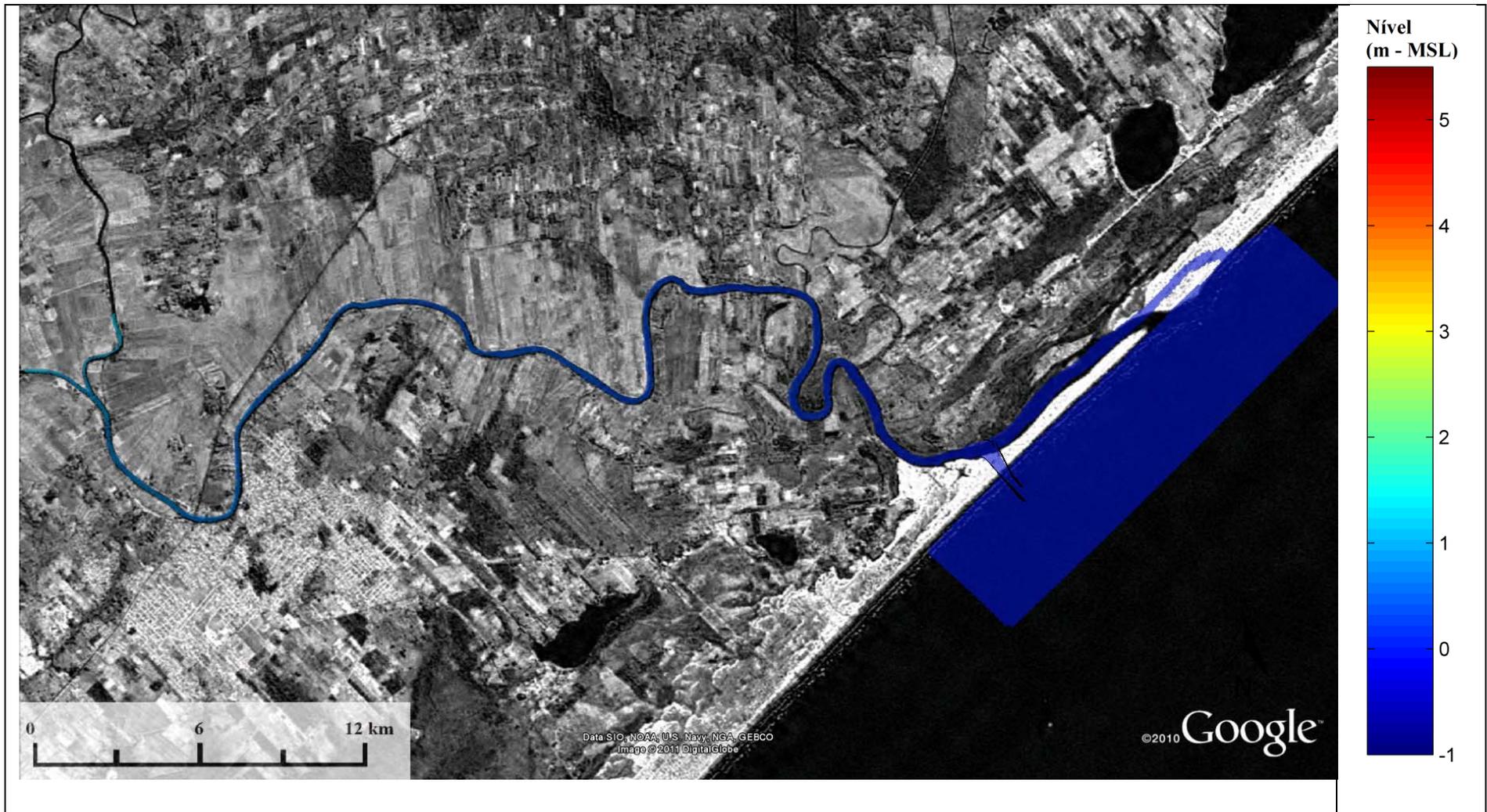


Figura 24 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).

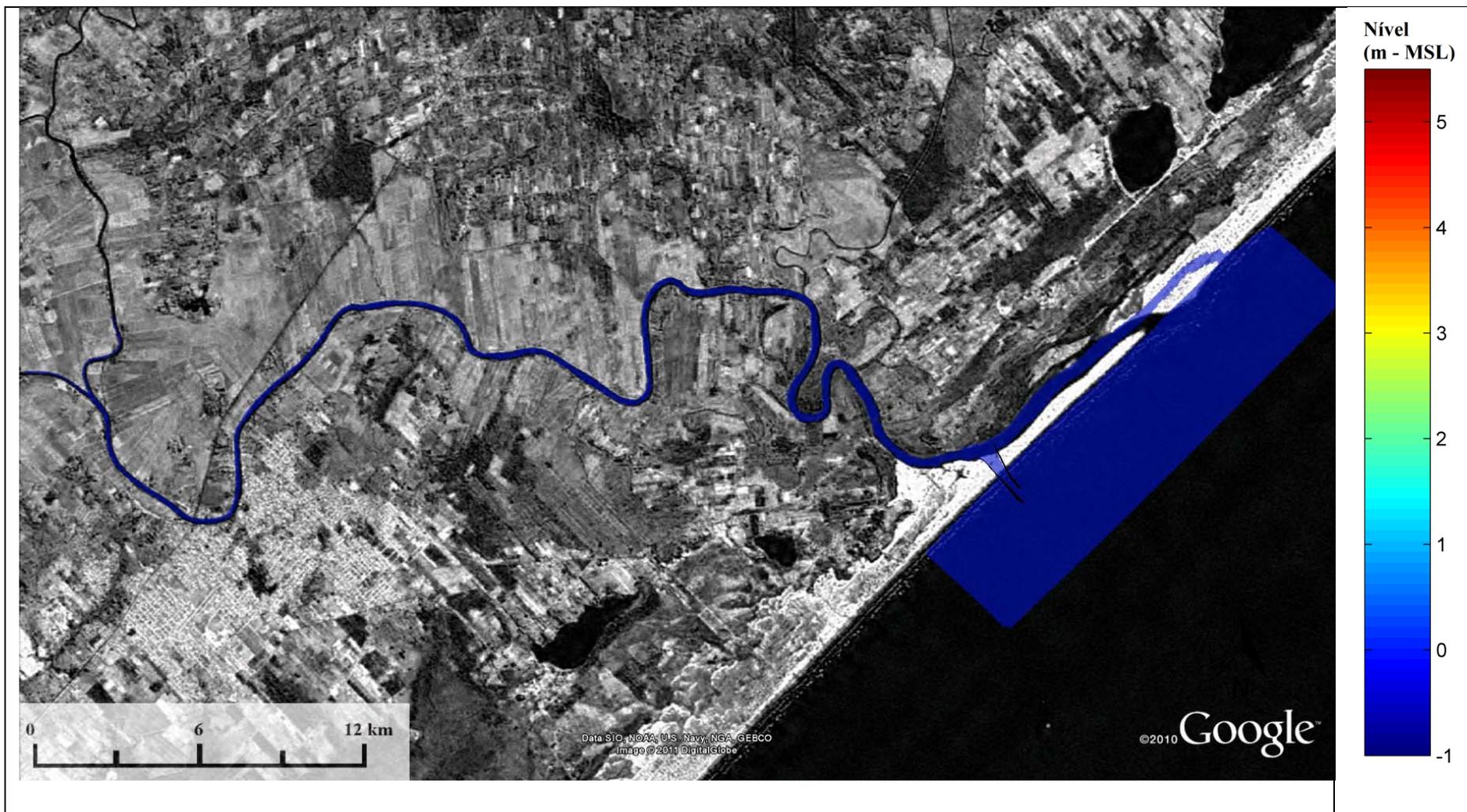


Figura 25 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).

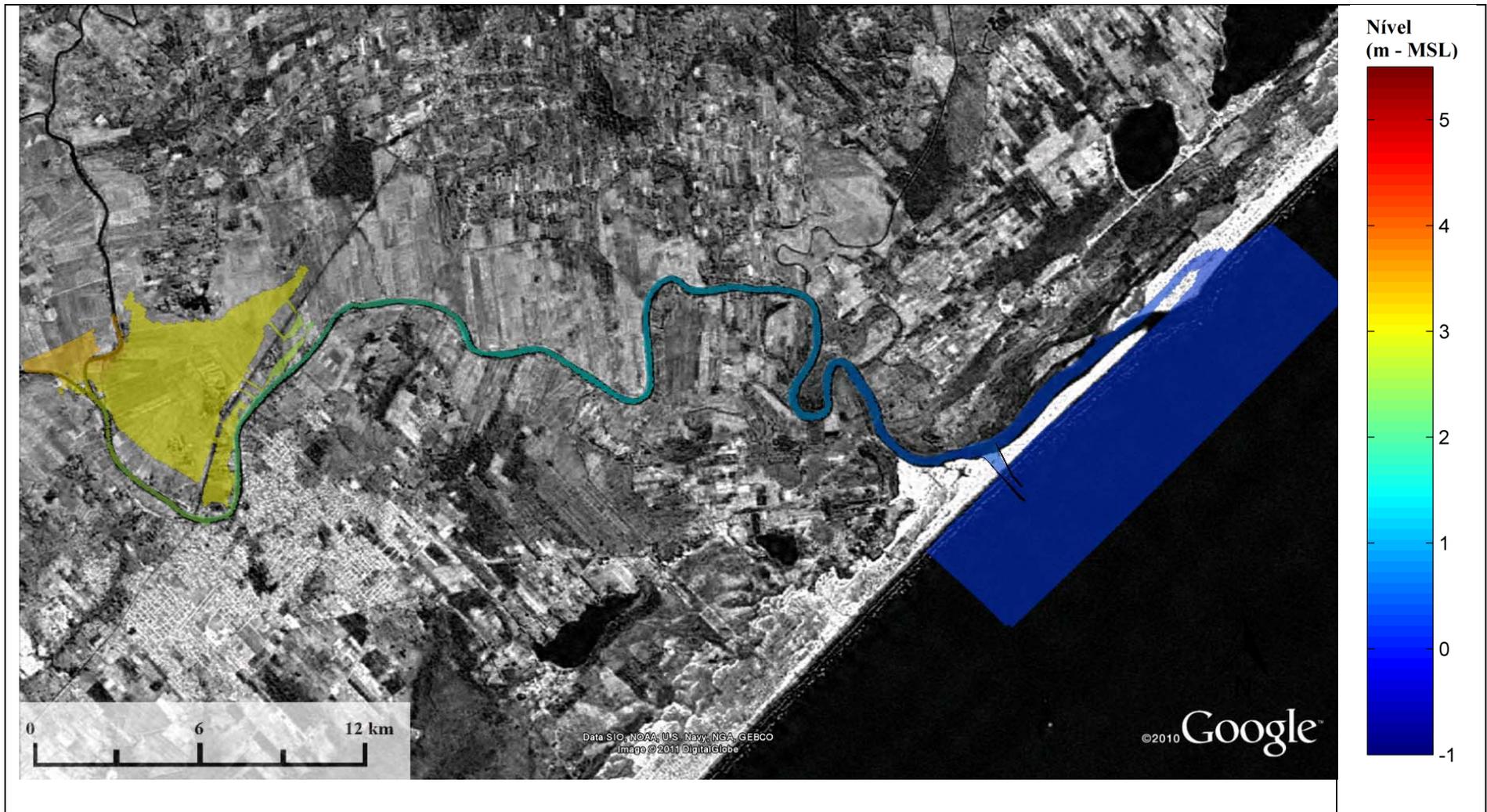


Figura 26 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).

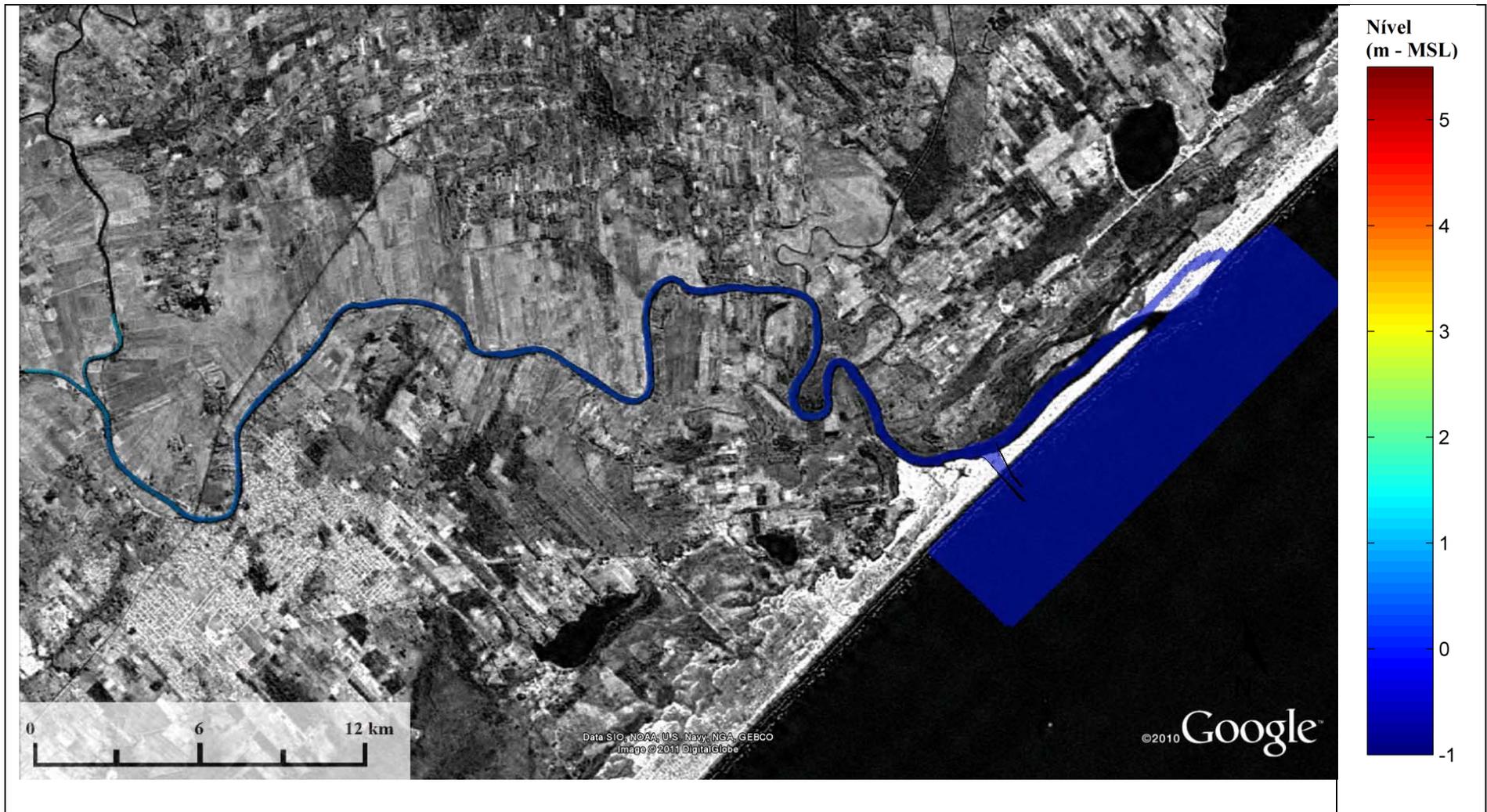


Figura 27 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).

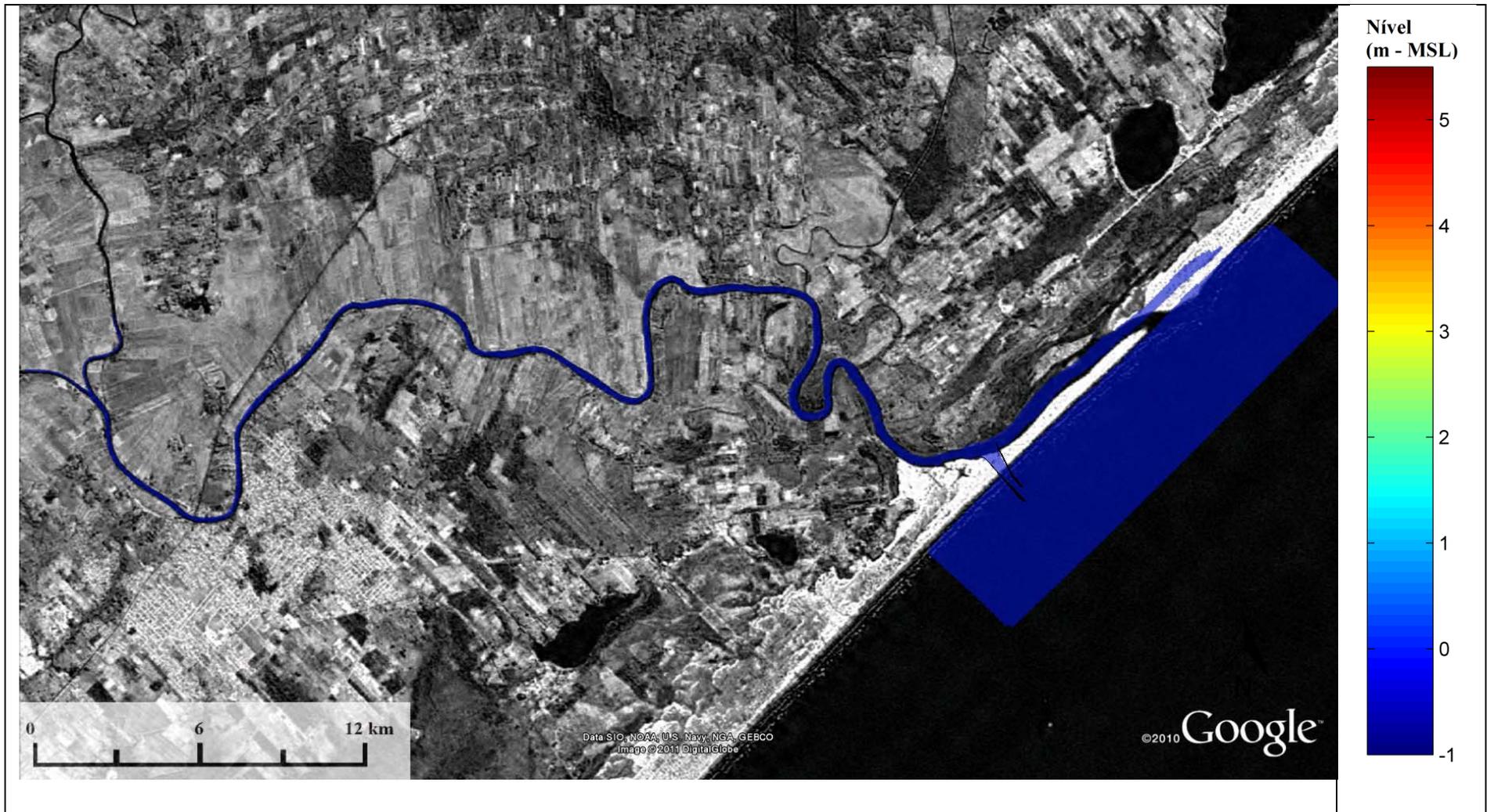


Figura 28 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento1, dia 23/12/1995 (tempo 1).

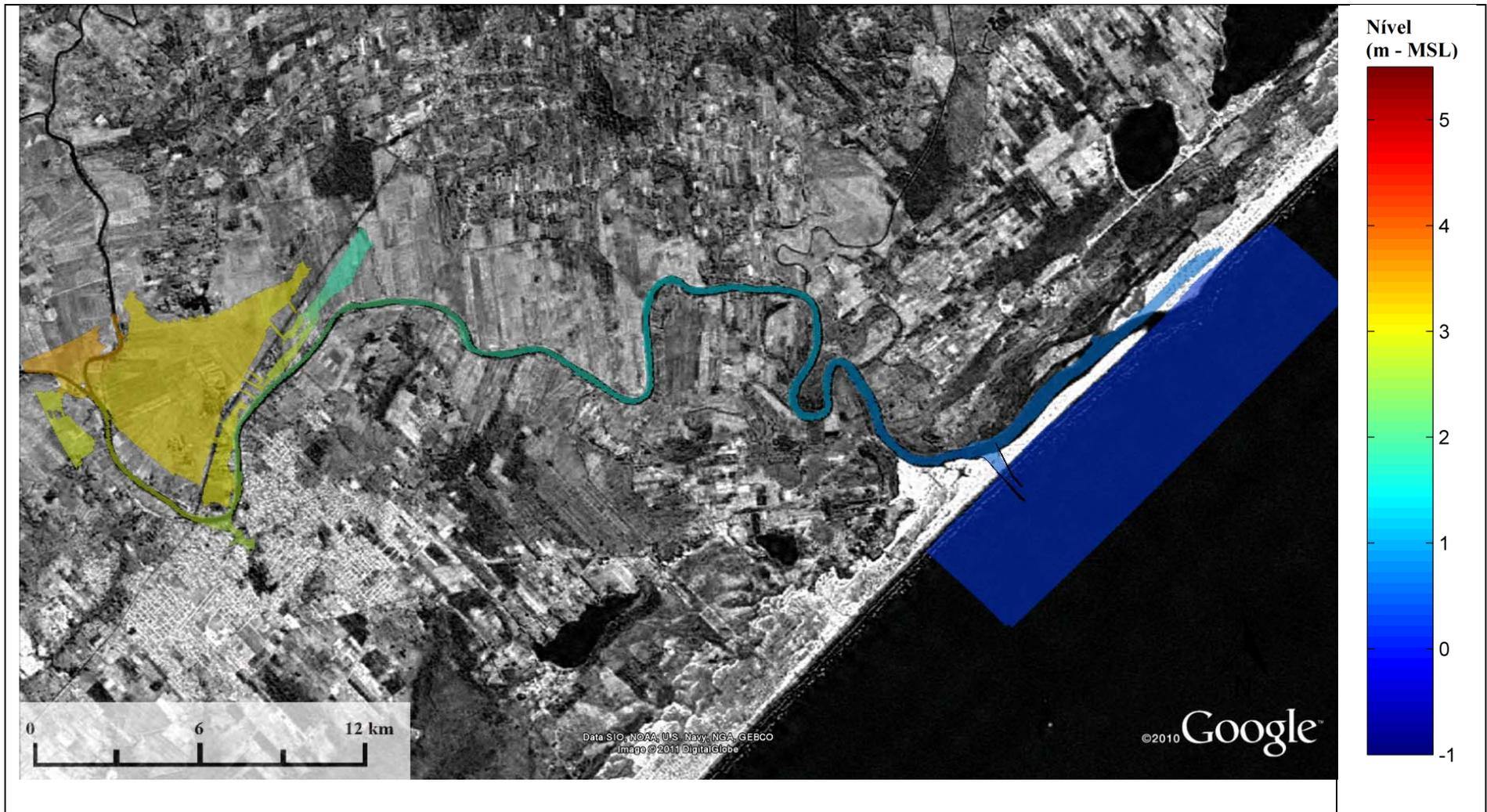


Figura 29 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento1, dia 25/12/1995 (tempo 2).

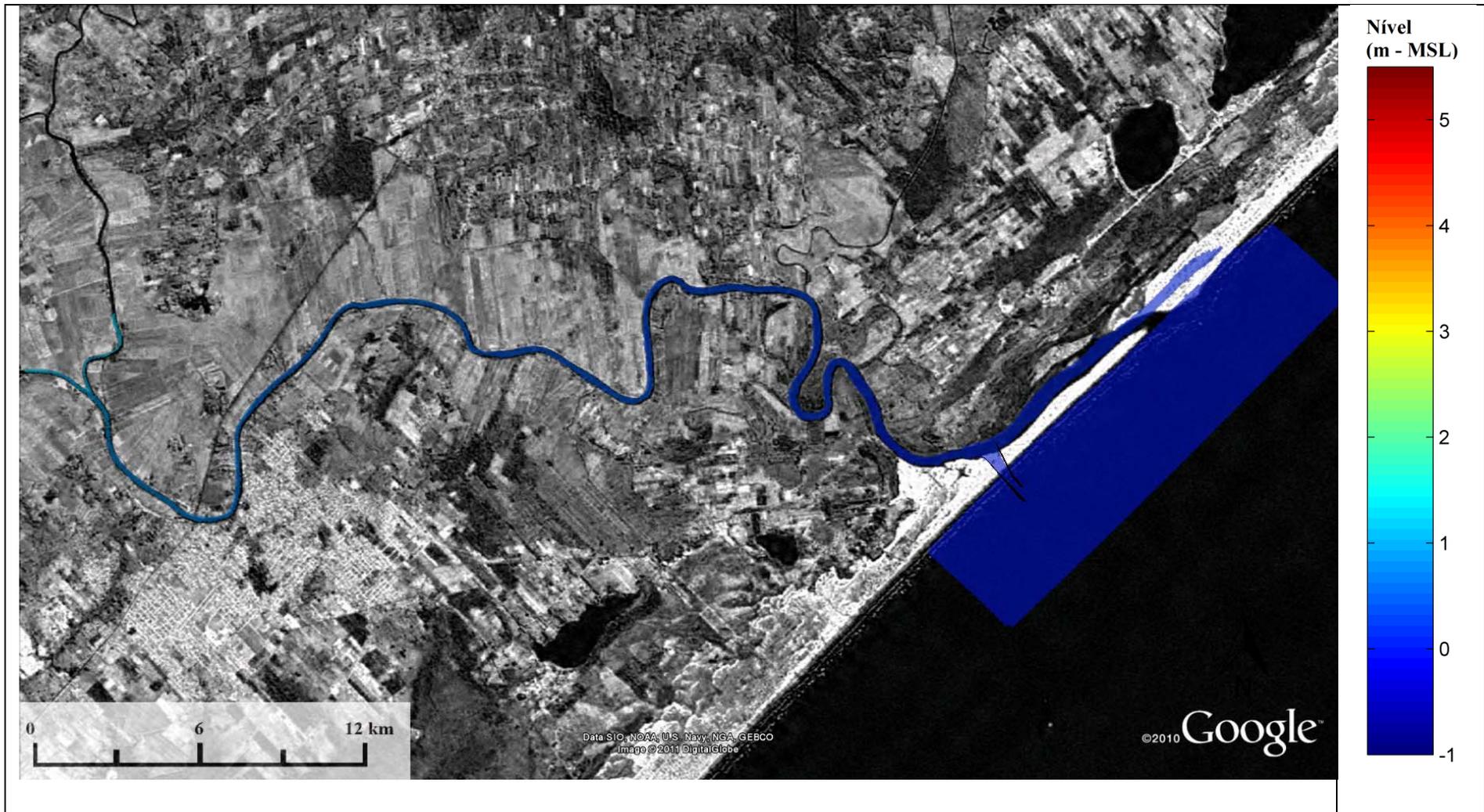


Figura 30 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento1, dia 28/12/1995 (tempo 3).

Da Figura 31 até a Figura 38 são apresentados os gráficos das séries temporais de elevação da superfície da água associadas aos pontos de controle indicados na Figura 17, assim como as diferenças entre as séries temporais de cada alternativa em relação ao cenário atual. A comparação das séries de nível entre os cenários batimétricos/estruturais (atual e alternativas) indica o efeito causado pela obra de fixação da barra do Rio Araranguá no escoamento fluvial durante o evento de vazão extrema.

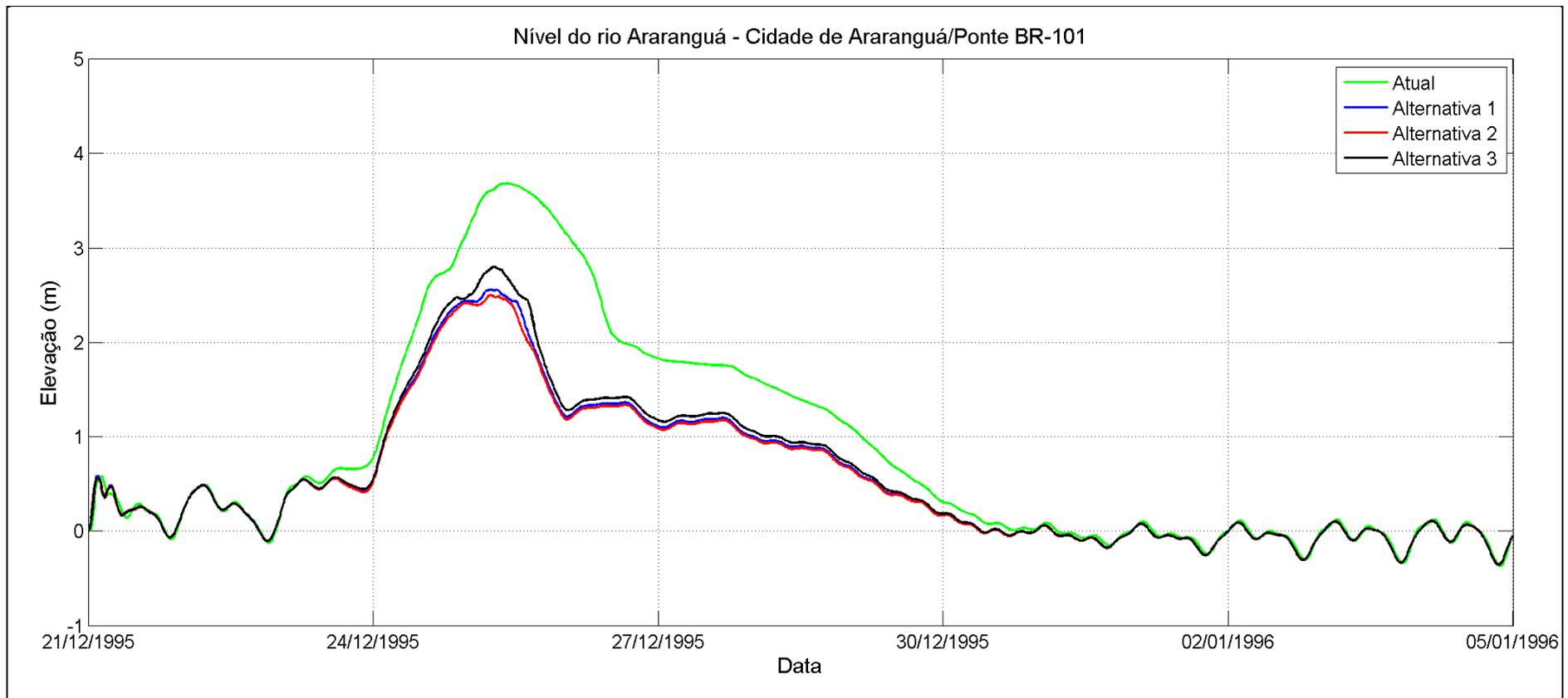


Figura 31 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC1 - Cidade de Araranguá/Ponte BR-101.

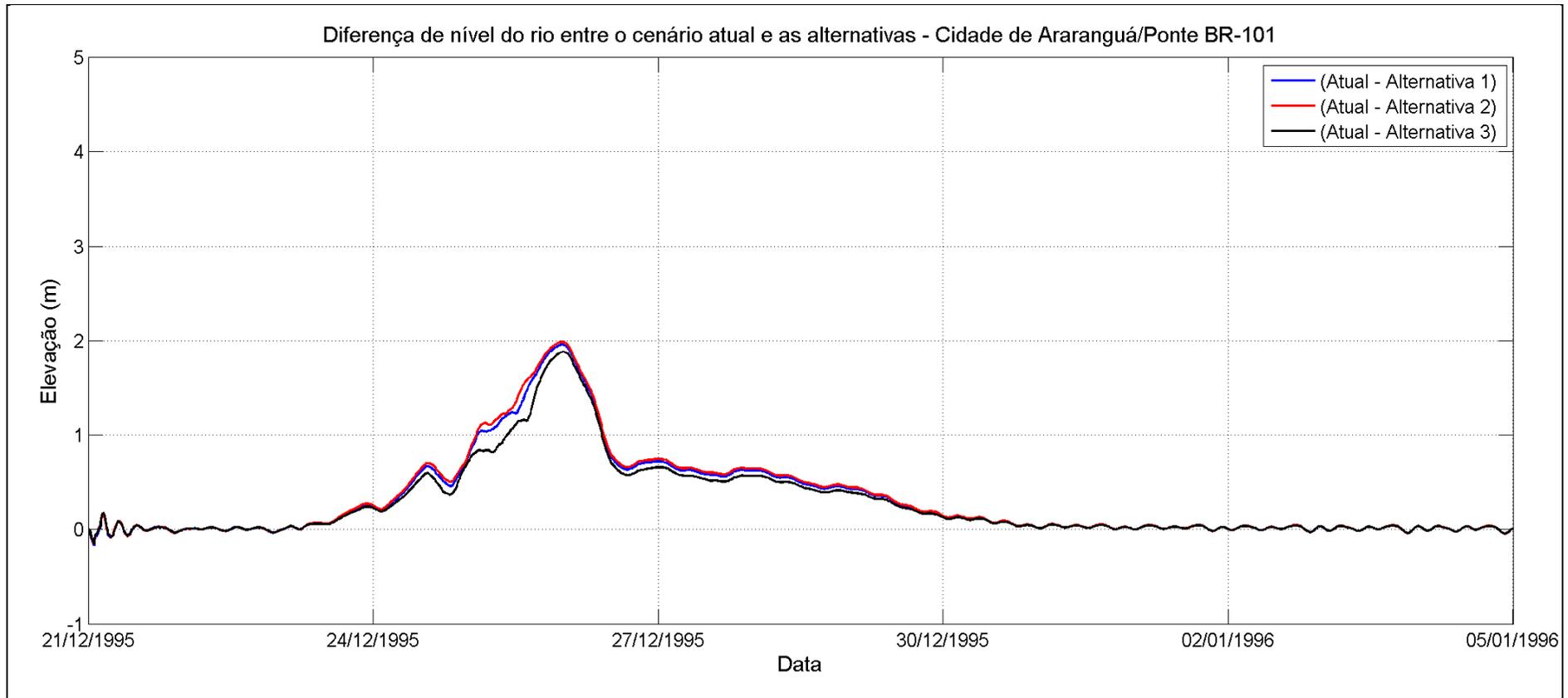


Figura 32 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à cidade de Araranguá/BR-101, para as simulações do evento 1.

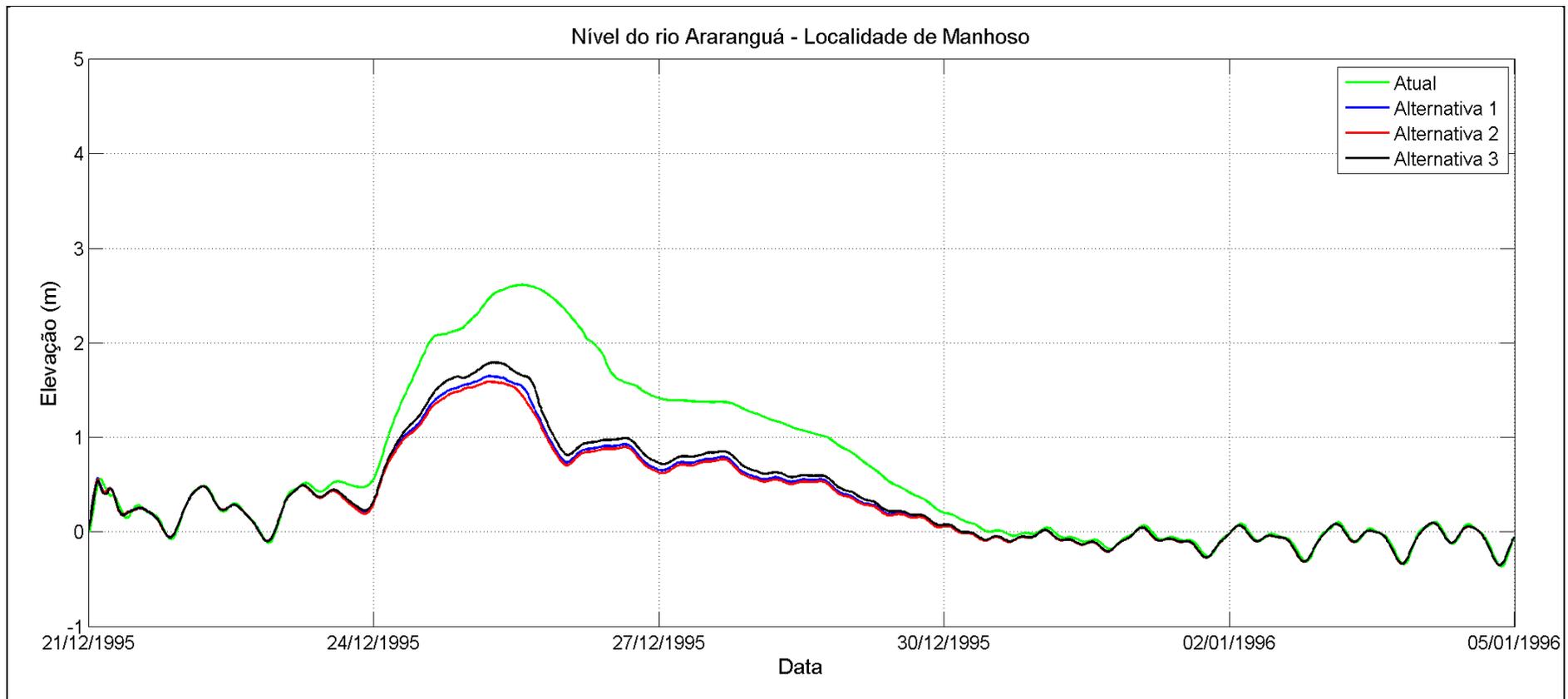


Figura 33 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC2 - Localidade de Manhoso.

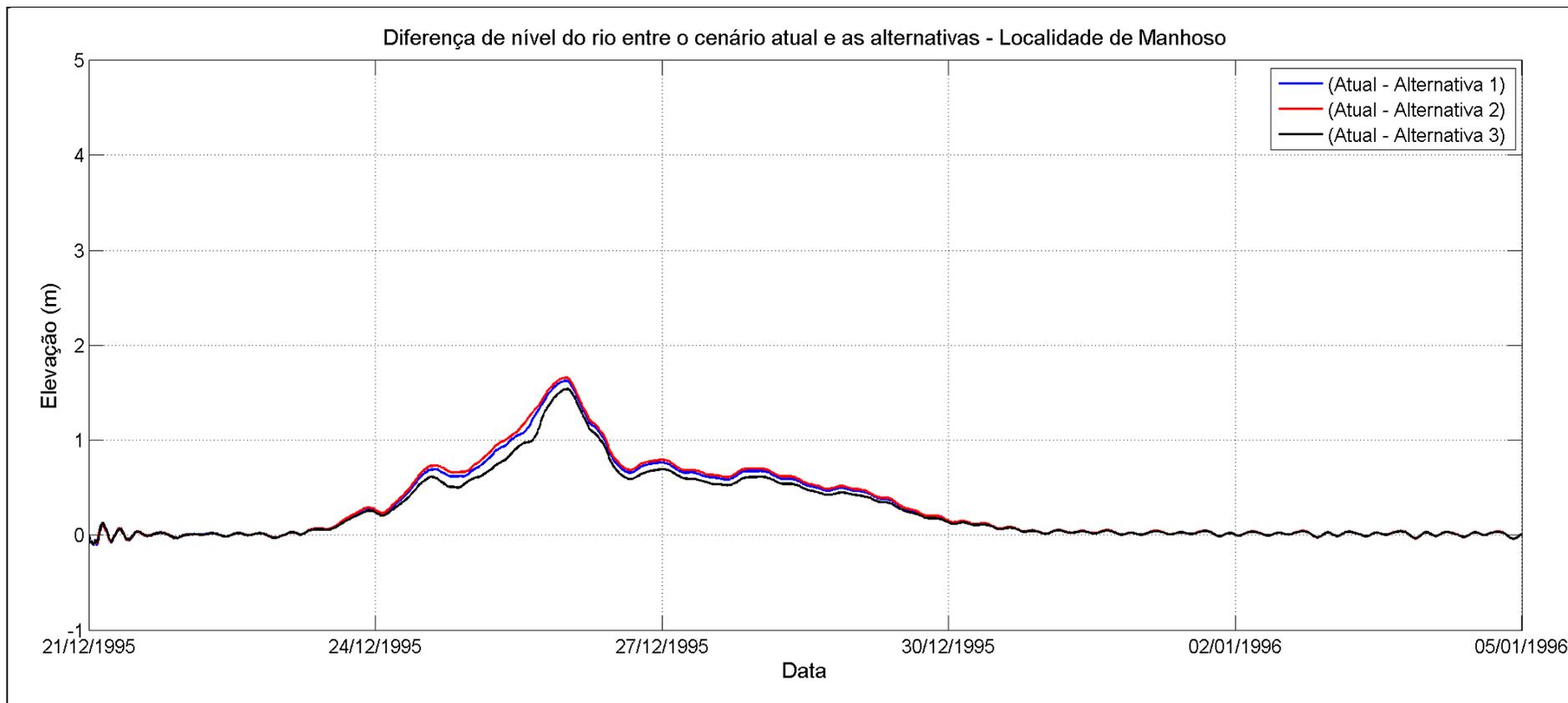


Figura 34 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à localidade de Manhoso, para as simulações do evento 1.

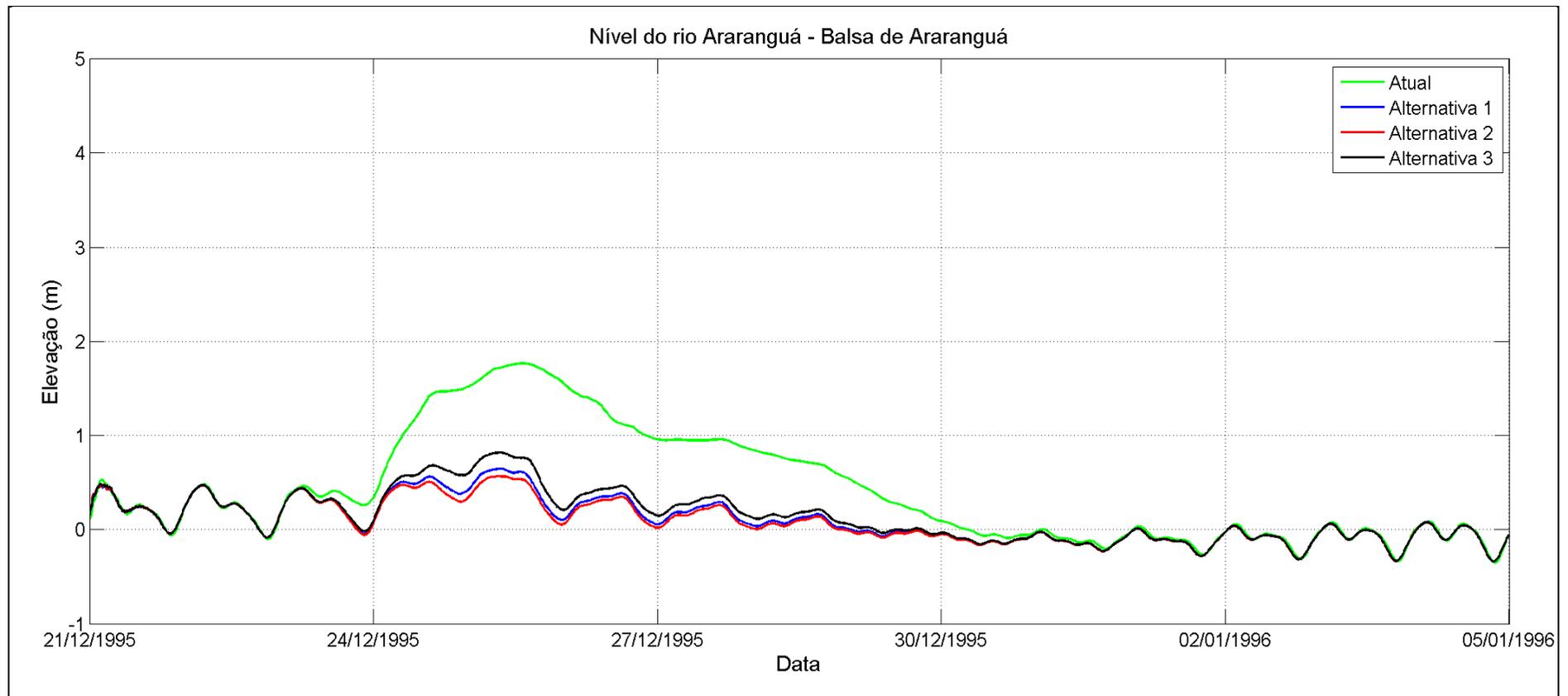


Figura 35 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC3 - Balsa de Araraguá.

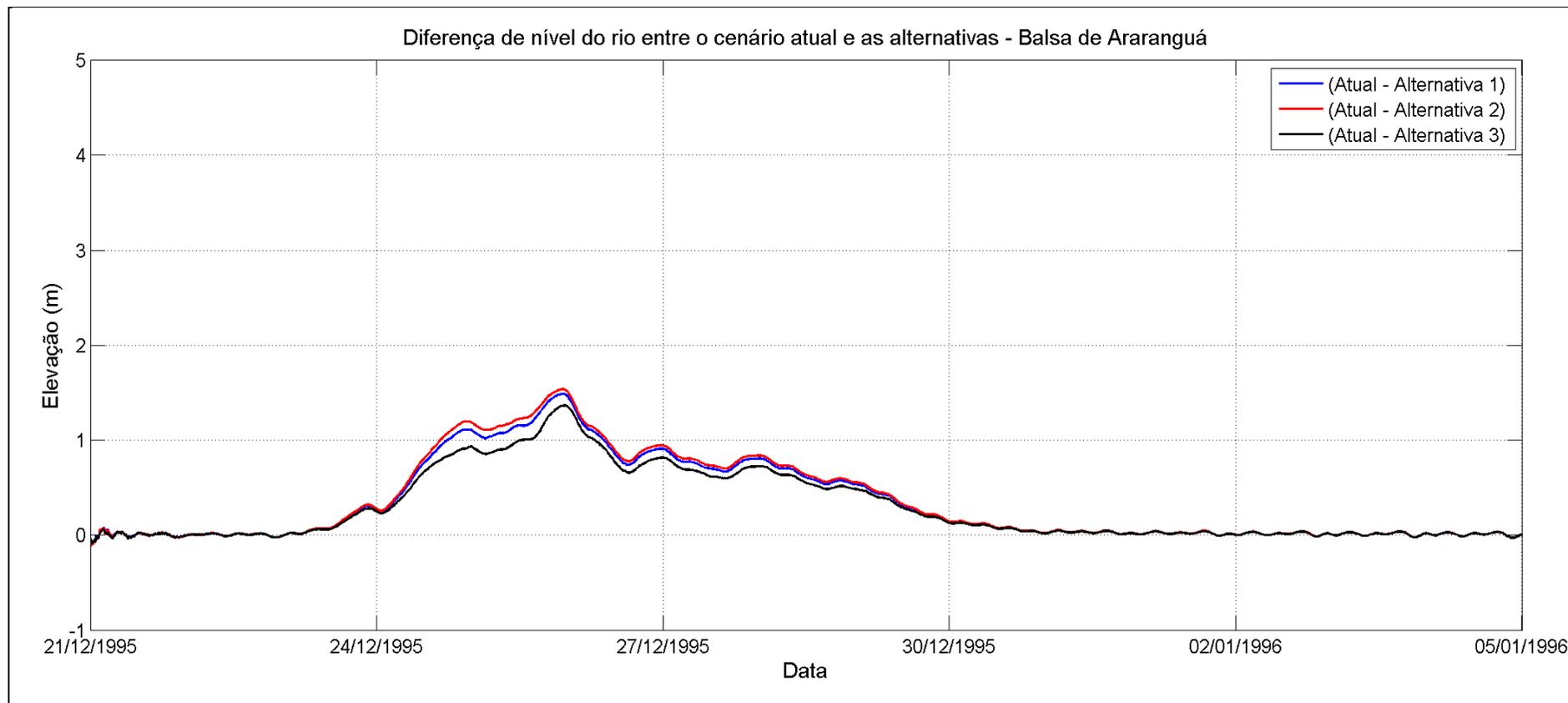


Figura 36 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à balsa de Araranguá, para as simulações do evento 1.

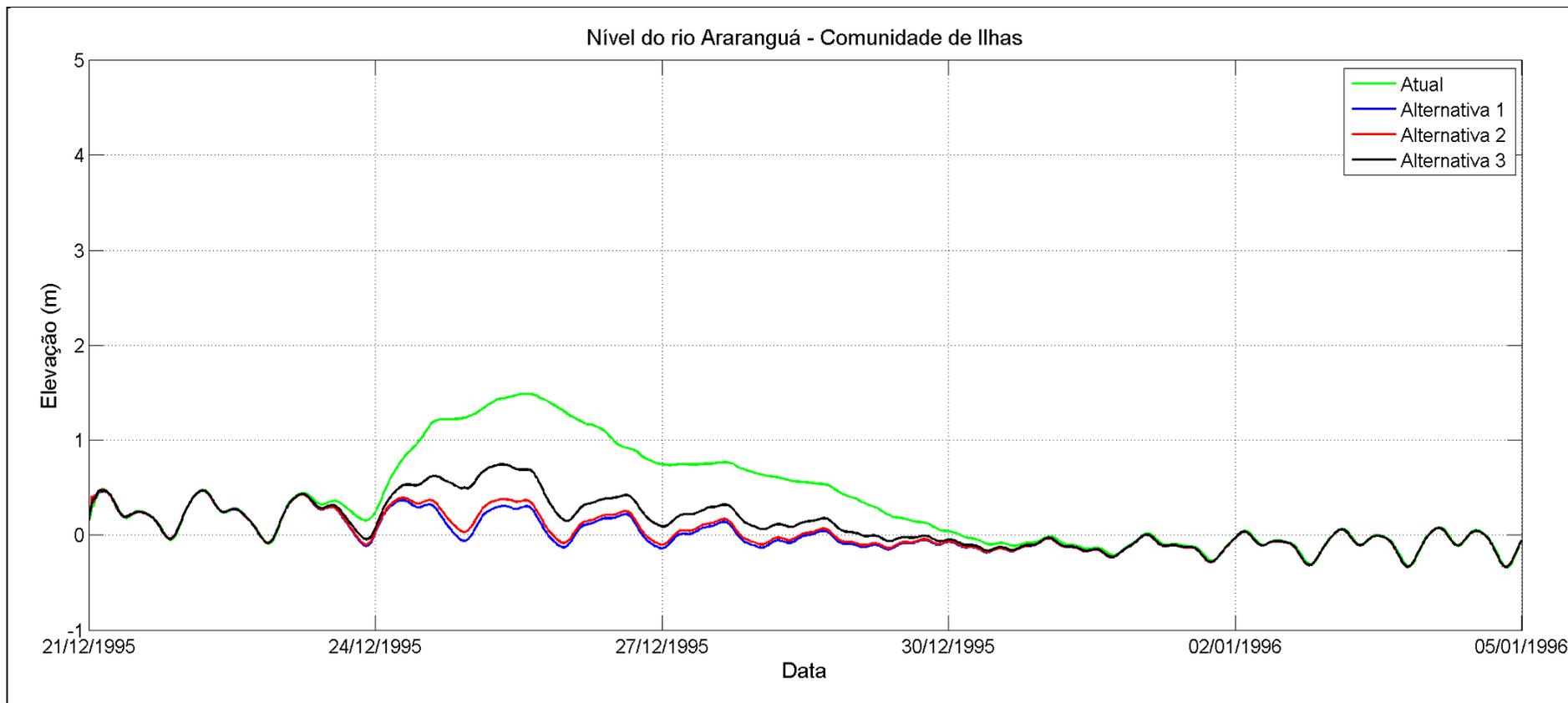


Figura 37 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 1, PC4 - Comunidade de Ilhas.

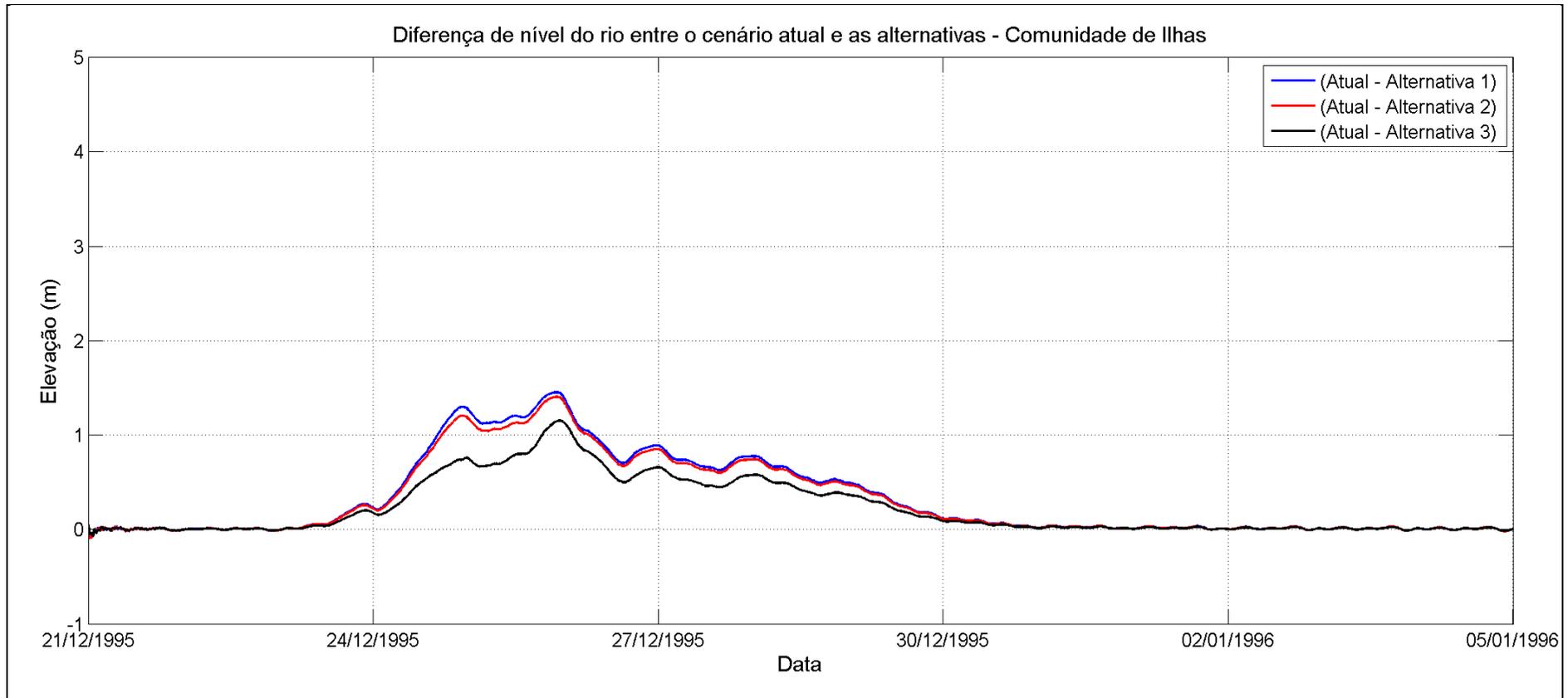


Figura 38 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à Comunidade de Ilhas, para as simulações do evento 1.

A comparação entre os mapas de elevação da superfície da água para o Evento 1 indicam diferenças entre o cenário atual e as 3 alternativas propostas (Figura 19 a Figura 30). No cenário atual, uma grande área adjacente à margem do Rio Araranguá é alagada durante o pico de vazão (tempo 2), enquanto que nas alternativas essa área fica limitada à região próxima à BR-101. Comparando os mapas de inundações das alternativas propostas, não são observadas diferenças significativas entre a alternativa 1, 2 e 3.

A comparação das séries temporais de elevação da superfície da água ao longo dos pontos de controle mostra que existe uma diminuição do nível do rio com as três alternativas estudadas em relação aos resultados do cenário atual. Adicionalmente nota-se um maior escoamento da enchente após o pico de vazão do evento, baixando o nível d'água mais rapidamente ao longo dos rios Araranguá, Itoupava e Mãe Luzia.

As séries temporais de elevação da superfície da água associadas ao Ponto de Controle 1 - próximo à cidade de Araranguá e à Ponte da BR-101 (Figura 31) indicam um sobrenível máximo de aproximadamente 3,5 m associado ao cenário atual. Os resultados da simulação do Evento 1 considerando as alternativas indicam sobrenível máximo de aproximadamente 2,8 m na região da cidade de Araranguá/ponte BR-101. As máximas diferenças entre as séries temporais de elevação associadas às alternativas e ao cenário atual ficam na faixa de 2 m (Figura 32).

No Ponto de Controle 2 (localidade de Manhoso), as máximas elevações da superfície da água durante o Evento 1 foram de aproximadamente 2,6 m para o cenário atual e 1,7 m para as alternativas (Figura 33). As séries temporais de nível do rio no cenário atual e com as alternativas (Figura 34) indicaram diferenças máximas de aproximadamente 1,6 m.

No Ponto de Controle 3 - Balsa de Araranguá - as máximas elevações ao longo do período simulado considerando o Evento 1 foram de aproximadamente 1,8 m (cenário atual) e 0,8 m (alternativas) (Figura 35). As máximas diferenças de nível entre o cenário atual e as alternativas foram de aproximadamente 1,5 m (Figura 36).

No Ponto de Controle 4, próximo à Comunidade de Ilhas, as máximas elevações da superfície da água observadas ao longo das simulações do Evento 1 são de aproximadamente 1,5 m (cenário atual) e 0,8 m (alternativas) (Figura 37). As diferenças máximas entre os níveis associados às alternativas e ao cenário atual são de aproximadamente 1,4 m (Figura 38).

A alternativa 3, de maneira geral, mostrou benefícios inferiores em relação às outras duas

alternativas (1 e 2), na ordem de 0,1 a 0,5 m (variando no tempo e ao longo do rio). As diferenças entre as alternativas 1 e 2 são pequenas e podem ser desprezadas.

4.2 EVENTO 2 - DEZ. 1995

O Evento 2 possui como forçante fluvial a série temporal de vazão da enchente de 1995, como explicado no Capítulo 3.2.6.

Da Figura 40 até a Figura 51 são apresentados os mapas de elevação da superfície da água ao longo da área de estudo. Para cada cenário batimétrico/estrutural considerado foram geradas imagens em 3 diferentes tempos de simulação, indicados na Figura 39.

- O primeiro mapa é relativo ao dia 23/12/1995, e representa o início do evento extremo de vazão (anterior à enchente).
- O segundo mapa de elevação da superfície da água é associado ao pico de vazão fluvial (25/12/1995).
- O terceiro mapa representa a condição após a enchente (28/12/1995) em momento de diminuição do nível de água.

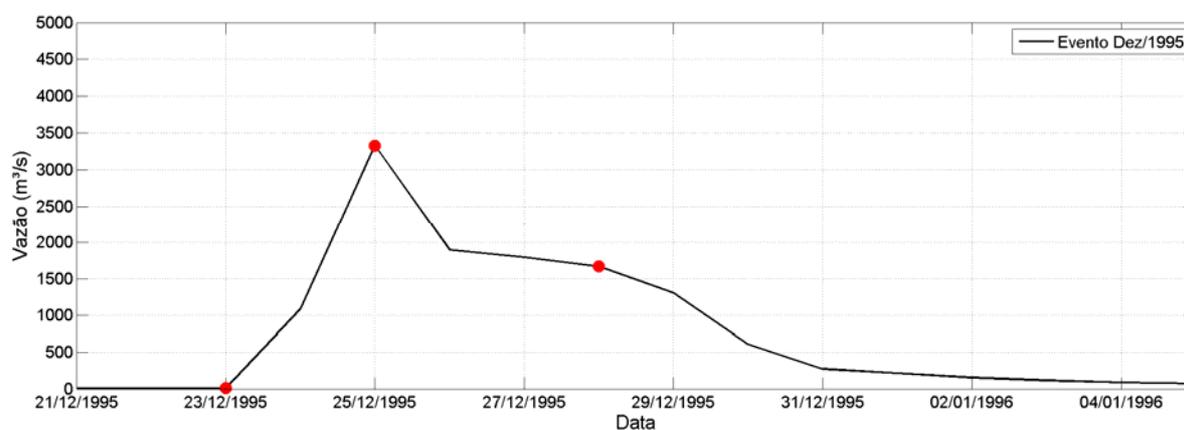


Figura 39 – Série temporal de vazão do Evento 2 e os tempos selecionados (pontos em vermelho) para gerar os mapas de nível de água.

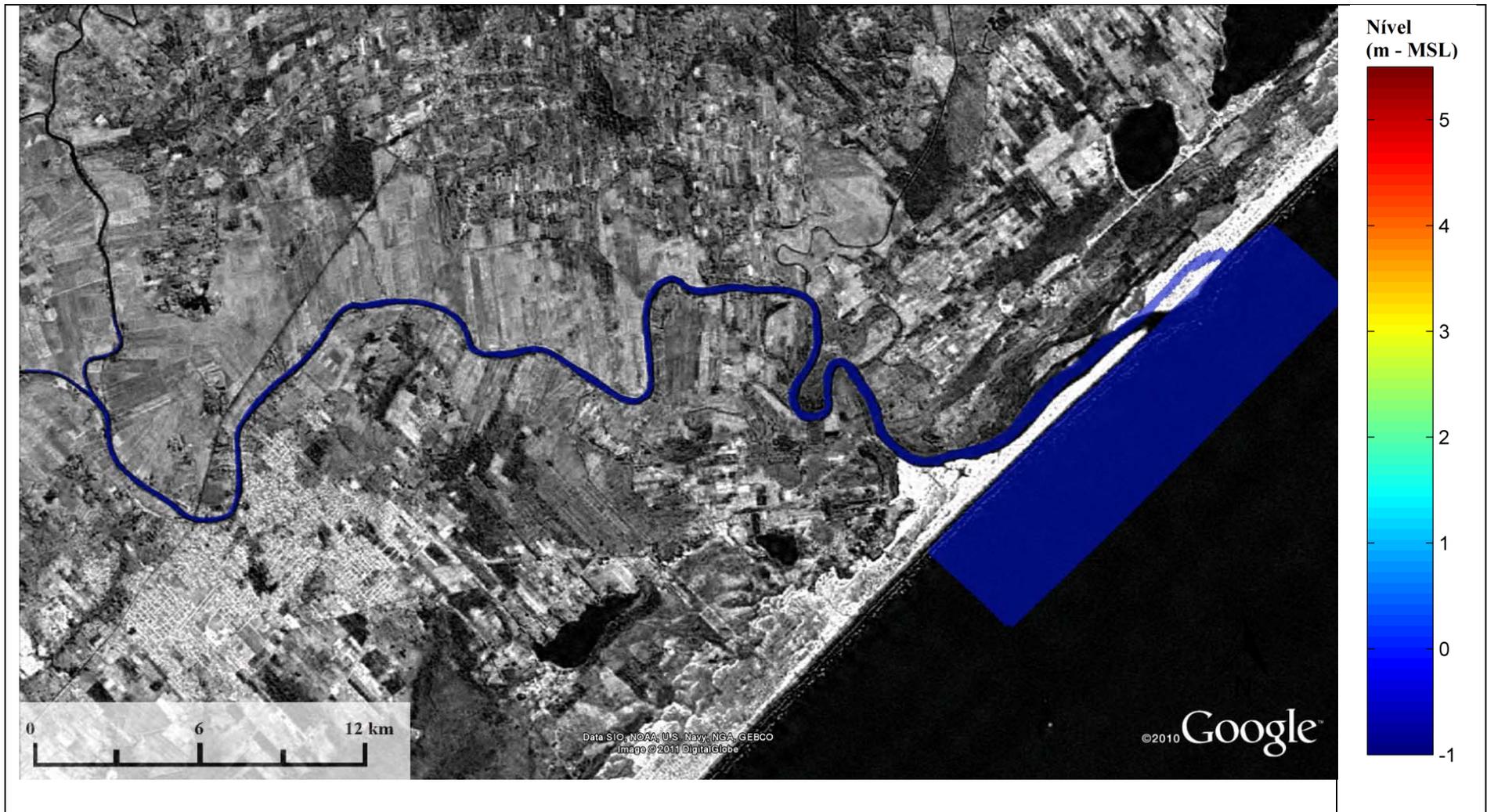


Figura 40 – Nível da água para o cenário Atual_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).



Figura 41 – Nível da água para o cenário Atual_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).

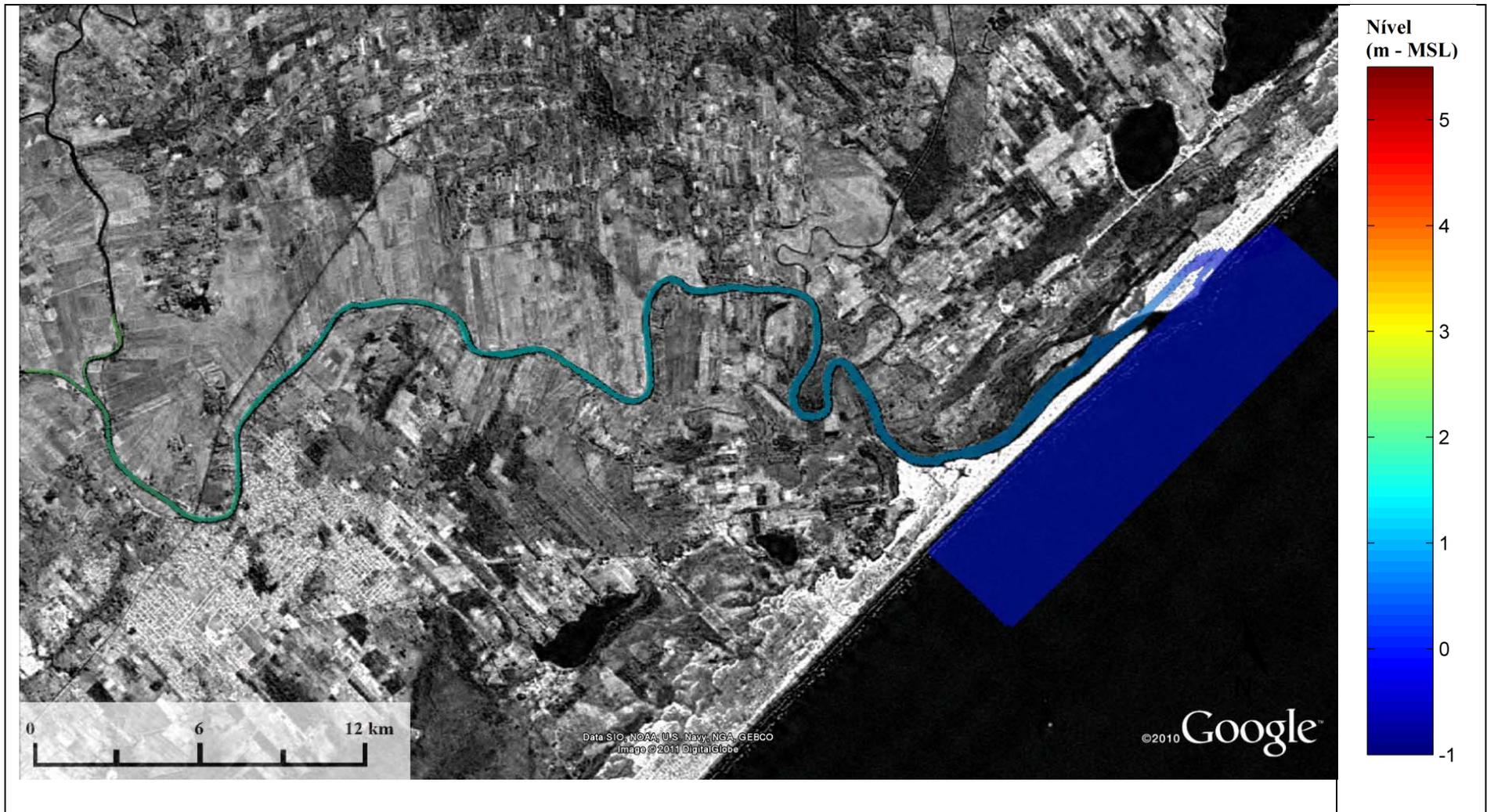


Figura 42 – Nível da água para o cenário Atual_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).

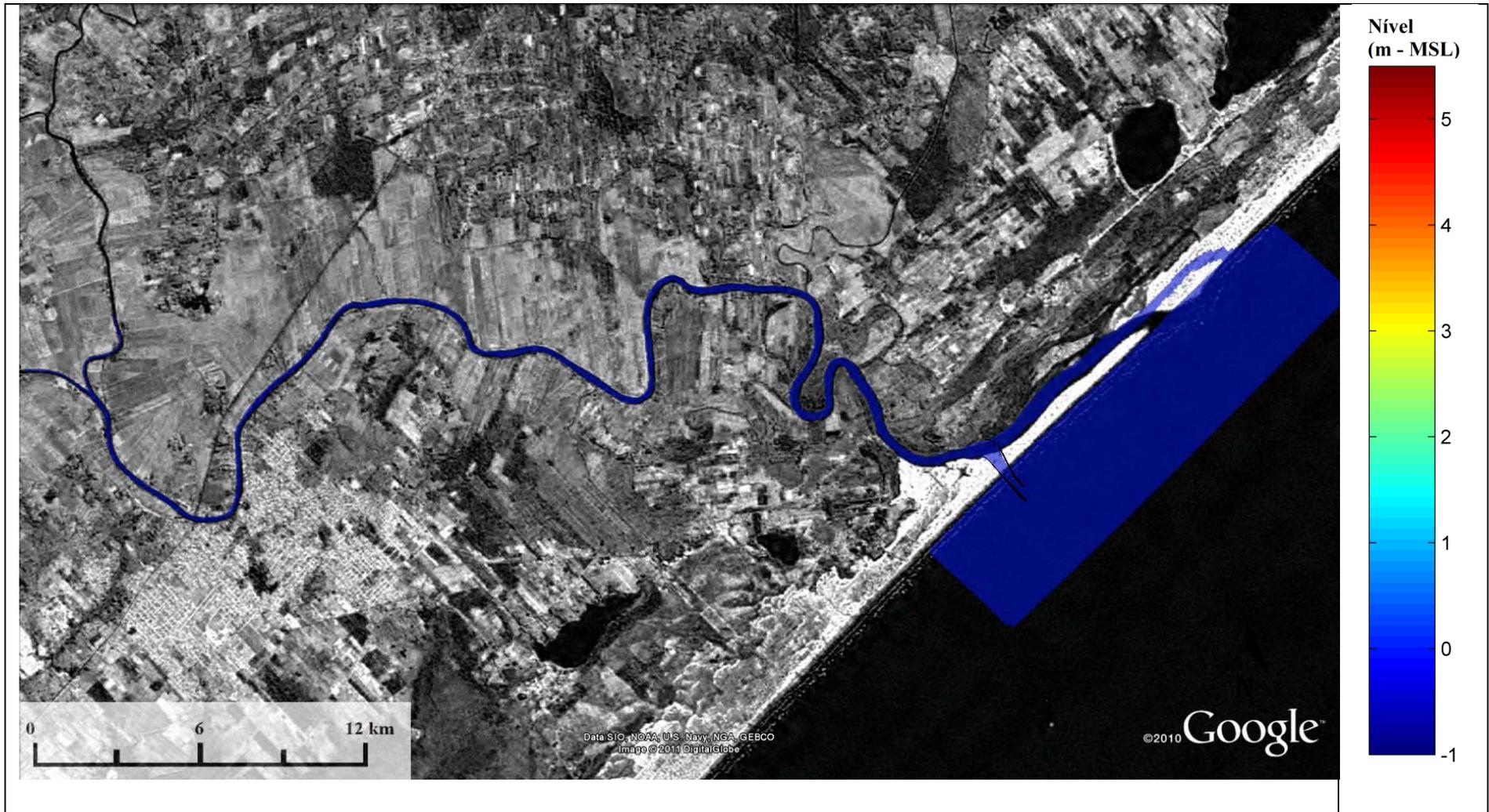


Figura 43 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).



Figura 44 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).

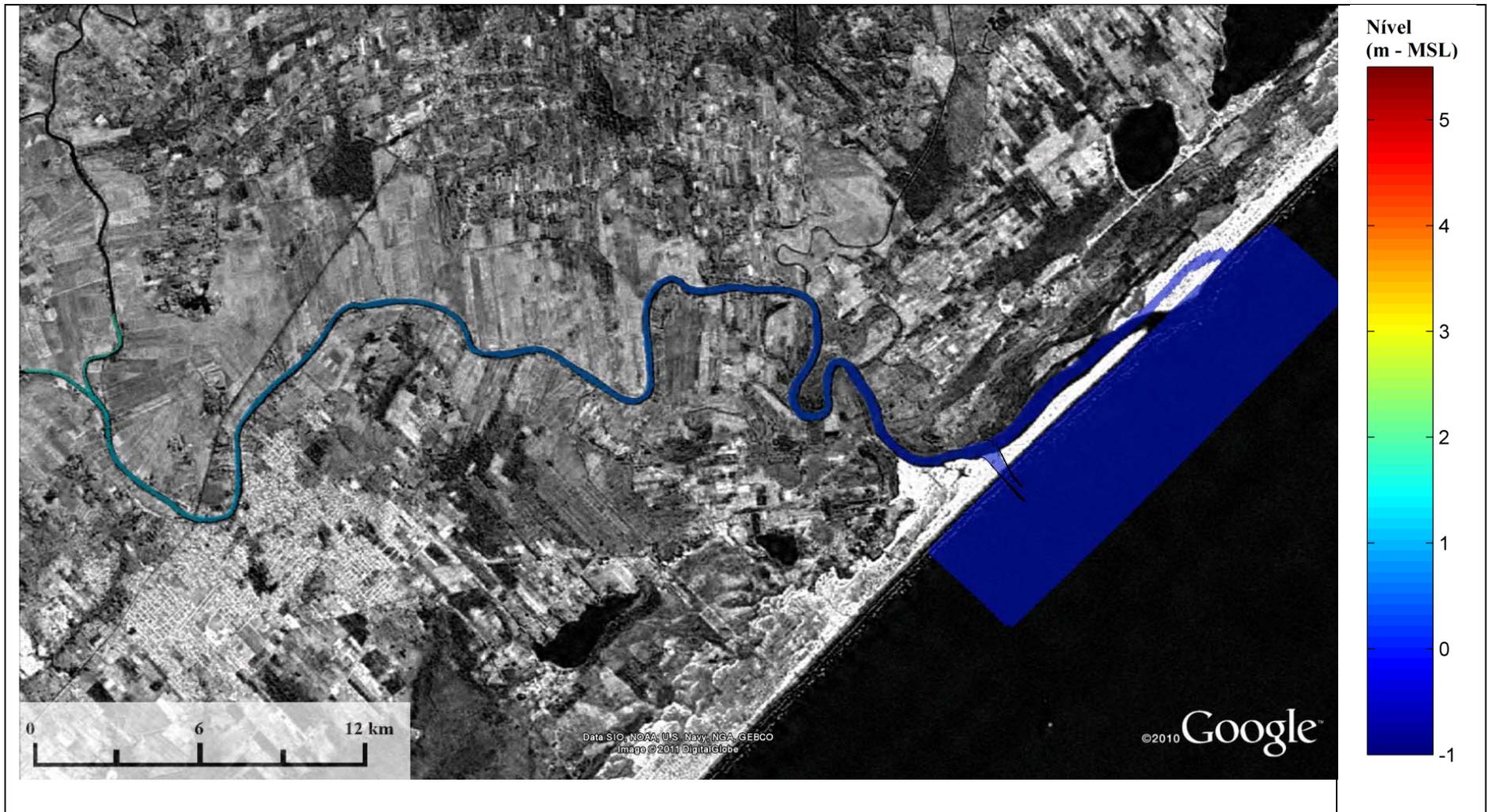


Figura 45 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).

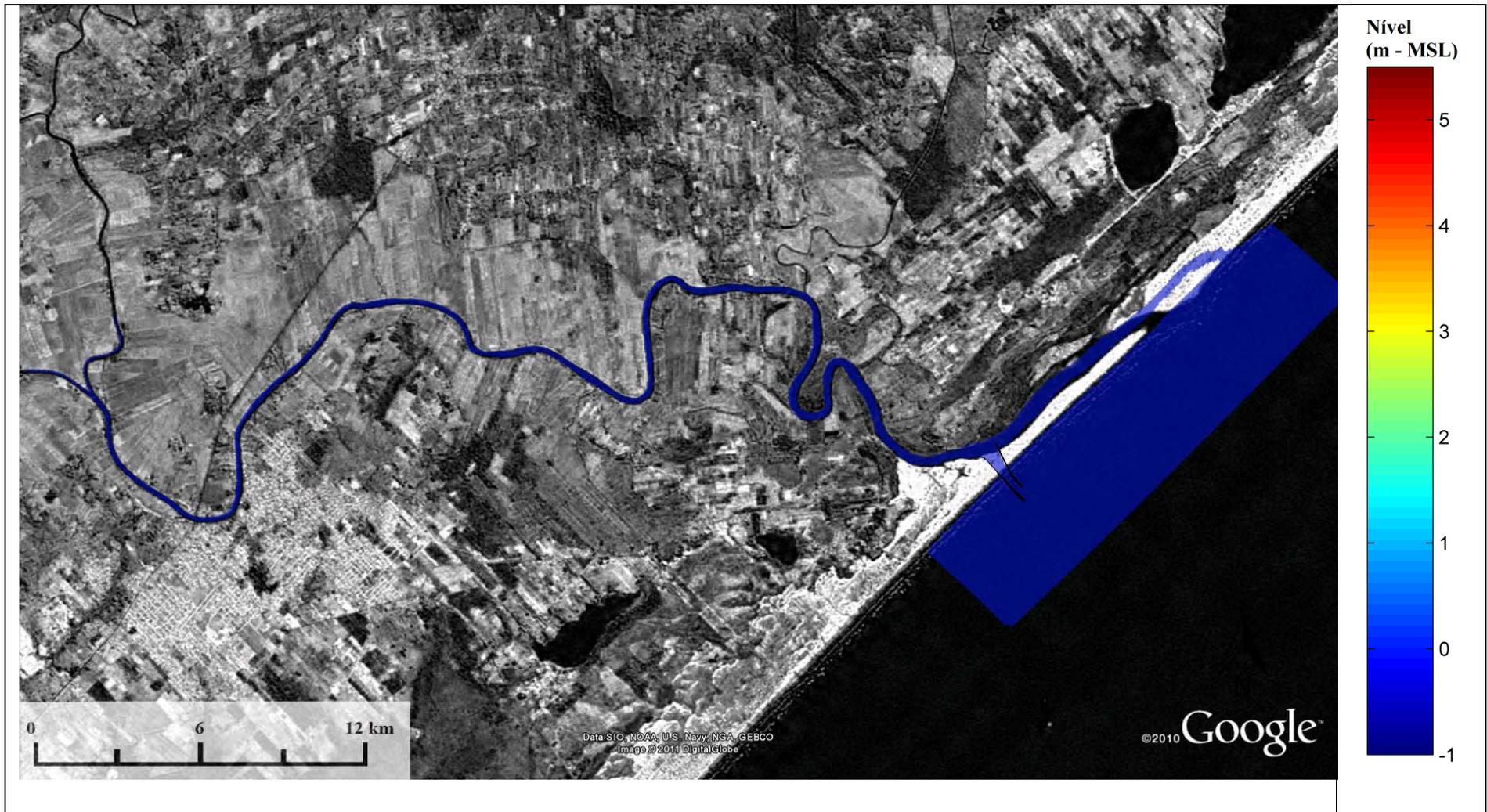


Figura 46 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).

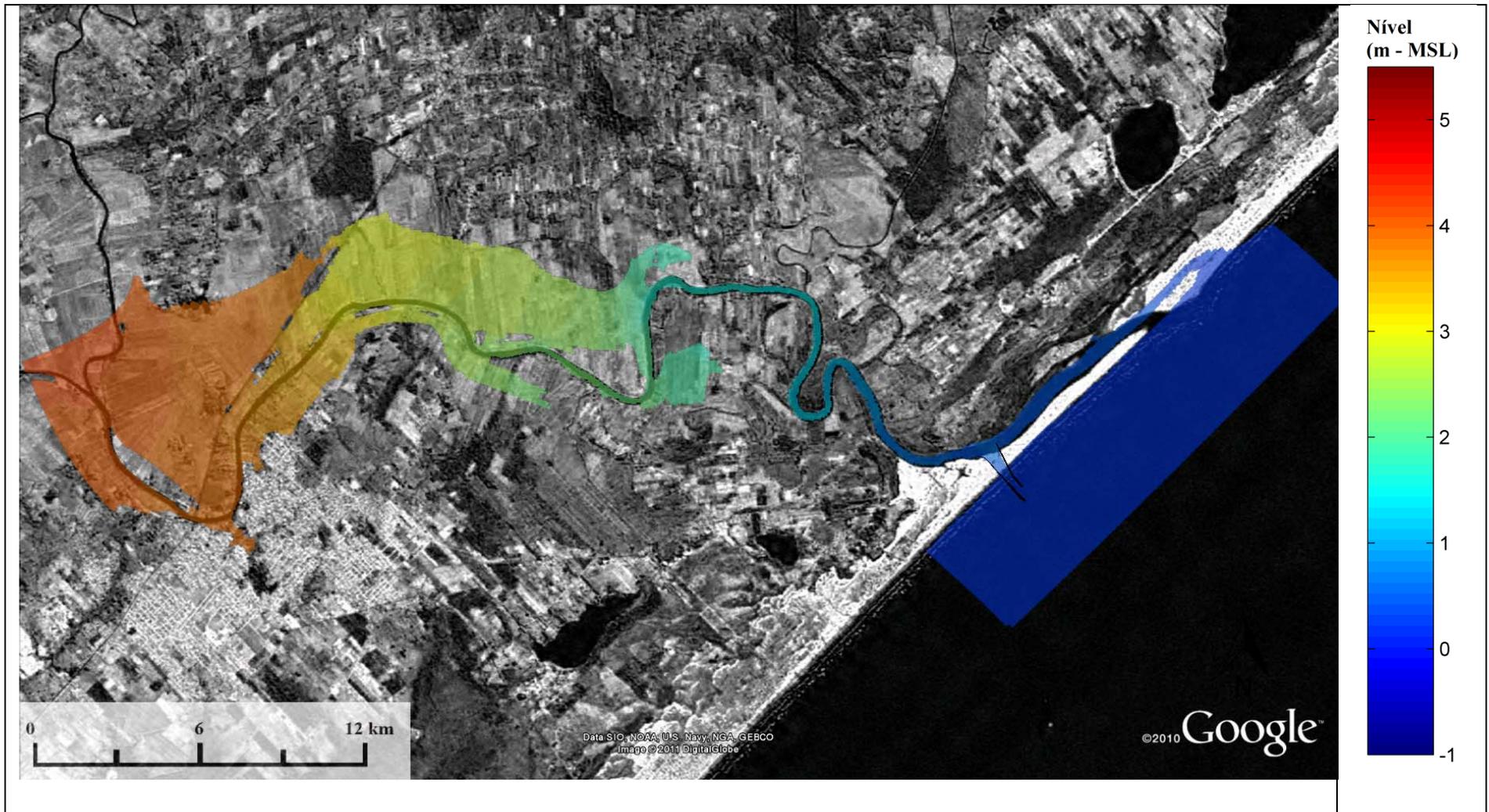


Figura 47 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).

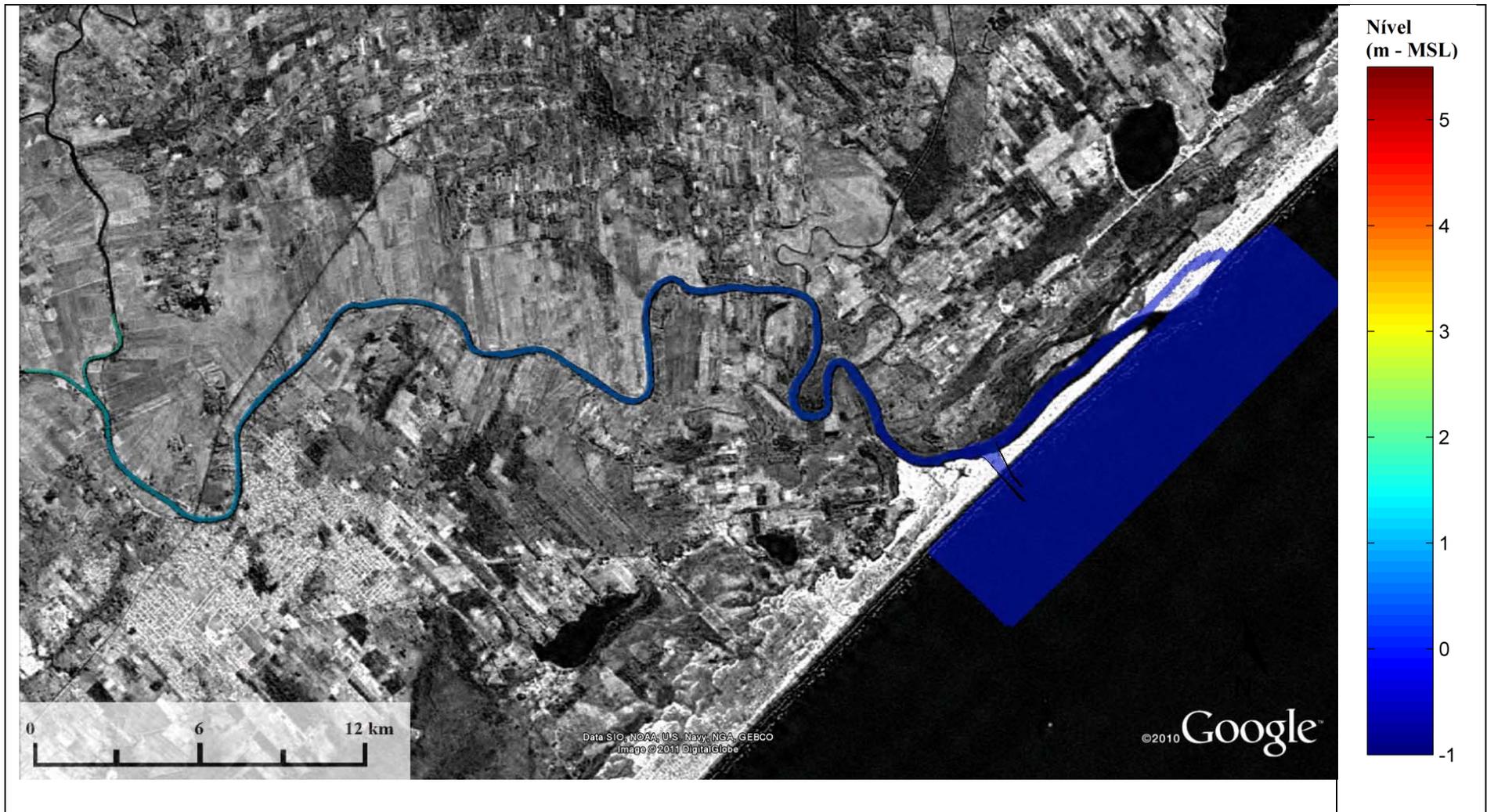


Figura 48 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).

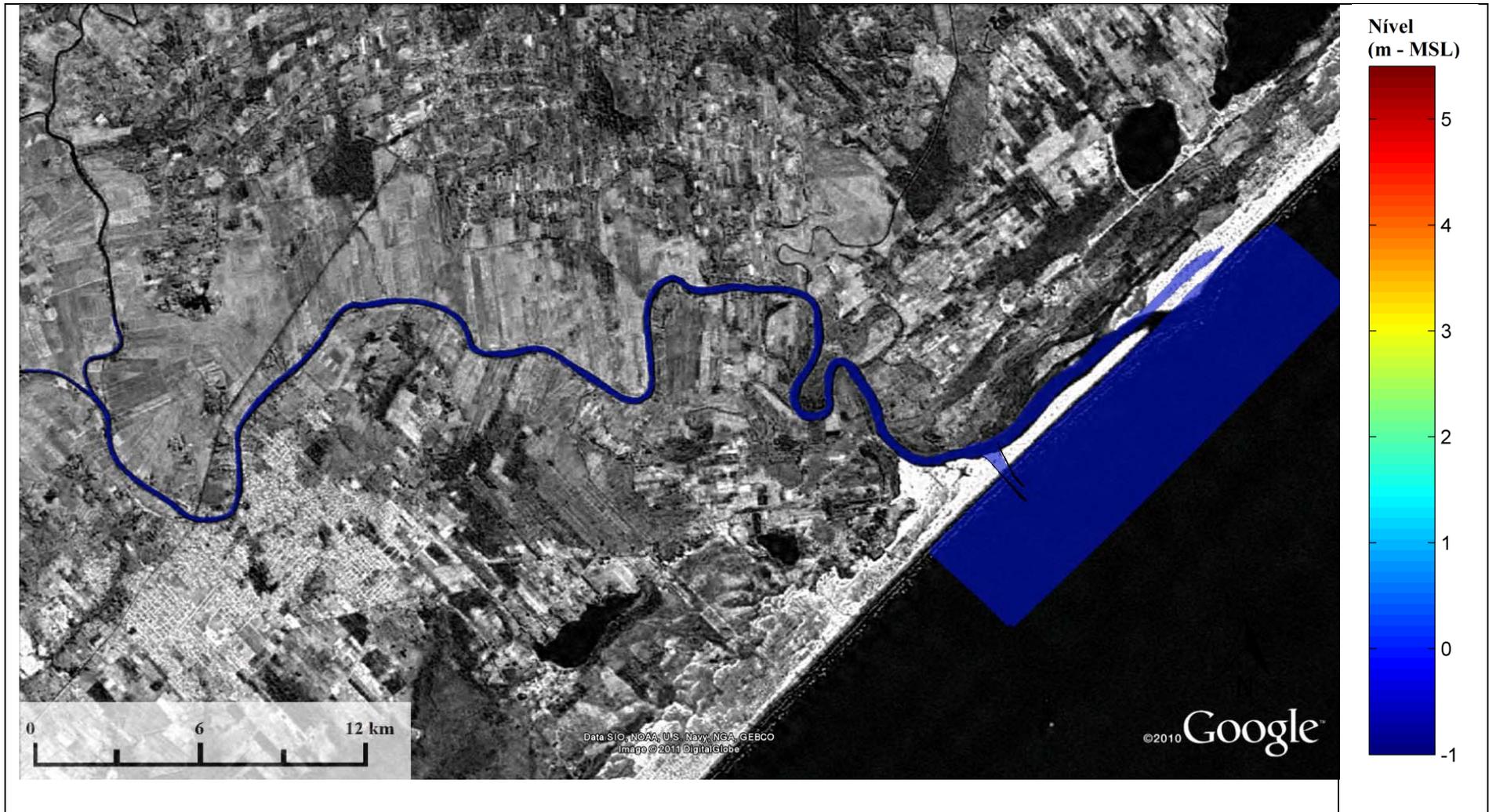


Figura 49 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento2, dia 23/12/1995 (tempo 1).

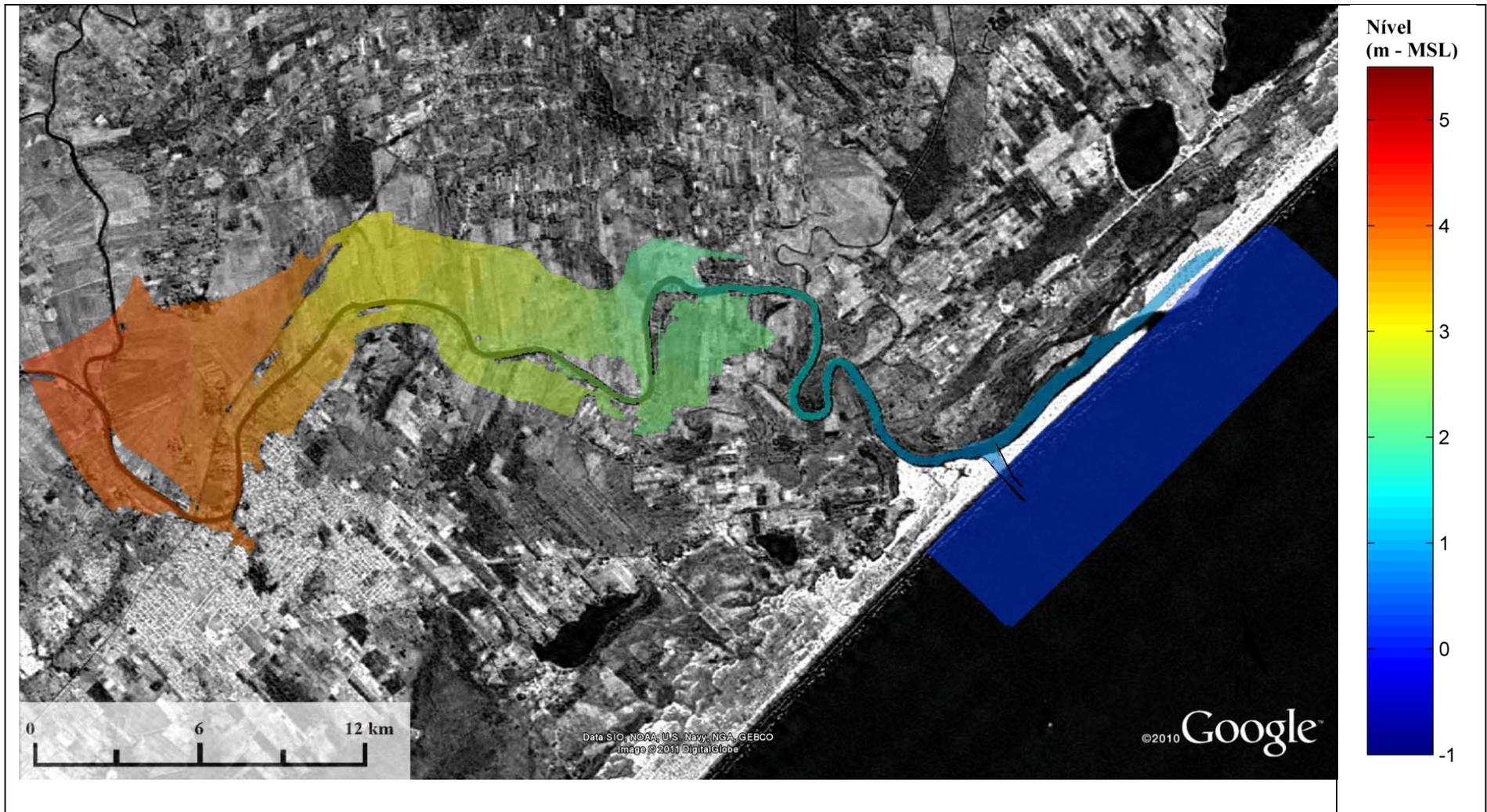


Figura 50 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento2, dia 25/12/1995 (tempo 2).

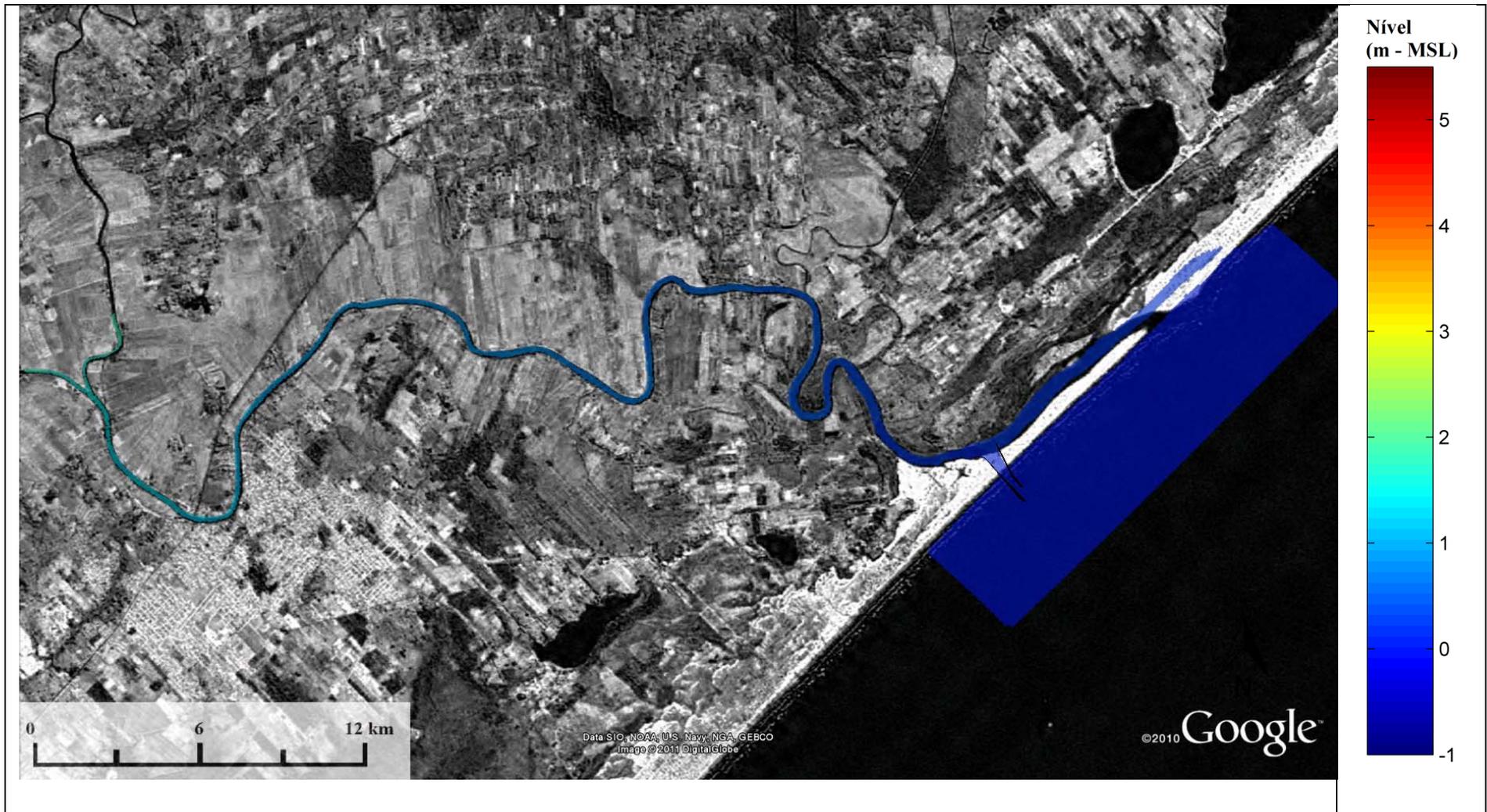


Figura 51 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento2, dia 28/12/1995 (tempo 3).

Da Figura 52 até a Figura 59 são apresentados os gráficos das séries temporais de elevação da superfície da água associadas aos pontos de controle indicados na Figura 17, assim como as diferenças entre as séries temporais de cada alternativa em relação ao cenário atual. A comparação das séries de nível entre os cenários batimétricos/estruturais (atual e alternativas) indica o efeito causado pela obra de fixação da barra do Rio Araranguá no escoamento fluvial durante o evento de vazão extrema.

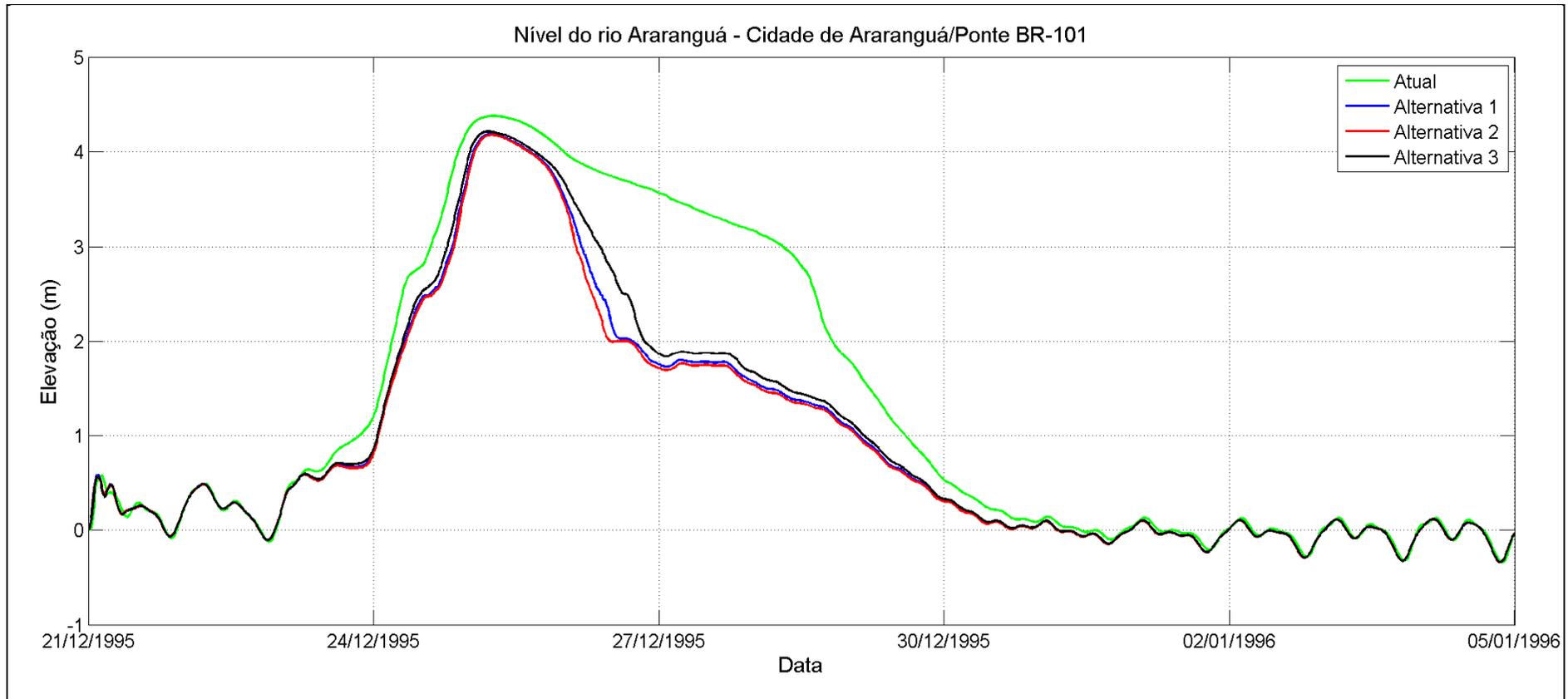


Figura 52 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC1 - Cidade de Araranguá/Ponte BR-101.

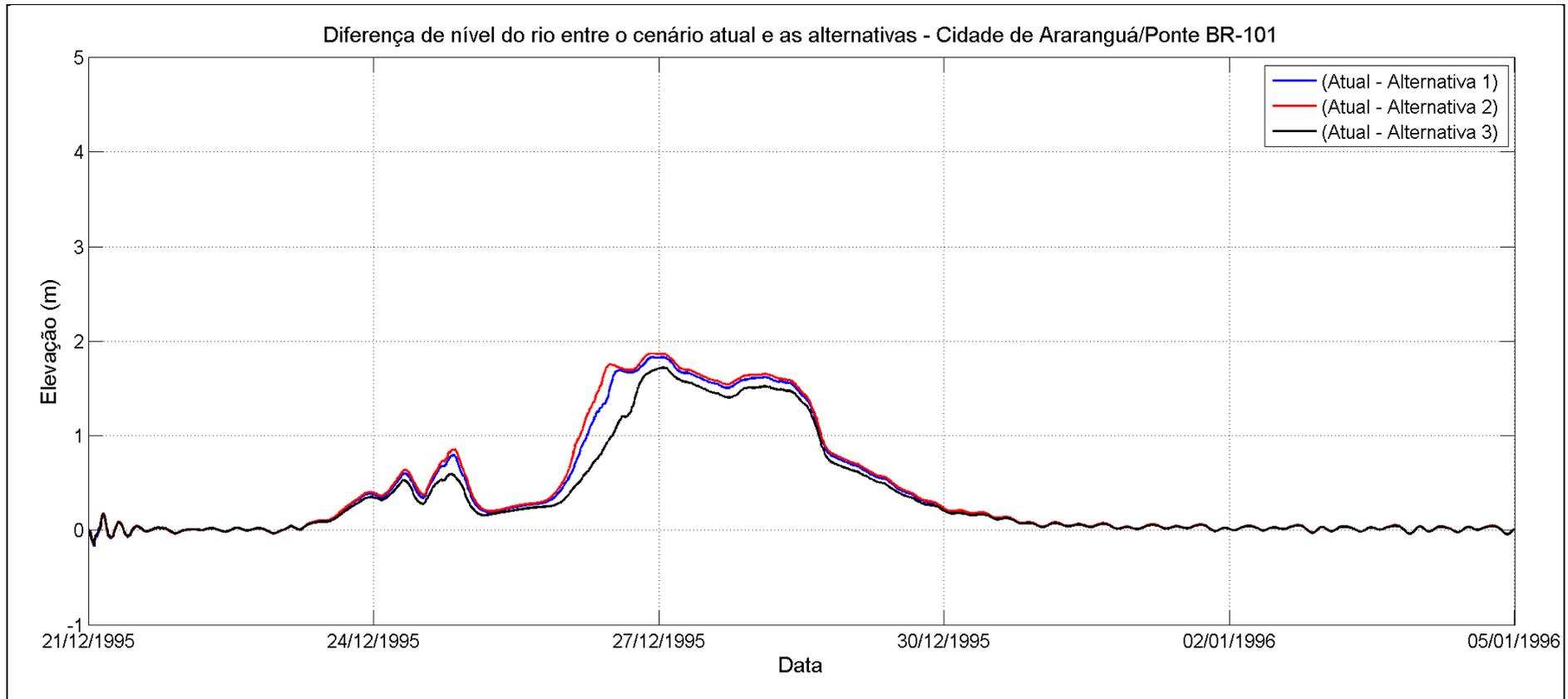


Figura 53 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à cidade de Araranguá/BR-101, para as simulações do evento 2.

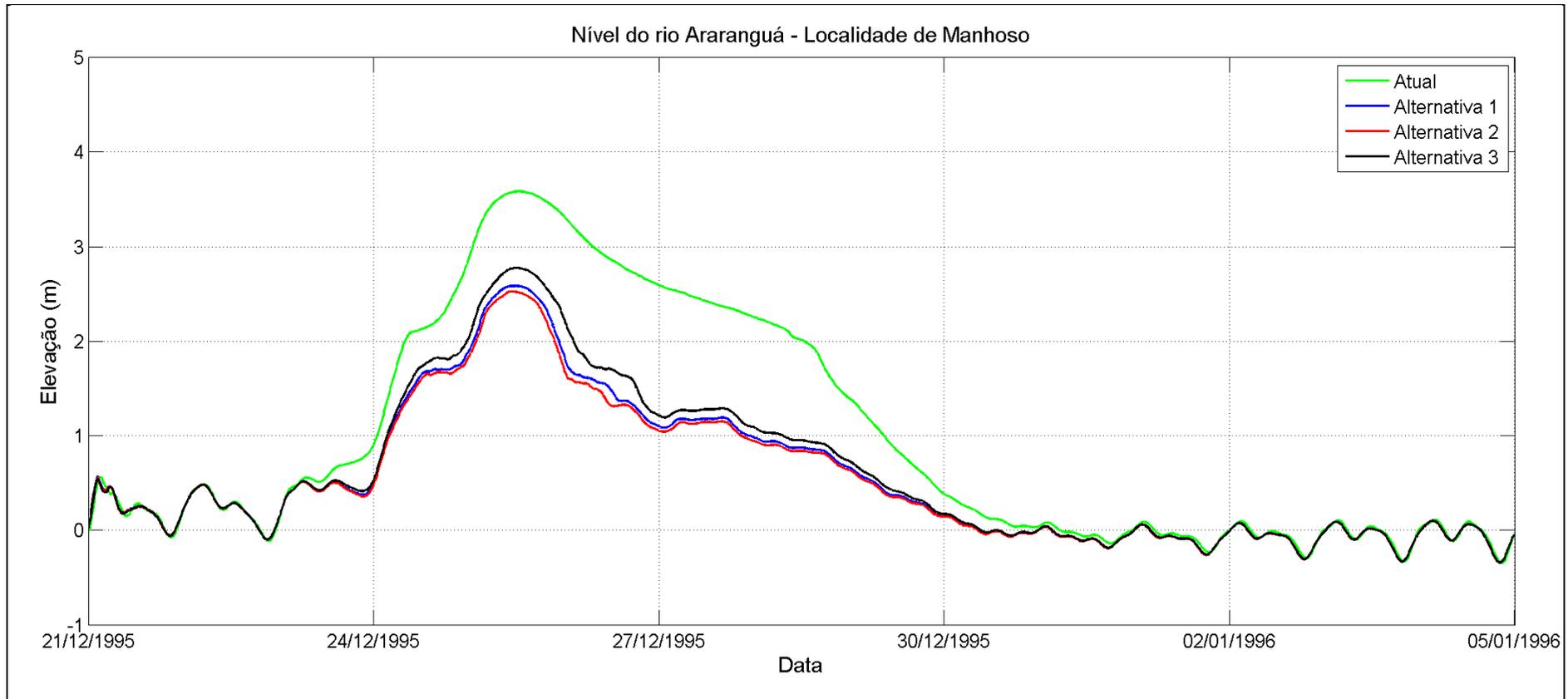


Figura 54 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC2 - Localidade de Manhoso.

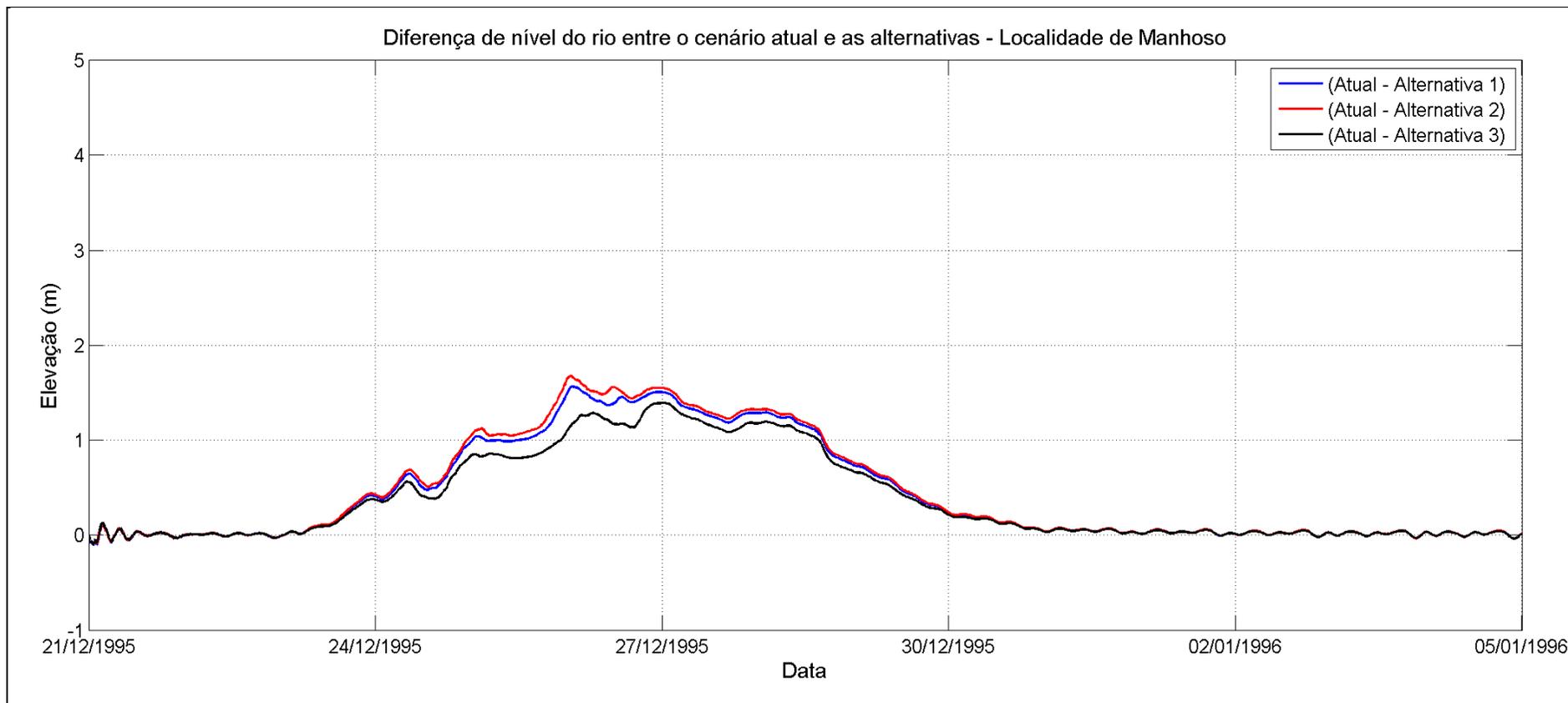


Figura 55 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à localidade de Manhoso, para as simulações do evento 2.

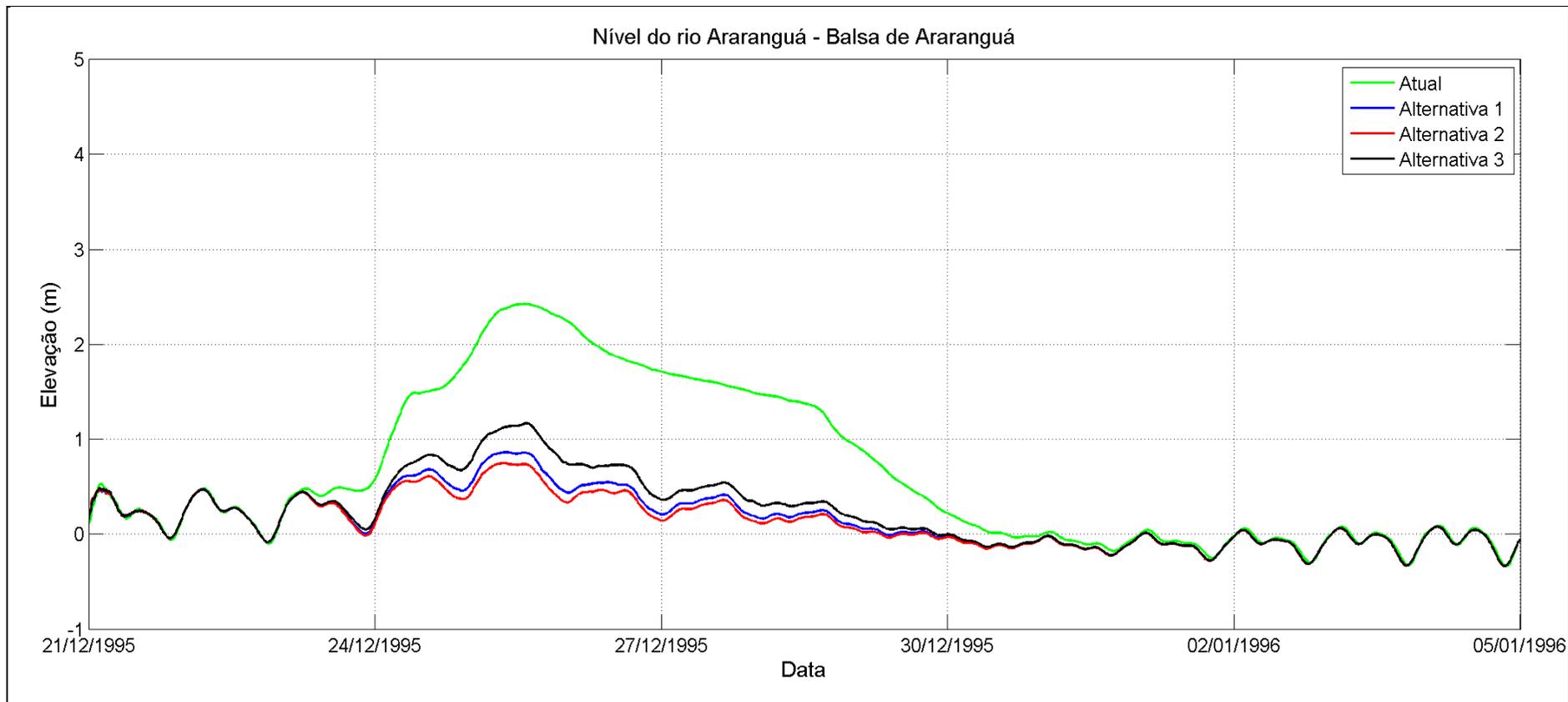


Figura 56 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC3 - Balsa de Araranguá.

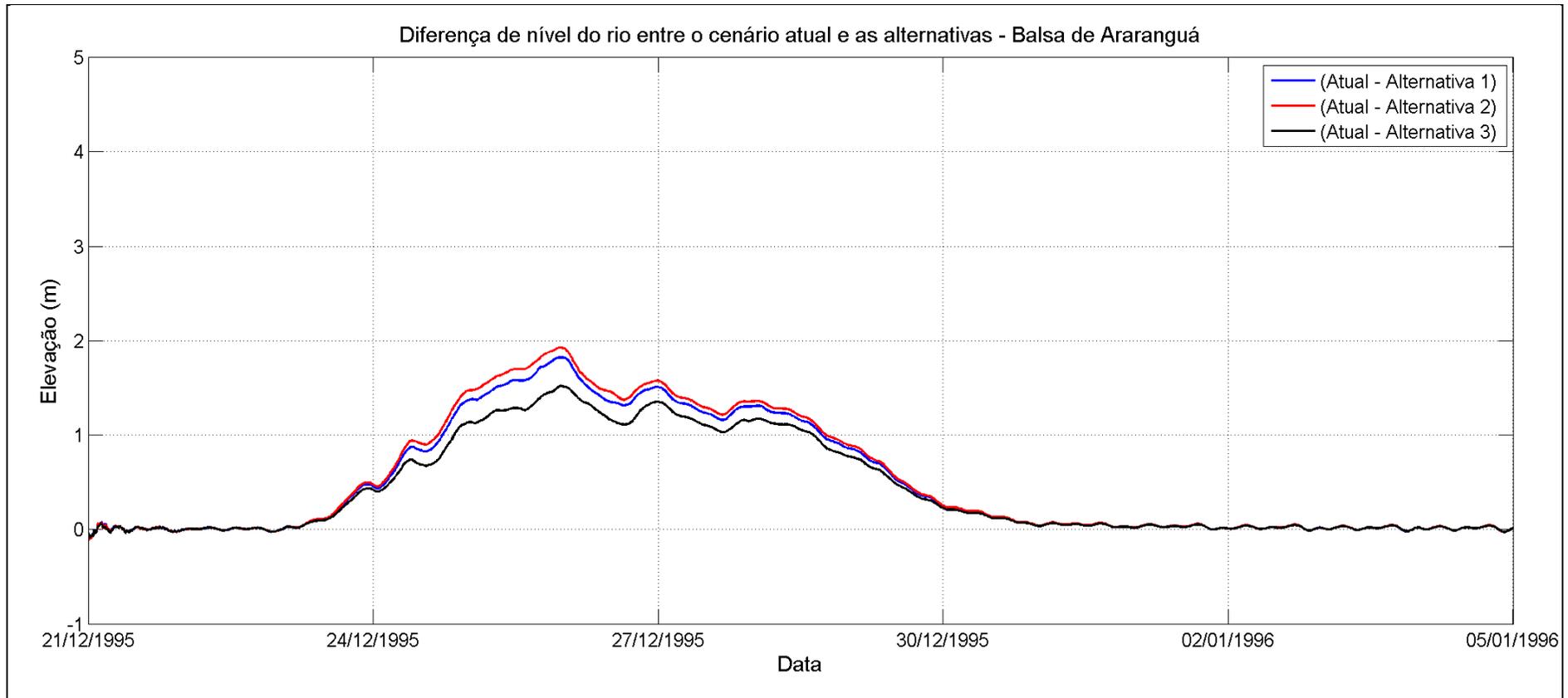


Figura 57 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à balsa de Araranguá, para as simulações do evento 2.

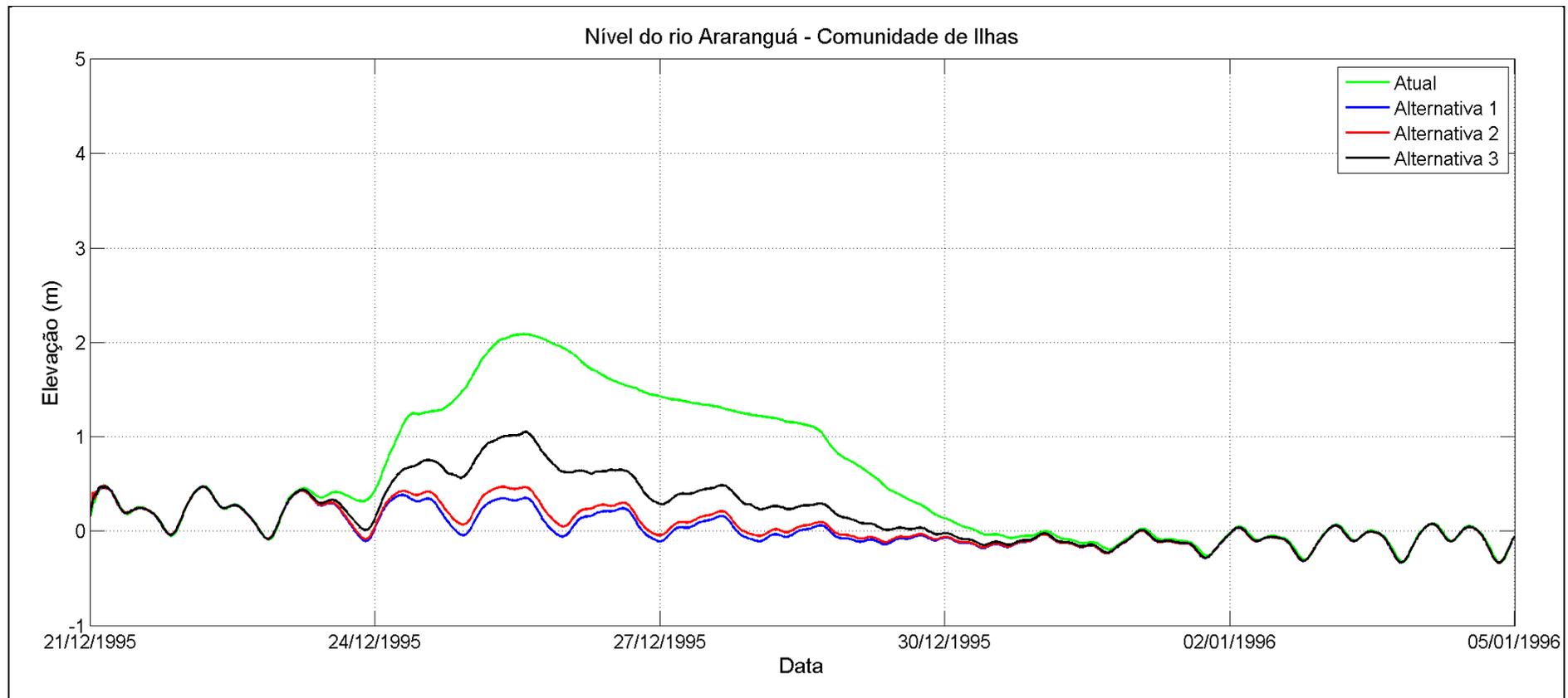


Figura 58 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 2, PC4 - Comunidade de Ilhas.

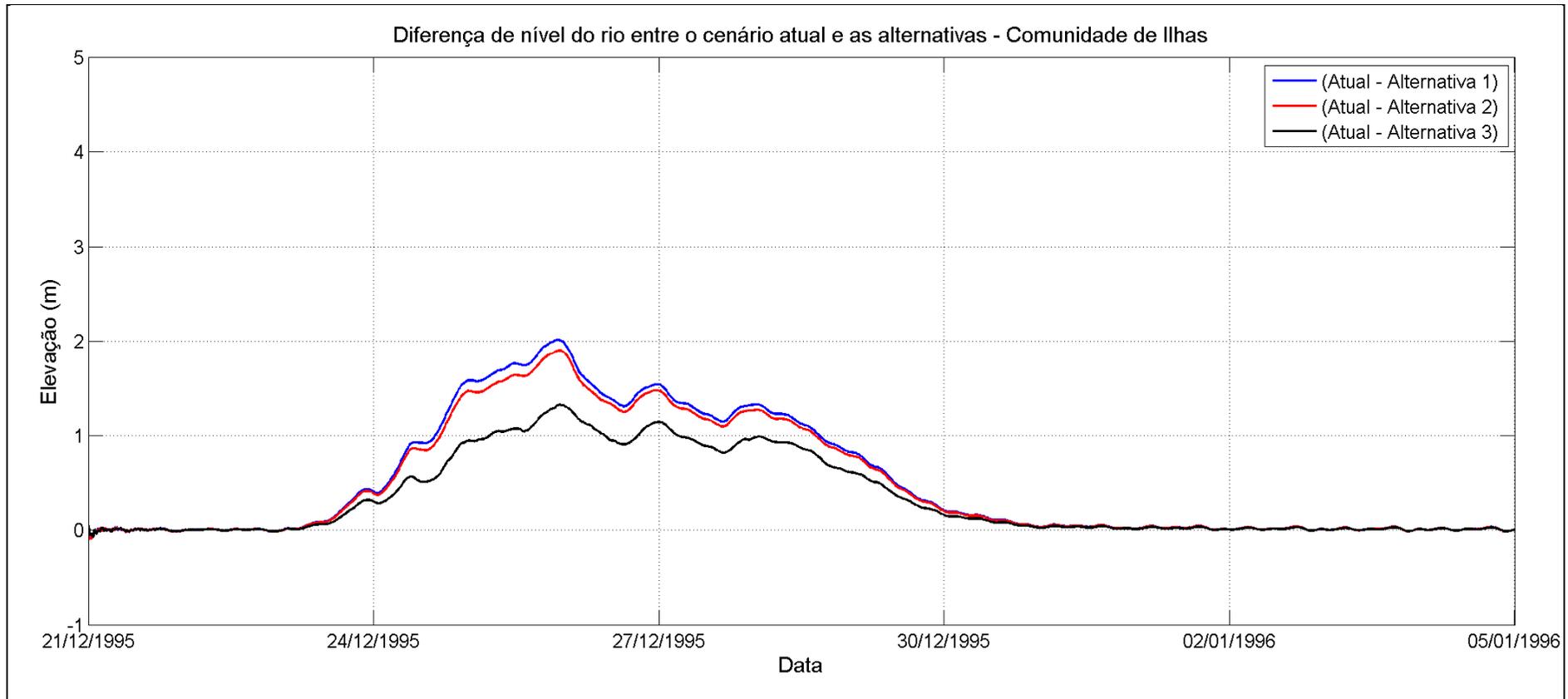


Figura 59 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à Comunidade de Ilhas, para as simulações do evento 2.

A comparação dos mapas de elevação da superfície da água associados ao Evento 2, com valores de vazão maiores que o Evento 1, também indica diferenças entre o cenário atual e as 3 alternativas propostas (Figura 40 a Figura 51). Neste evento, tanto no cenário atual quanto nas alternativas, uma grande área adjacente à margem do Rio Araranguá é alagada durante o pico de vazão (tempo 2). Nas simulações realizadas para as alternativas de fixação, entretanto, as áreas inundadas são menores quando comparadas às áreas inundadas no cenário atual. Comparando os mapas de inundações das alternativas propostas, não são observadas diferenças significativas entre a alternativa 1, 2 e 3.

A comparação das séries temporais de elevação da superfície da água ao longo dos pontos de controle mostra que existe uma diminuição do nível do rio associada às três alternativas estudadas em relação aos resultados do cenário atual. Como observado no Evento 1, também nota-se um maior escoamento após o pico de vazão do evento, baixando o nível d'água mais rapidamente ao longo dos rios Araranguá, Itoupava e Mãe Luzia.

As séries temporais de elevação da superfície da água associadas ao Ponto de Controle 1 - próximo à cidade de Araranguá e à Ponte da BR-101 (Figura 52) indicam um sobrenível máximo de aproximadamente 4,4 m associado ao cenário atual. Os resultados da simulação do Evento 2 considerando as alternativas indicam sobrenível máximo de aproximadamente 4,2 m na região da cidade de Araranguá/ponte BR-101. As máximas diferenças entre as séries temporais de elevação associadas às alternativas e ao cenário atual ficam na faixa de 1,9 m (Figura 53).

No Ponto de Controle 2 (localidade de Manhoso), as máximas elevações da superfície da água durante o Evento 2 foram de aproximadamente 3,5 m para o cenário atual e 2,8 m para as alternativas (Figura 54). As séries temporais de nível do rio no cenário atual e com as alternativas (Figura 55) indicaram diferenças máximas de aproximadamente 1,8 m.

No Ponto de Controle 3 - Balsa de Araranguá - as máximas elevações ao longo do período simulado considerando o Evento 2 foram de aproximadamente 2,5 m (cenário atual) e 1 m (alternativas) (Figura 56). As máximas diferenças de nível entre o cenário atual e as alternativas foram de aproximadamente 1,8 m (Figura 57).

No Ponto de Controle 4, próximo à Comunidade de Ilhas, as máximas elevações da superfície da água observadas ao longo das simulações do Evento 2 são de aproximadamente 2 m (cenário atual), 0,5 m (alternativas 1 e 2) e 1 m (alternativa 3) (Figura 58). As diferenças

máximas entre os níveis associados às alternativas e ao cenário atual são de aproximadamente 2 m considerando as alternativas 1 e 2, e 1,2 m considerando a alternativa 3 (Figura 38).

No Evento 2, a alternativa 3, de maneira geral, mostrou benefícios inferiores em relação às outras duas alternativas (1 e 2), na ordem de 0,1 a 0,6 m (variando no tempo e ao longo do rio). As diferenças entre as alternativas 1 e 2 são pequenas e podem ser desprezadas.

4.3 EVENTO 3 - DEZ. 1995 (+25%)

O Evento 3 possui como forçante fluvial a série temporal de vazão da enchente de 1995 aumentada em 25%, como explicado no Capítulo 3.2.6.

Da Figura 61 até a Figura 72 são apresentados mapas de elevação da superfície da água ao longo da área de estudo. Para cada cenário batimétrico/estrutural considerado foram geradas imagens em 3 diferentes tempos de simulação, indicados na Figura 60.

- O primeiro mapa é relativo ao dia 23/12/1995, representa o início do evento extremo de vazão (anterior à enchente).
- O segundo mapa de elevação da superfície da água é associado ao pico de vazão fluvial (25/12/1995).
- O terceiro mapa representa a condição após a enchente (28/12/1995) em momento de diminuição do nível de água.

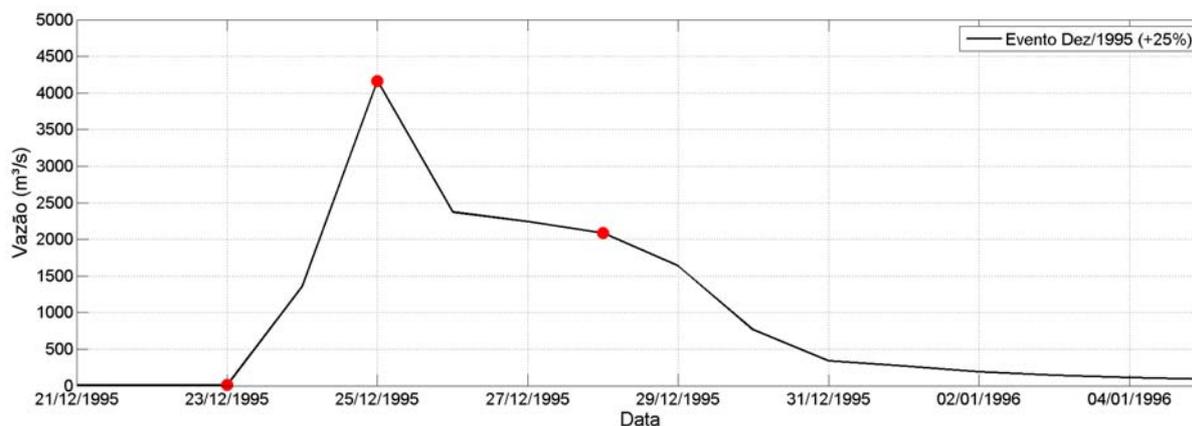


Figura 60 – Série temporal de vazão do Evento 3 e os tempos seleccionados (pontos em vermelho) para gerar os mapas de nível de água.

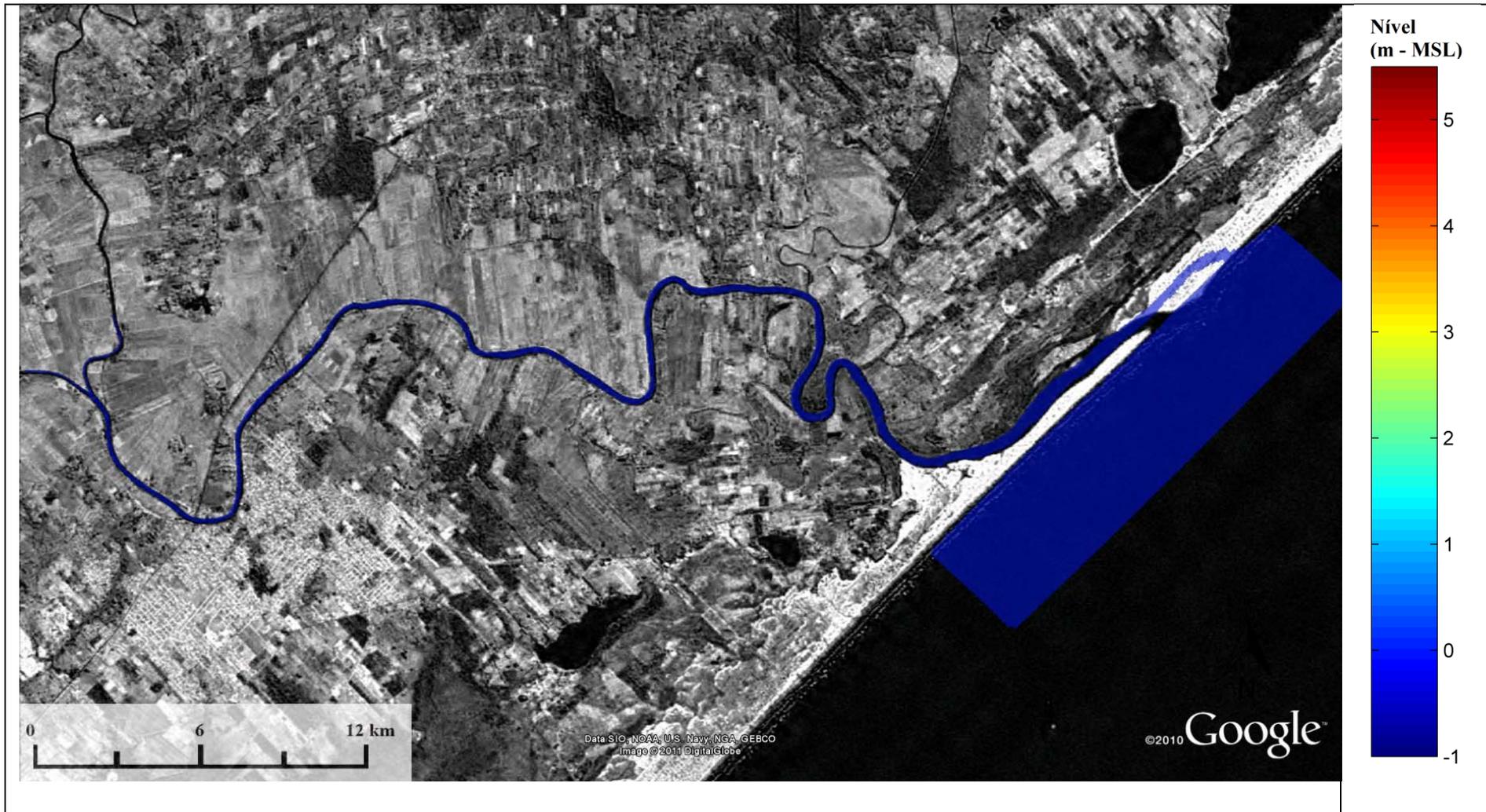


Figura 61 – Nível da água para o cenário Atual_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).

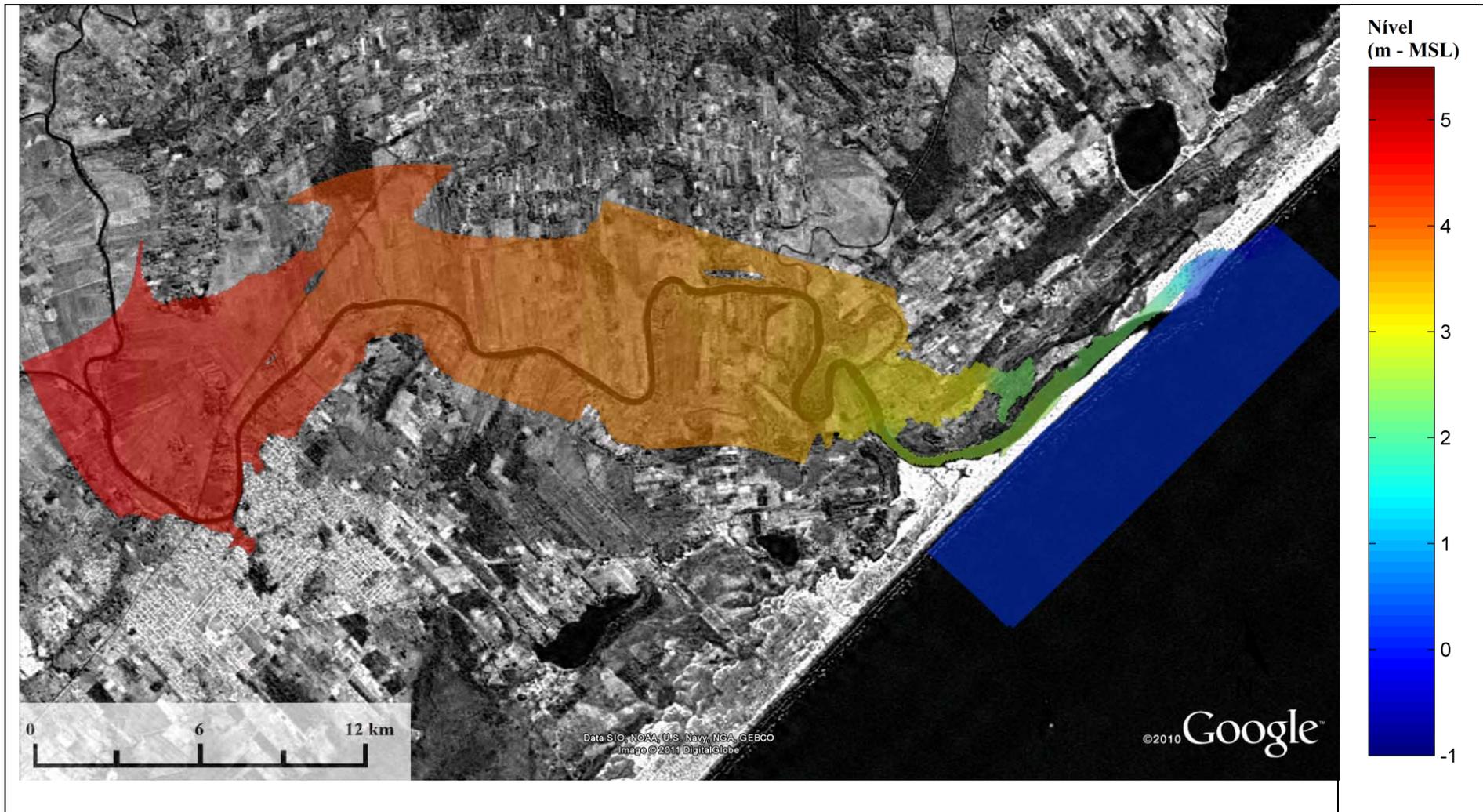


Figura 62 – Nível da água para o cenário Atual_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).

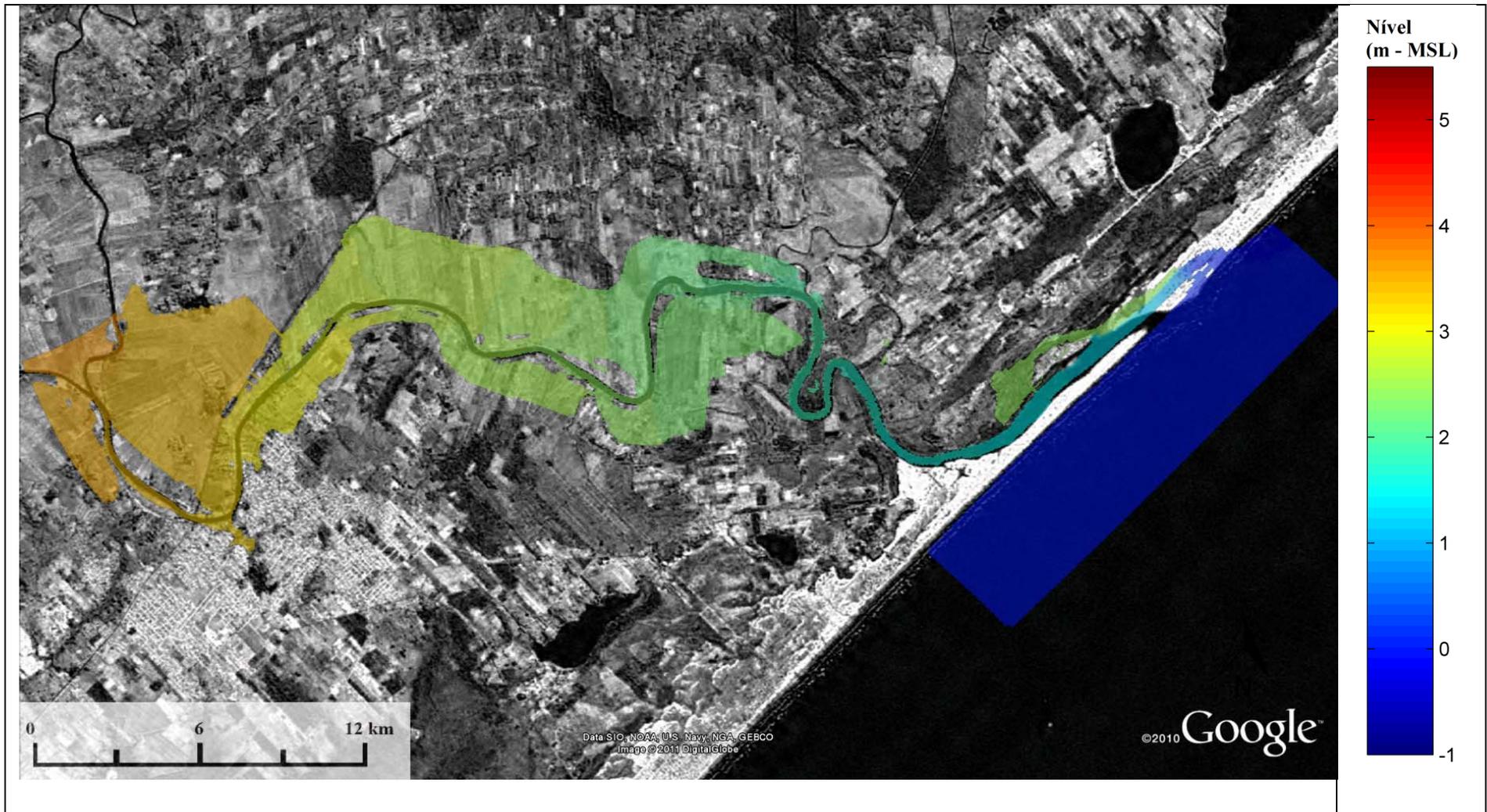


Figura 63 – Nível da água para o cenário Atual_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).

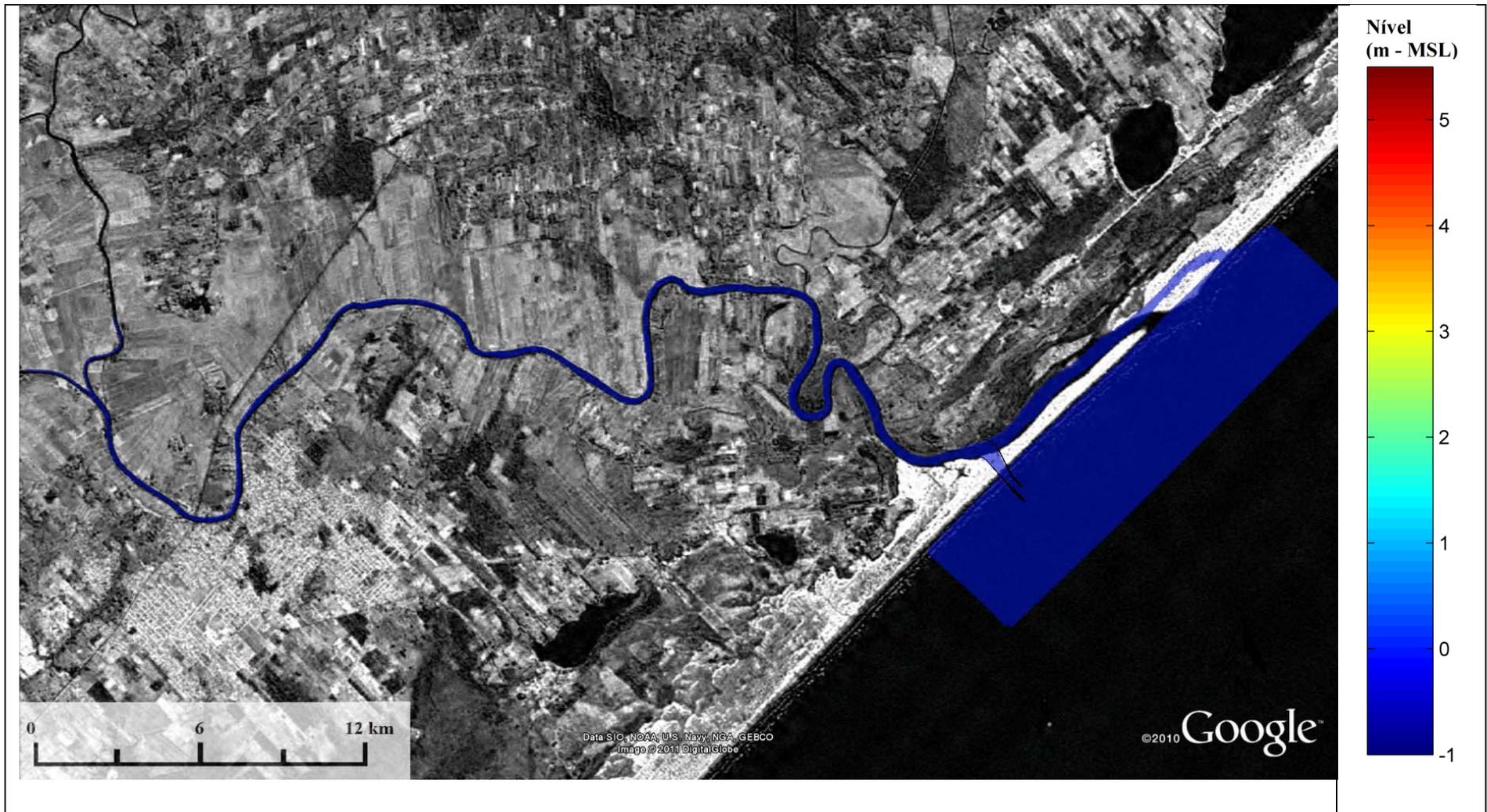


Figura 64 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).

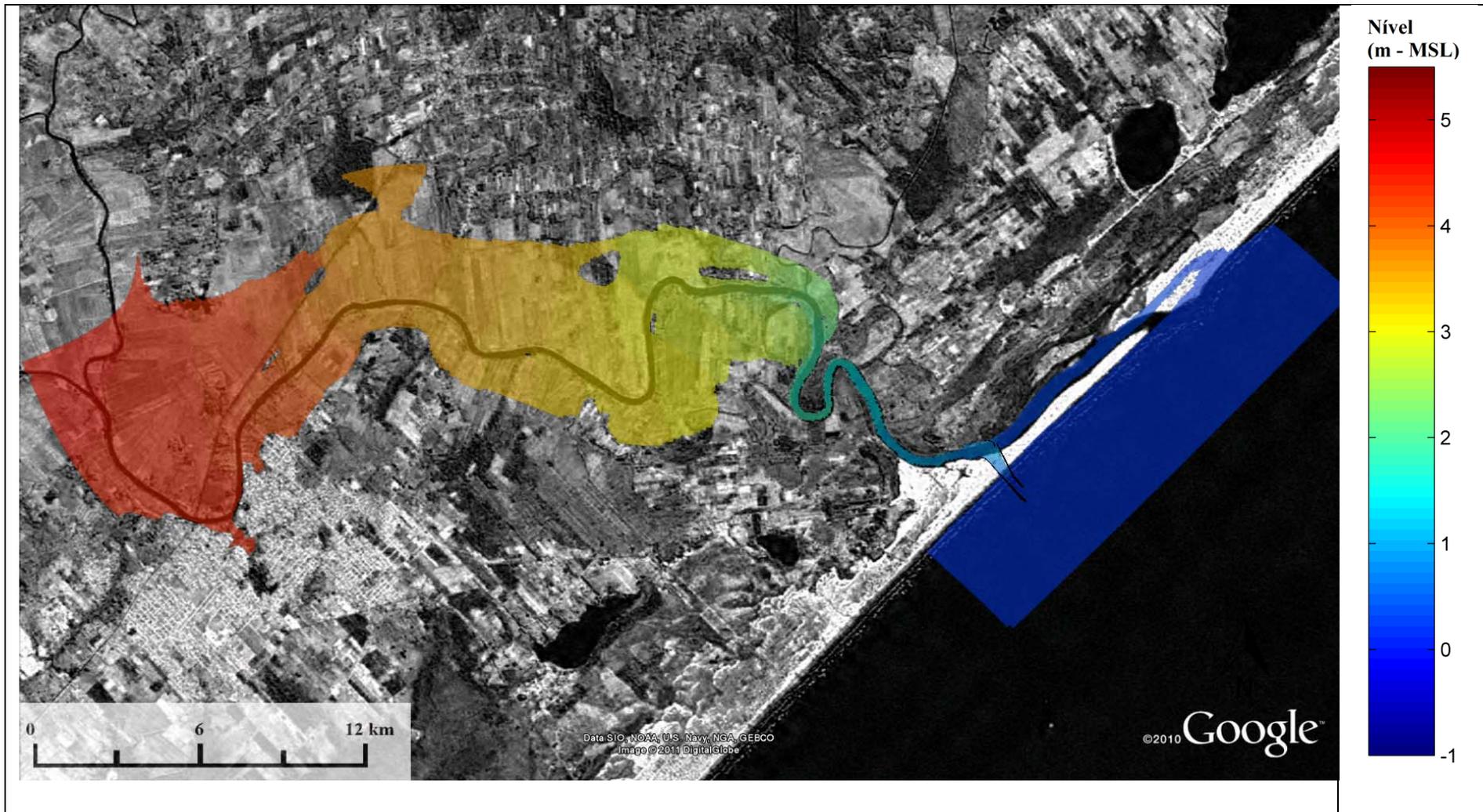


Figura 65 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).

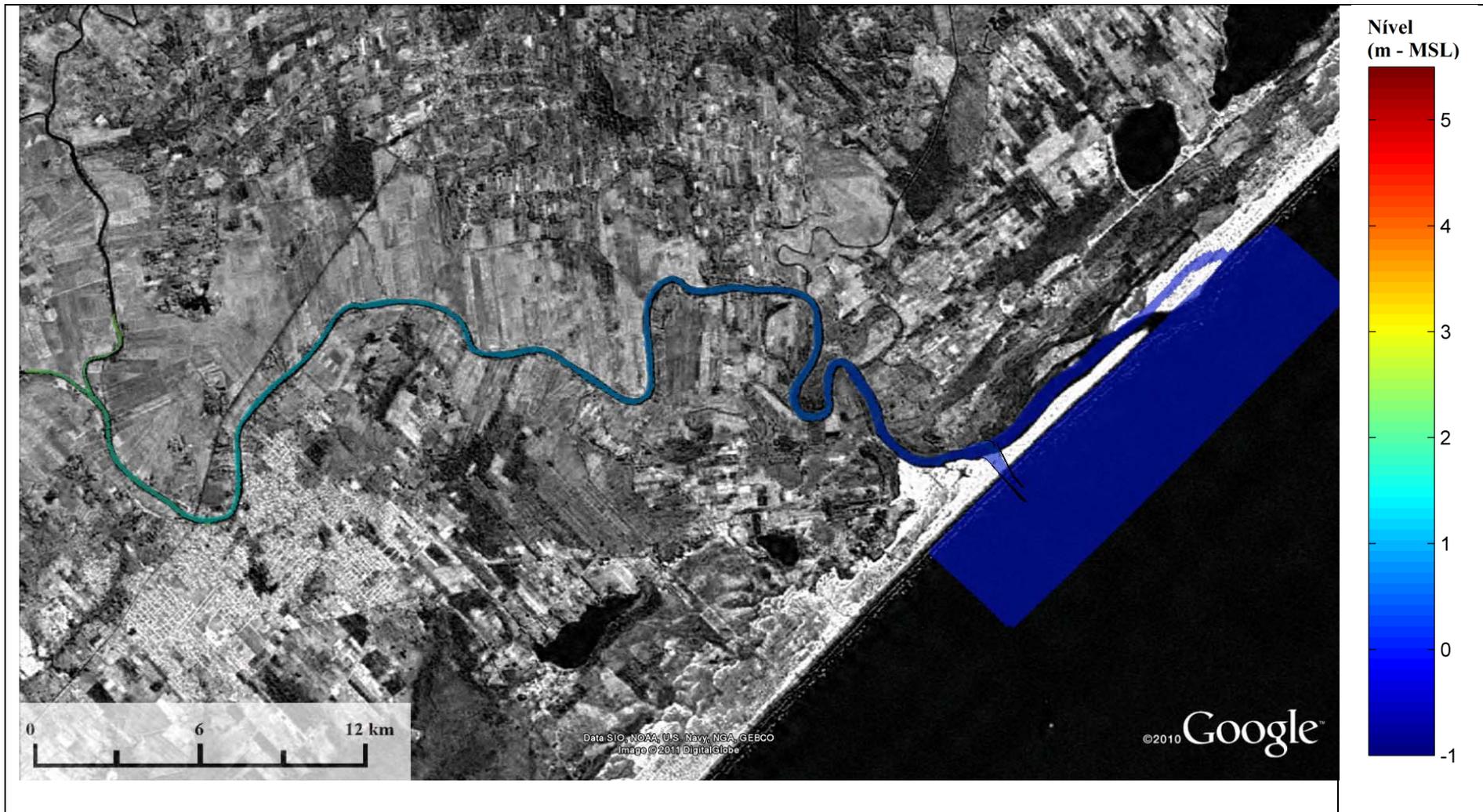


Figura 66 – Nível da água para o cenário Alt1_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).

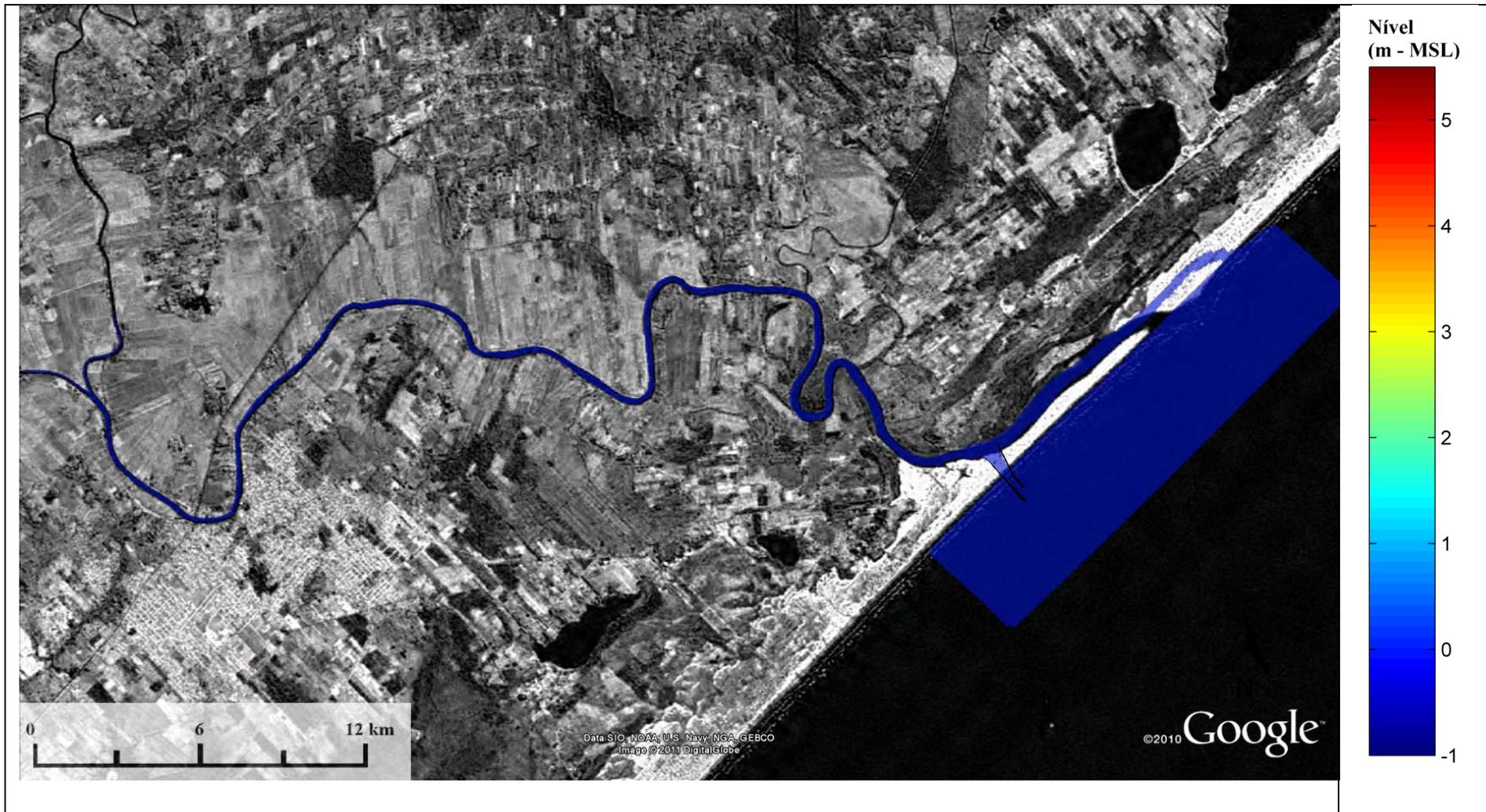


Figura 67 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).

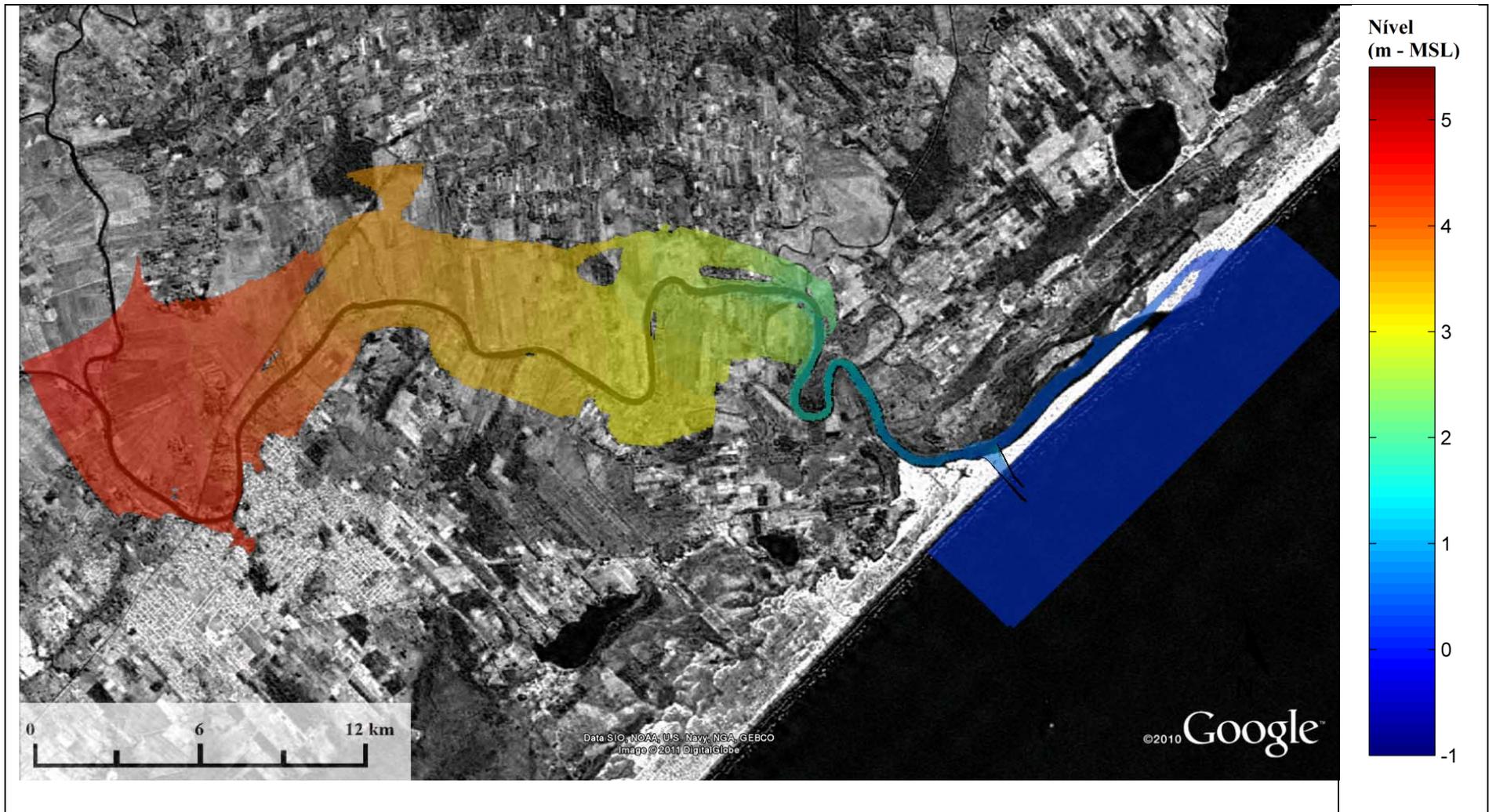


Figura 68 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).

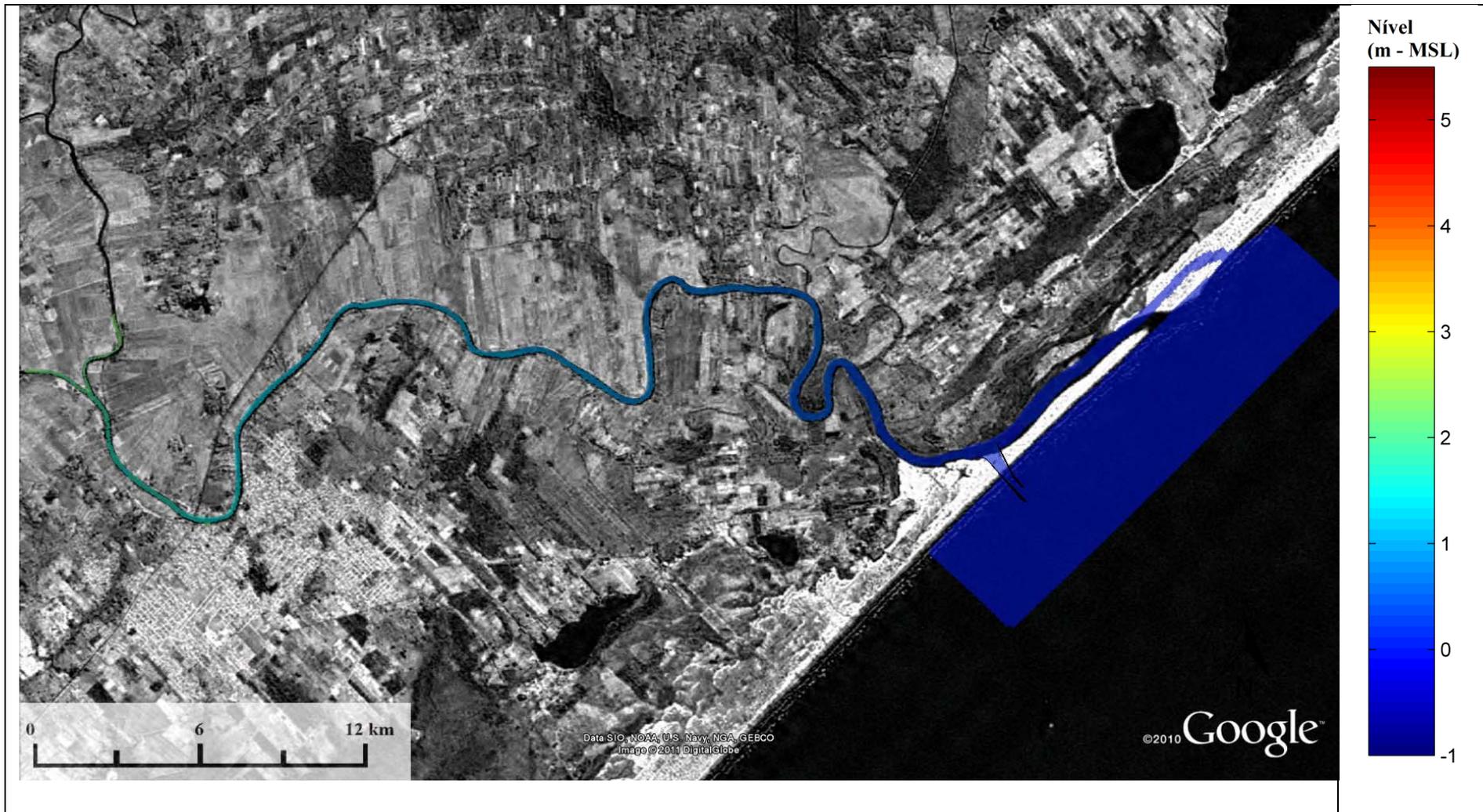


Figura 69 – Nível da água para o cenário Alt2_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).

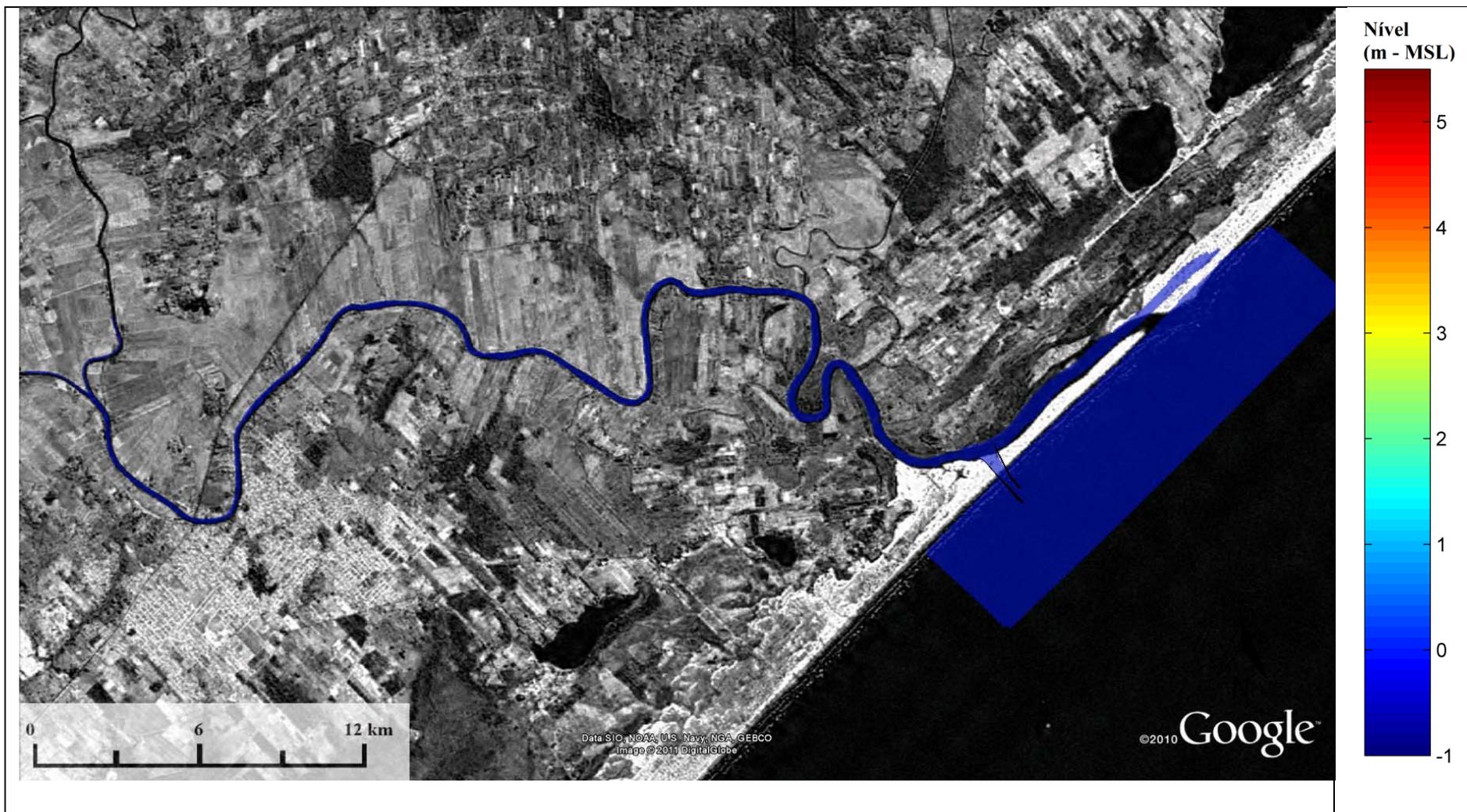


Figura 70 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento3, dia 23/12/1995 (tempo 1).



Figura 71 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento3, dia 25/12/1995 (tempo 2).

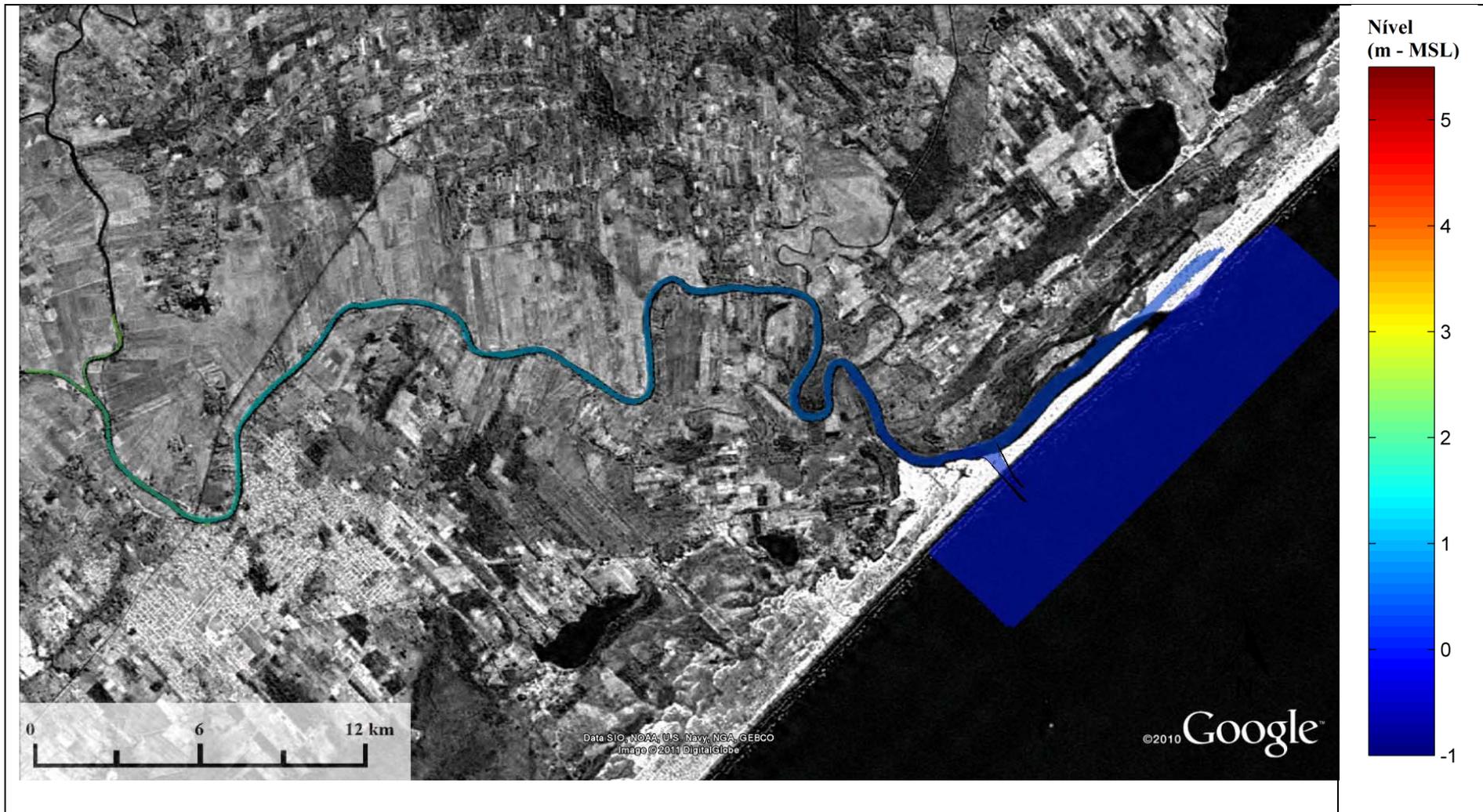


Figura 72 – Nível da água para o cenário Alt3_Evento3, dia 28/12/1995 (tempo 3).

Gráficos das séries temporais de elevação da superfície da água associadas ao Ponto de Controle indicados na Figura 17 e a diferença associadas entre as séries temporais de cada alternativa em relação ao cenário atual podem ser observadas entre a Figura 73 e a Figura 80. A comparação das séries de nível entre os cenários batimétricos/estruturais (atual e alternativas) indica o efeito causado pela obra de fixação da barra do Rio Araranguá no escoamento fluvial durante o evento de vazão extrema.

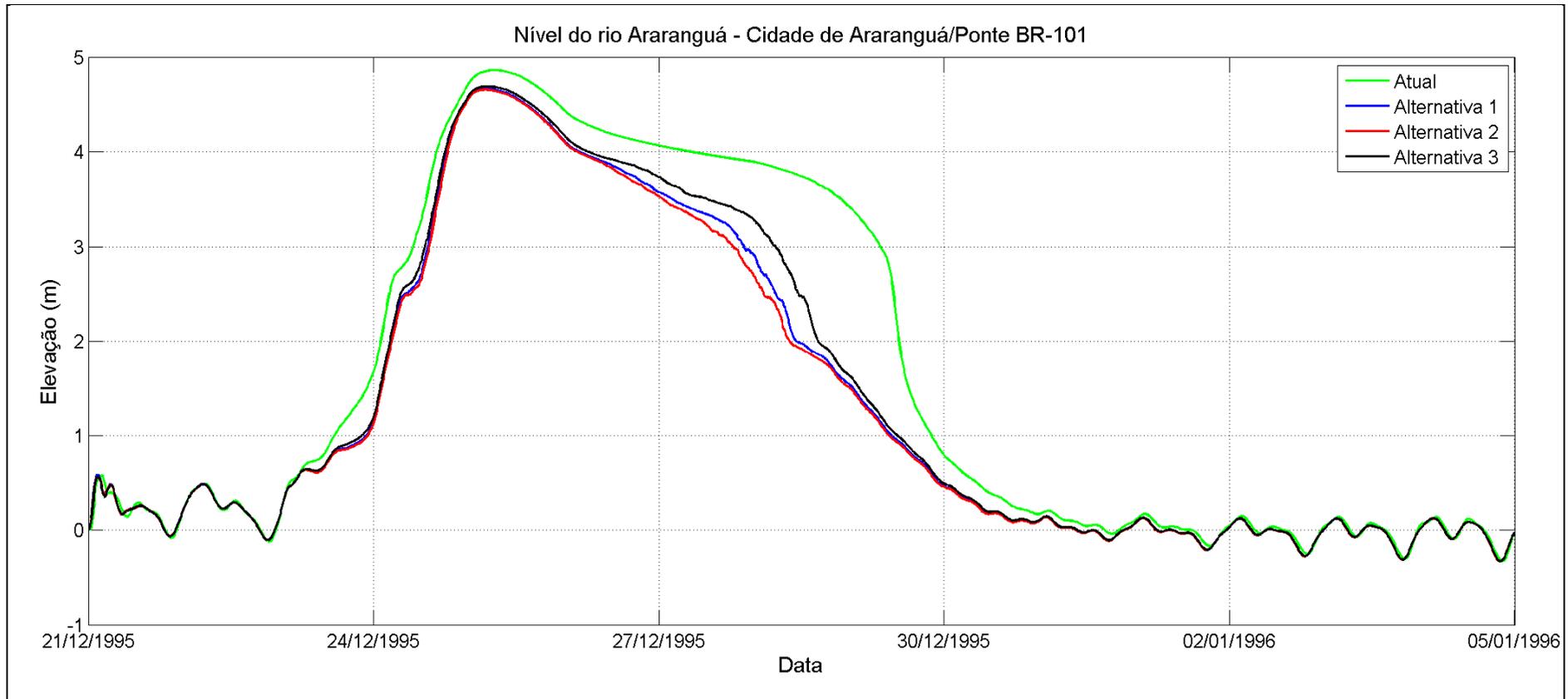


Figura 73 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC1 - Cidade de Araranguá/Ponte BR-101.

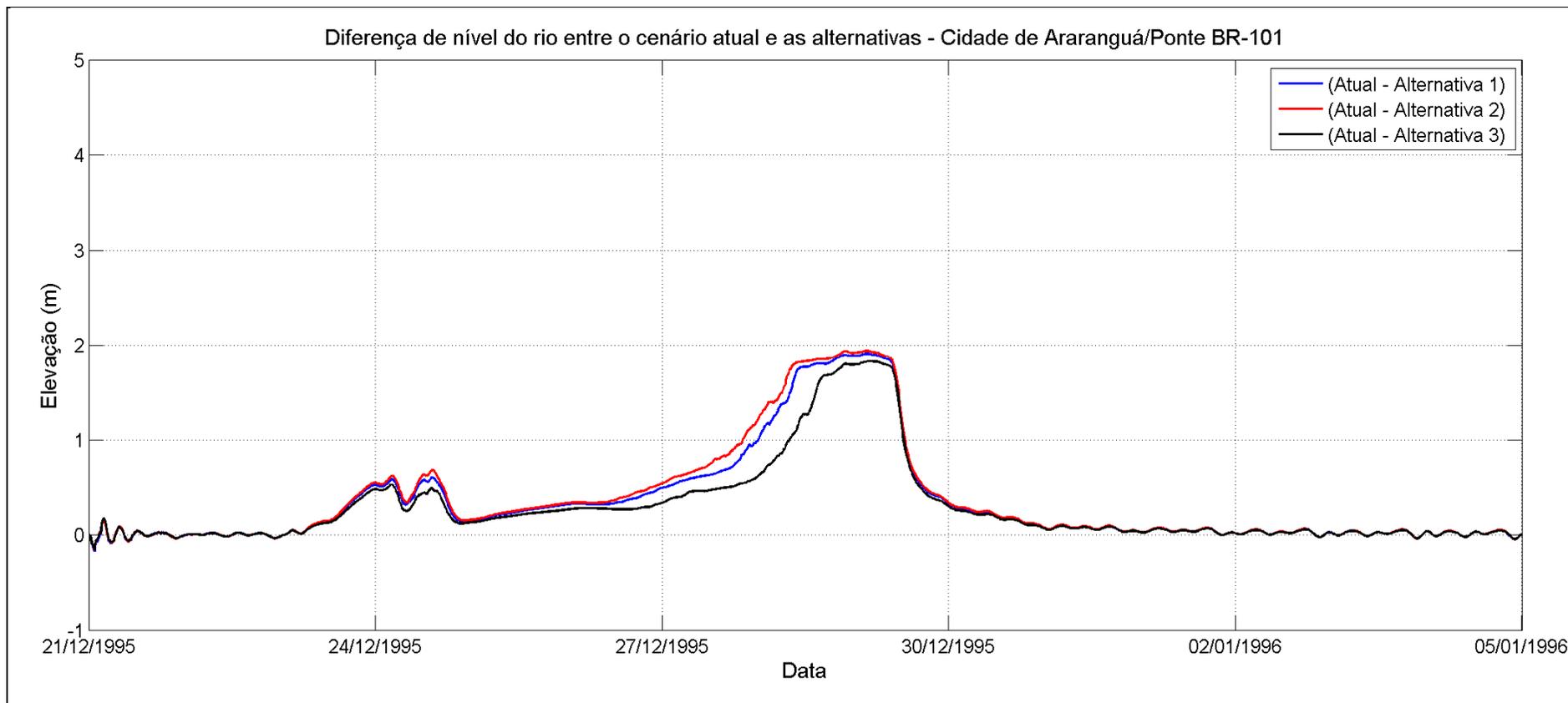


Figura 74 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à cidade de Araranguá/BR-101, para as simulações do evento 3.

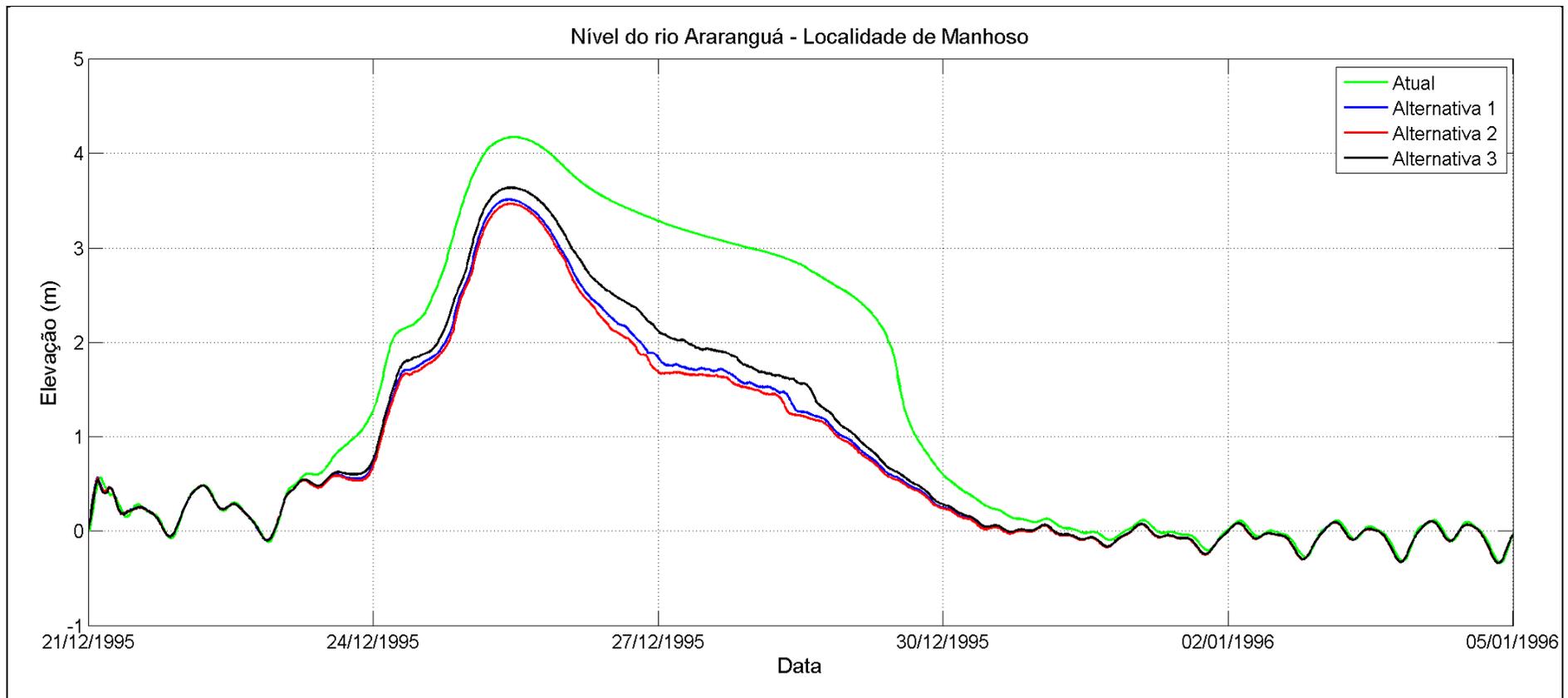


Figura 75 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC2 - Localidade de Manhoso.

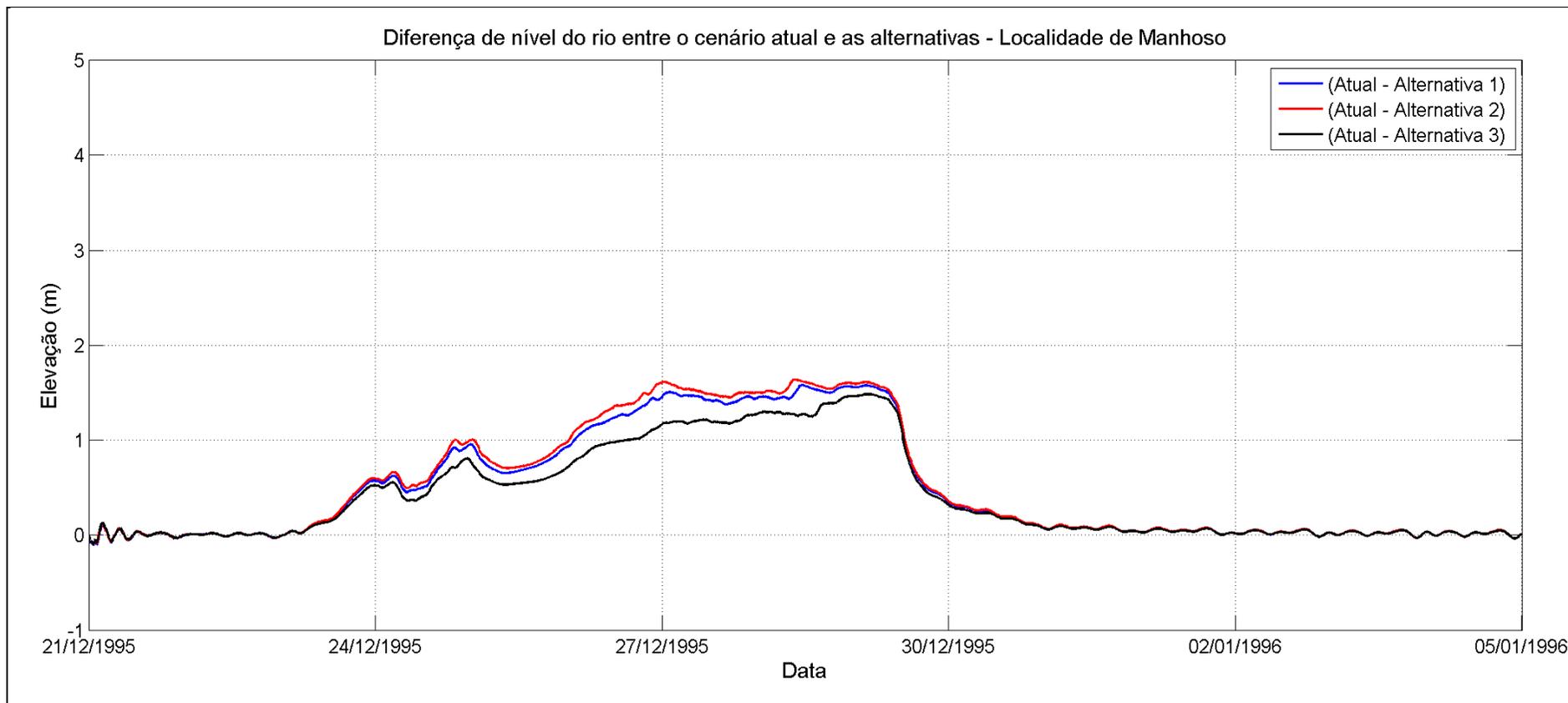


Figura 76 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à localidade de Manhoso, para as simulações do evento 3.

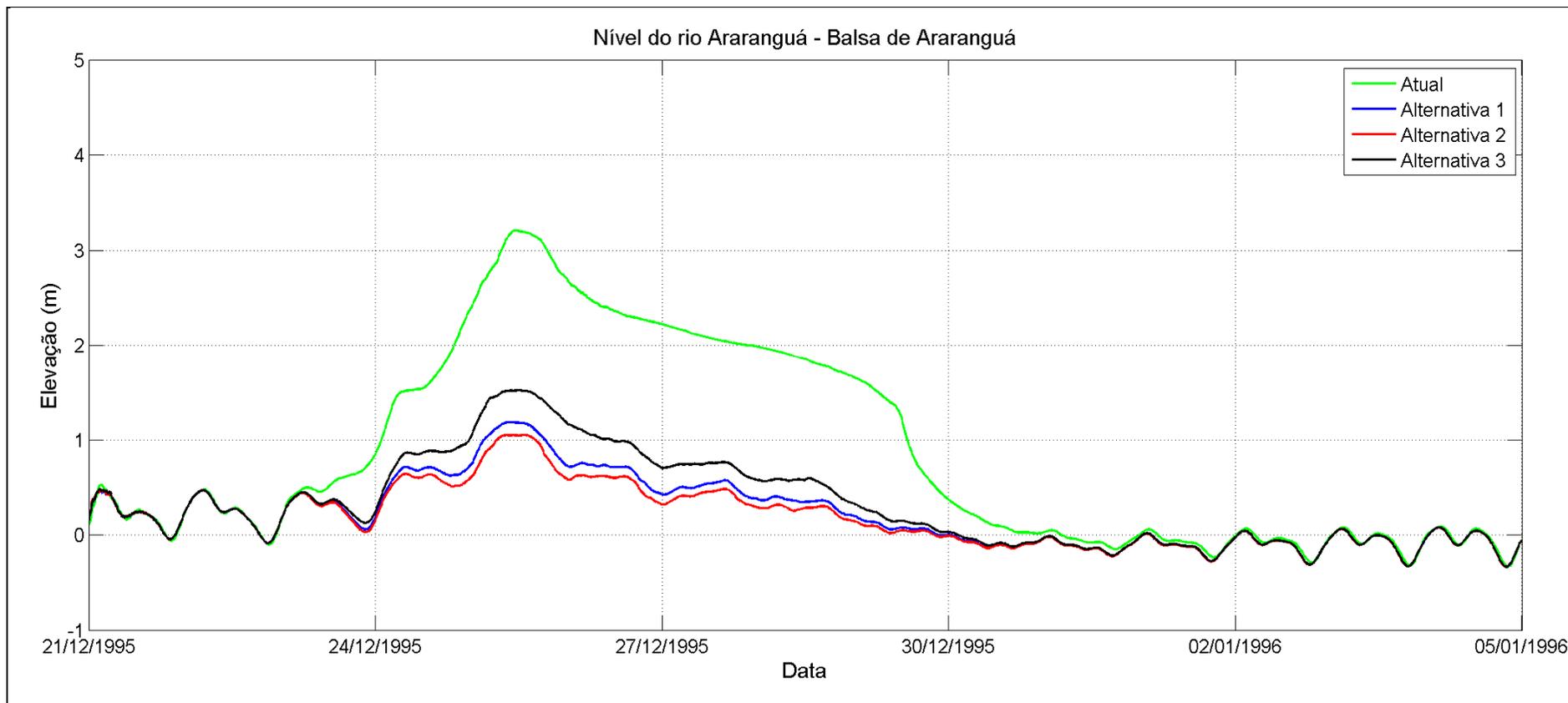


Figura 77 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC3 - Balsa de Araranguá.

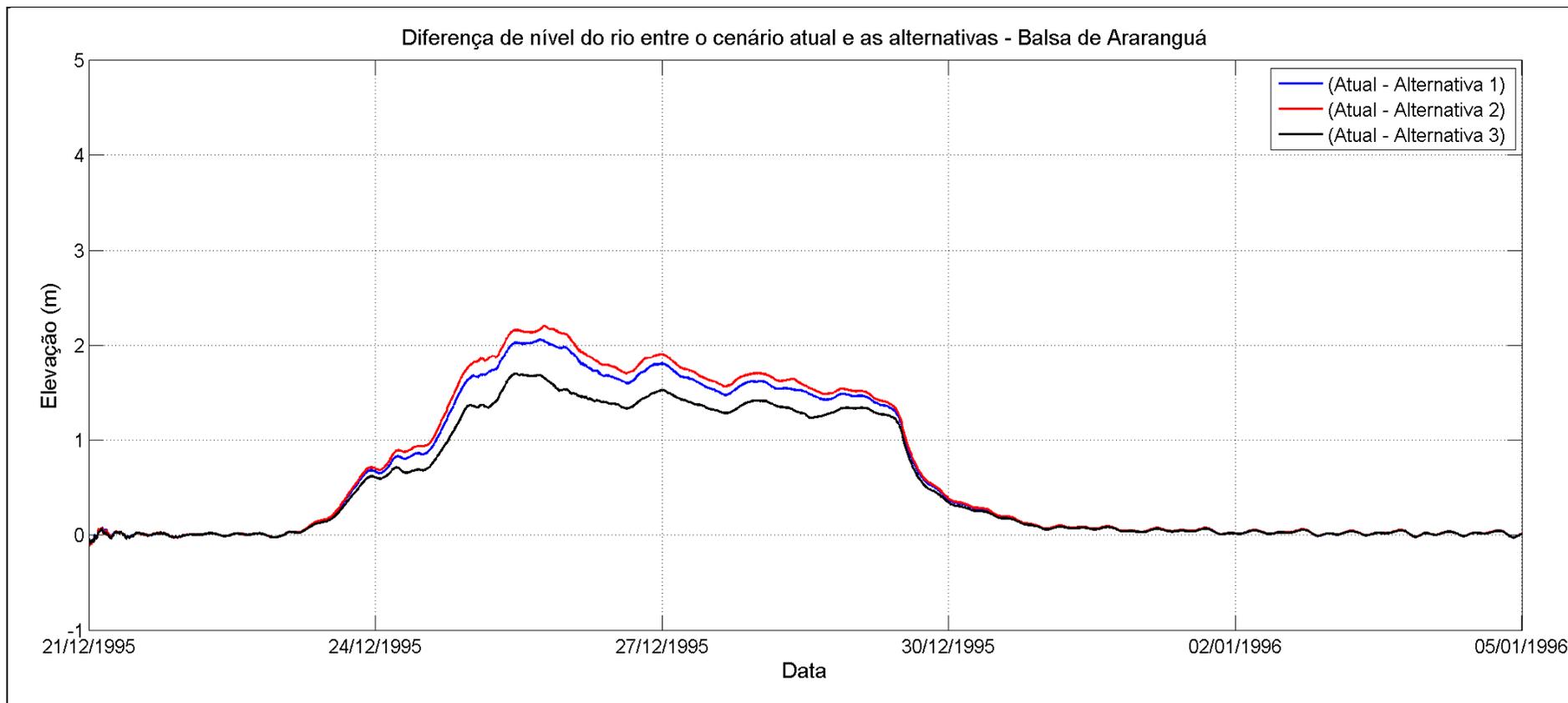


Figura 78 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à balsa de Araranguá, para as simulações do evento 3.

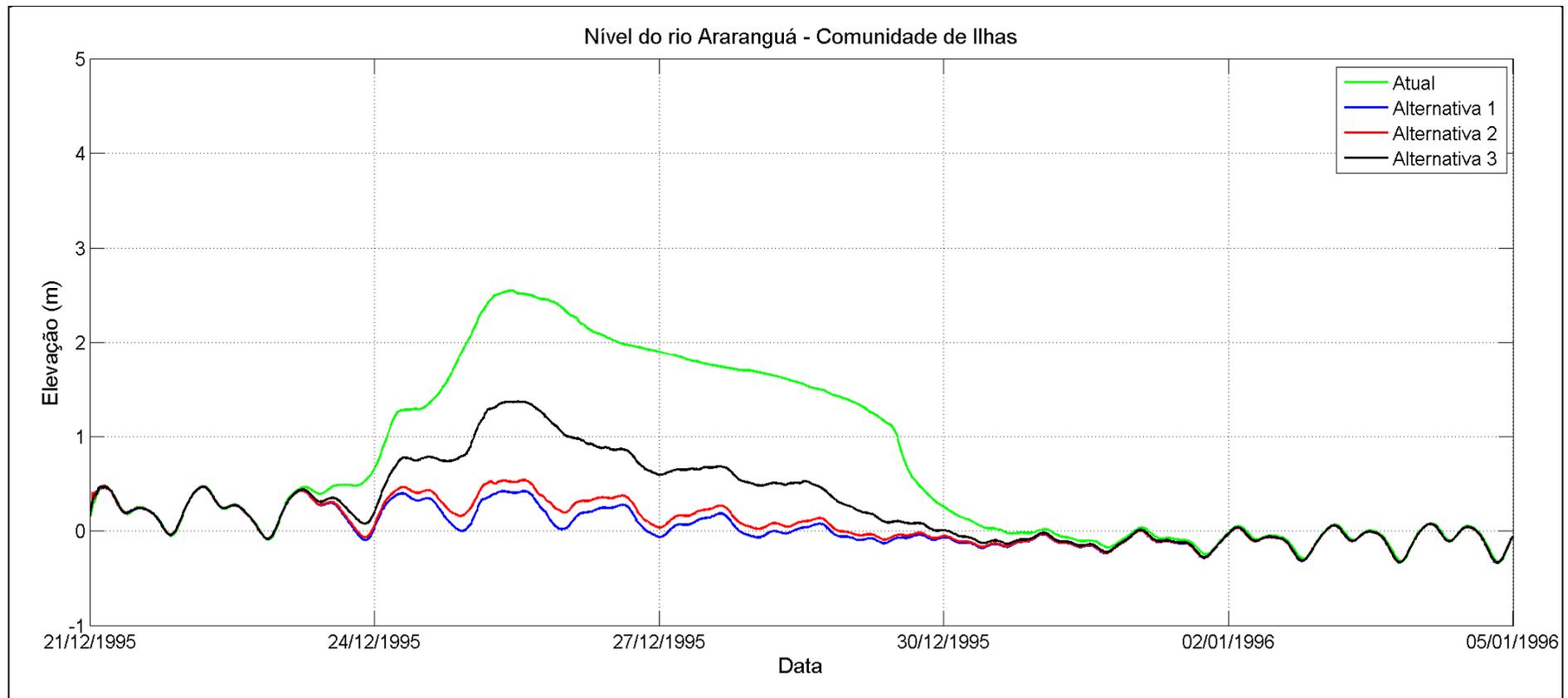


Figura 79 – Série temporal de elevação da superfície da água para o Evento 3, PC4 - Comunidade de Ilhas.

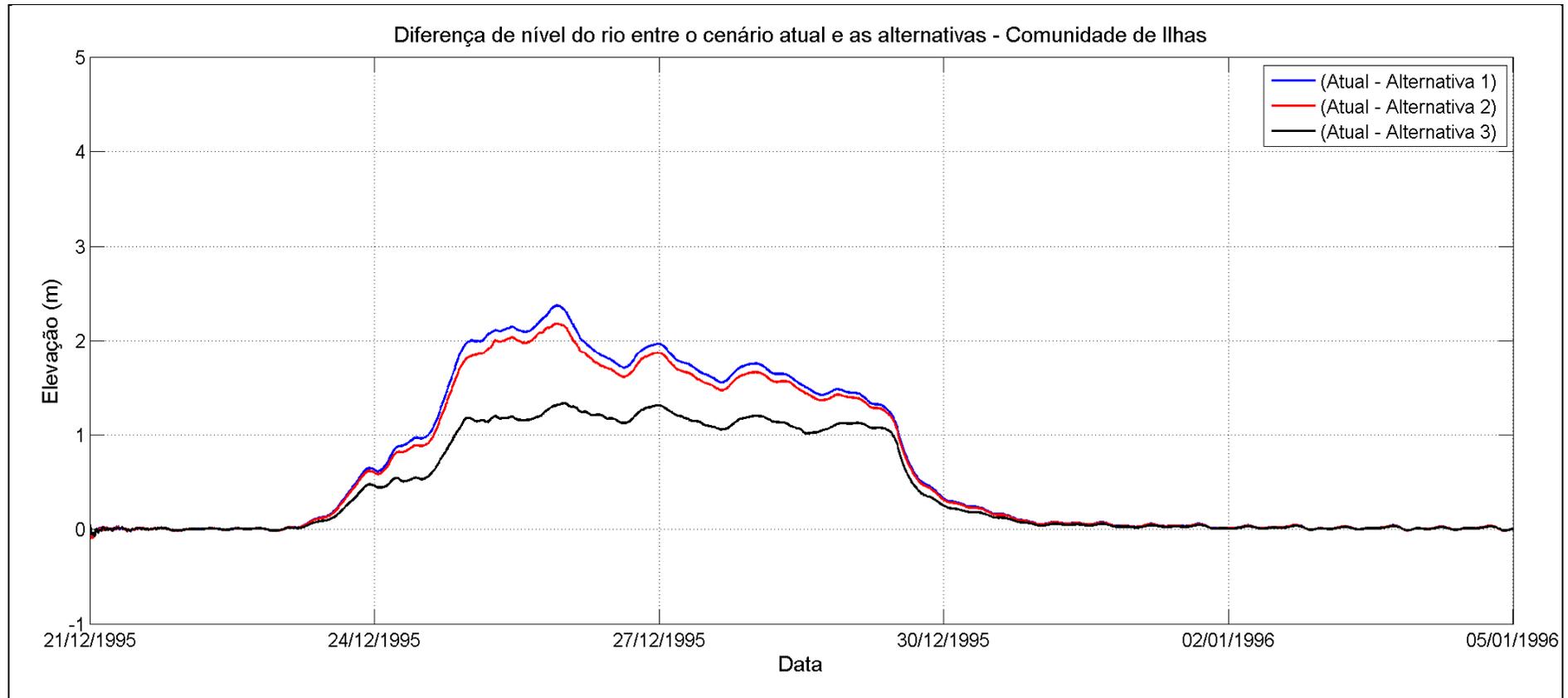


Figura 80 – Diferença de nível da água entre o cenário atual e as alternativas, próximo à Comunidade de Ilhas, para as simulações do evento 3.

O Evento 3 é marcado por um cenário de vazões extremas, para o qual os dados hidrológicos da enchente de 1995 foram multiplicados por um fator de 1,25. Isso torna o Evento 3 um evento de inundação de magnitude extrema. A comparação dos mapas de elevação da superfície da água associados ao Evento 3 também indicam diferenças entre o cenário atual e as 3 alternativas propostas (Figura 61 a Figura 72). Neste evento, tanto no cenário atual quanto nas alternativas, uma grande área adjacente à margem do Rio Araranguá é alagada durante o pico de vazão (tempo 2). Assim como no Evento 2, nas simulações das alternativas de fixação propostas as áreas inundadas são relativamente menores quando comparadas às áreas inundadas do cenário atual. Comparando os mapas de inundações das alternativas propostas, não são observadas diferenças significativas entre a alternativa 1, 2 e 3. No mapa de elevação da superfície da água no tempo 3 (28/12/1995), pode-se observar que, no cenário atual, existem algumas áreas que permanecem inundadas. O mesmo não acontece nas simulações com as alternativas de fixação da barra do Rio Araranguá, demonstrando um escoamento mais rápido das águas e uma diminuição das áreas inundadas.

A comparação das séries temporais de elevação da superfície da água ao longo dos pontos de controle mostra que existe uma diminuição do nível do rio associada às três alternativas estudadas em relação aos resultados do cenário atual. Como observado no Evento 1 e 2, também nota-se um maior escoamento da enchente após o pico de vazão do evento, baixando o nível d'água mais rapidamente ao longo dos rios Araranguá, Itoupava e Mãe Luzia.

As séries temporais de elevação da superfície da água associadas ao Ponto de Controle 1 - próximo à cidade de Araranguá e à Ponte da BR-101 (Figura 73) indicam um sobrenível máximo de aproximadamente 4,8 m associado ao cenário atual. Os resultados da simulação do Evento 3 considerando as alternativas indicam sobrenível máximo de aproximadamente 4,6 m na região da cidade de Araranguá/ponte BR-101. As máximas diferenças entre as séries temporais de elevação associadas às alternativas e ao cenário atual ficam na faixa de 1,9 m (Figura 74).

No Ponto de Controle 2 (localidade de Manhoso), as máximas elevações da superfície da água durante o Evento 3 foram de aproximadamente 4,2 m para o cenário atual e 3,5 m para as alternativas (Figura 75). As séries temporais de nível do rio no cenário atual e com as alternativas (Figura 76) indicaram diferenças máximas de aproximadamente 1,5 m.

No Ponto de Controle 3 - Balsa de Araranguá - as máximas elevações ao longo do período simulado considerando o Evento 3 foram de aproximadamente 3,2 m (cenário atual) e 1,3 m

(alternativas) (Figura 77). As máximas diferenças de nível entre o cenário atual e as alternativas foram de aproximadamente 1,9 m (Figura 78).

No Ponto de Controle 4, próximo à Comunidade de Ilhas, as máximas elevações da superfície da água observadas ao longo das simulações do Evento 3 são de aproximadamente 2,5 m para o cenário atual, 0,5 m para as alternativas 1 e 2 e 1,3 m para a alternativa 3 (Figura 58). As diferenças máximas entre os níveis associados às alternativas e ao cenário atual são de aproximadamente 2,1 m (alternativas 1 e 2) e 1,2 m (alternativa 3) (Figura 80).

Assim como no Evento 1 e 2, no Evento 3, a alternativa 3, de maneira geral, mostrou benefícios inferiores em relação às outras duas alternativas (1 e 2), na ordem de 0,1 a 0,8 m (variando no tempo e ao longo do rio). As diferenças entre as alternativas 1 e 2 são pequenas e podem ser desprezadas.

Na Tabela 4 são apresentados os valores máximos de elevação do rio em cada Ponto de Controle e em cada evento de vazão considerado, e a máxima diferença entre o nível do rio no cenário atual e alternativas 1, 2 e 3.

Tabela 4 – Valores de máxima elevação do nível do rio (m) e máximas diferenças entre o cenário atual e alternativas (m) ao longo da simulação para cada ponto de controle analisado.

Evento	Ponto de controle	Atual	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Nível Máx.	Nível Máx.	Máx. Dif.	Nível Máx.	Máx. Dif.	Nível Máx.	Máx. Dif.
#1	PC 1	3,7	2,6	2	2,5	2	2,8	1,9
	PC 2	2,6	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	1,5
	PC 3	1,8	0,7	1,5	0,6	1,5	0,8	1,4
	PC 4	1,5	0,6	1,5	0,6	1,4	0,7	1,2
#2	PC 1	4,4	4,2	1,8	4,2	1,9	4,2	1,7
	PC 2	3,6	2,6	1,6	2,5	1,7	2,8	1,4
	PC 3	2,4	0,9	1,8	0,8	1,9	1,2	1,5
	PC 4	2,1	0,6	2	0,6	1,9	1,1	1,3
#3	PC 1	4,9	4,7	1,9	4,7	1,9	4,7	1,8
	PC 2	4,2	3,5	1,6	3,5	1,7	3,6	1,5
	PC 3	3,2	1,2	2,1	1,1	2,2	1,5	1,7
	PC 4	2,6	0,6	2,4	0,6	2,2	1,4	1,4

5. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Neste trabalho foram apresentados os procedimentos de implementação e os resultados do modelo numérico utilizado para o estudo de inundação associada a eventos de vazão fluvial extrema no Rio Araranguá, localizado no litoral sul do Estado de Santa Catarina (SC). O objetivo do estudo foi verificar a influência de 3 alternativas de retificação e fixação da barra do Rio Araranguá no sobrenível do rio durante eventos extremos de vazão fluvial (enchentes).

Foram considerados 4 diferentes cenários estruturais/batimétricos nas simulações, sendo um o cenário atual e três alternativas de fixação da barra. A fim de quantificar a influência das três alternativas frente ao cenário atual, foram simulados eventos de vazão fluvial extrema e comparados os valores de elevação da superfície da água ao longo do rio.

A modelagem numérica foi executada com o modelo numérico Delft3D, desenvolvido pela Deltares, sendo considerada a ferramenta mais avançada na atualidade para simulações de ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Para a modelagem hidrodinâmica (de inundação) foi utilizado o módulo Delft3D-Flow.

A batimetria/topografia ao longo da área modelada foi definida com base em uma compilação de dados provenientes de levantamentos realizados em campo e dados digitalizados de cartas náuticas fornecidas pela DHN.

Os cenários simulados indicam que as alternativas de abertura e fixação da barra propostas geram, durante eventos extremos de vazão, uma diminuição dos valores de máxima cota alcançada pelo rio e, conseqüentemente, a diminuição das áreas inundadas em comparação ao cenário atual. Adicionalmente, as intervenções aumentam o escoamento em momentos de extravasamento do rio, diminuindo o tempo de permanência das águas nas áreas inundadas.

A diferença do nível máximo atingido pelo rio durante os eventos de vazão comparando as alternativas ao cenário atual atingiu valores de até 2,2 m. Além disso, os resultados das simulações com as alternativas indicam que a implantação da obra favorece o escoamento das águas, diminuindo o período em que as áreas ficam inundadas. Esse efeito foi observado principalmente na porção do domínio de modelagem situado mais a montante do Rio Araranguá, entre a cidade e a ponte da BR-101.

Os resultados obtidos indicam que as alternativas estudadas exercem maior influência na diminuição do pico de nível do rio em eventos de enchente de magnitude menos intensa

(neste estudo o Evento 1, com série temporal de vazão de 1995 reduzida em 25%). Em eventos de enchente de maior magnitude (Eventos 2 e 3), as alternativas possuem menor influência na redução do máximo nível do rio, porém têm maior influência no período de permanência da inundação, escoando mais rápido após o máximo valor atingido pelas águas.

A diferença entre os resultados das alternativas 1 e 2 são pequenas. Em geral, a alternativa 2 se mostrou levemente mais eficiente na redução do nível do Rio Araranguá nos pontos de controle 1 (Cidade de Araranguá/Ponte da BR-101), 2 (localidade de Manhoso) e 3 (Balsa de Araranguá). A alternativa 1 mostrou uma maior redução no nível no Ponto de Controle 4 (Comunidade de Ilhas), fato que pode ser associado ao espigão curvado que separa a parte do canal paralelo à costa, o qual direciona o fluxo do rio para a nova desembocadura.

A alternativa 3 mostrou-se um pouco menos eficiente em relação às alternativas 1 e 2 na diminuição do nível do rio. Entretanto, de acordo com o estudo dos efeitos das alternativas de fixação da desembocadura do Rio Araranguá no comportamento morfológico da região (CPE, 2009), as alternativas 1 e 2 apresentam uma tendência de deposição de sedimentos e fechamento da desembocadura atual. Dessa maneira, as alternativas 1 e 2 assumiriam as características da alternativa 3.

A hidrologia do Rio Araranguá possui um comportamento singular, dominado por longos períodos de baixa vazão (Q_{90} de aproximadamente $6 \text{ m}^3/\text{s}$, segundo série histórica de vazão da ANA) e eventos de vazão extrema durante poucos dias (vazão superior a $3000 \text{ m}^3/\text{s}$). Esse comportamento do rio, associado à elevada energia de ondas e intenso transporte de sedimentos ao longo da costa, faz com que a desembocadura do rio seja um local de grande deposição sedimentar, o que favorece o assoreamento do canal (CPE, 2009). Os testes conduzidos neste estudo consideraram as alternativas estruturais/batimétricas estáticas, da forma com que foram propostas. A ausência de planos e ações de manutenção das profundidades do canal e conseqüente assoreamento da região entre os molhes certamente influenciaria a eficiência hidráulica do canal, diminuindo os benefícios associados à obra durante eventos extremos de vazão fluvial e inundações associadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, G.A.M. Calibração de perfiladores acústicos de correntes por efeito Döppler para a aquisição de dados de material particulado em suspensão no estuário do rio Araranguá, SC. Itajaí, 2008. 65 f. Monografia (Bacharel em Oceanografia) – CTTMar, UNIVALI.

CPE – COASTAL PLANNING AND ENGINEERING, 2009. Modelagem numérica como subsídio aos estudos à fixação da barra do Rio Araranguá, 99 pp.

CPE – COASTAL PLANNING AND ENGINEERING, 2010. Aquisição de dados oceanográficos em águas rasas – Araranguá – Campanha 1. 39 pp.

D'AQUINO, C.A., SCHETTINI, C.A.F., PEREIRA Fo. J., 2008. Fluvial Modulation of Salt Transport in a Highly Stratified Estuary. Revista. (no prelo)

ECP – Engenheiros Consultores e Projetistas, FATMA – Fundação do Meio Ambiente. Programa de conservação e recuperação ambiental da região sul de Santa Catarina: Projeto E – Recuperação de áreas de disposição de resíduos da mineração do carvão. Florianópolis: 1982. Vol 1. 261p.

FEMAR, 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Rio de Janeiro.

INPH – Instituto de Pesquisa Hidroviária. (1993). Projeto de Abertura e Fixação da Barra do Rio Araranguá-SC. Vol 1.

LEENDERTSE, 1990, STELLING e VAN KESTER, 1994, *apud* Delft3D-FLOW User Manual

MIRANDA, L. B., Castro, B. M. e Kjerve, B., 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. EDUSP, São Paulo. 411 pp.

MONTEIRO, Maurici Amantino. Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na bacia hidrográfica do rio Araranguá. Florianópolis: UFSC, 2007. Tese de Doutorado. 223p.

NILES, D. S. Eventos de Inundação em Araranguá: Tipos de Ocorrências. Criciúma, UNESC, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso, 66p.

PIAVA SUL, 2010. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Araranguá: Fase A (Documento em construção). Comitê do Araranguá, Criciúma, 2010.

SANTA CATARINA, SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E



MEIO AMBIENTE. Plano Básico de Desenvolvimento Ecológico-Econômico-Associação dos Municípios da Região Carbonífera. Florianópolis, SDM. 1997.

STOMMEL, H., 1953. The Role of Density Currents in Estuaries. *Proc. Minnesota International Hydraulics Convention*, Minneapolis, University of Minnesota, pp. 305-312.