



Estudo de Concepção

Estudos de concepção e anteprojetos de engenharia para RDC contratação integrada (Lei nº 12462/2011) para proteção contra cheias do rio Gravataí e afluentes em Alvorada e Porto Alegre-RS



Dezembro | 2016
Canoas | RS



SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	8
1 APRESENTAÇÃO	9
2 SITUAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE	10
3 OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo Geral	13
3.2 Objetivos Específicos	13
4 DIRETRIZES GERAIS	14
5 ESTUDO DE CONCEPÇÃO	17
5.1 Estudos hidrológicos	19
5.1.1 Cheias do Rio Gravataí e Níveis Extremos no Guaíba.....	19
5.1.2 Cheias nas Bacias Hidrográficas dos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João, Águas Belas e Área Industrial	22
5.2 Simulação hidráulica do sistema	31
5.2.1 Modelo Hidrodinâmico e Base Cartográfica Empregado.....	31
5.2.2 Manchas de Inundações.....	36
5.2.2.1 Inundações decorrentes do rio Gravataí	36
5.2.2.2 Inundações oriundas das Bacias Internas	40
5.3 Avaliação de risco de inundação	44
5.4 Concepção das soluções e proposição de alternativas	46
5.4.1 Considerações Gerais.....	46
5.4.1 Áreas de Reserva Selecionadas para Amortecimento das Cheias	49
5.4.2 Alternativas Estruturais Elencadas para Proteção das Cheias do rio Gravataí....	52
5.4.2.1 Alternativa 1 - Solução Diques Internos	53
5.4.2.2 Alternativa 2 - Solução Corta Rio.....	56
5.4.2.3 Alternativa 3 - Solução Dique Interno com Reservatórios de Amortecimento das Cheias Internas oriundas dos arroios.....	61
5.4.2.4 Alternativa 4 - Solução Mista	63
5.4.3 Modelagem Hidrodinâmica das Soluções Cotejadas.....	63
5.4.3.1 Determinações da Cotas de Coroamentos do Dique Principal	64
5.4.3.2 Determinações das Cotas de Coroamentos dos Diques Internos	64
5.4.3.3 Modelagem da Solução sem Diques Internos para os arroios internos	66
5.4.4 Estudo de Concepção dos Maciços dos Diques e Margens dos arroios	69
5.4.4.1 Considerações Geotécnicas Locais.....	70
5.4.4.2 Alternativas de Maciços	78
5.4.4.3 Seleção dos Maciços	83
5.4.4.4 Revestimentos e Estabilização das Margens.....	92
5.4.5 Quantitativos e Orçamentação das Obras Estruturais.....	98
5.4.5.1 Memorial Descritivo	99



5.4.5.2	Diques Externo junto ao Gravataí.....	100
5.4.5.3	Diques Internos	100
5.4.5.4	Bacias de amortização/ barragens	101
5.4.5.5	Casas de Bombas.....	101
5.4.5.6	Pontes	101
5.4.5.7	Dragagens dos Arroios e Conformação das Margens.....	101
5.4.5.8	Readequação da Macrodrenagem Interna	102
5.4.5.9	Realocações	102
5.4.5.10	Indenização	103
5.4.5.11	Custos de Projetos, EIA e Programas Ambientais e Sociais.....	103
5.4.5.12	Custos das Alternativas Estruturais Estudadas	103
5.4.5.13	Custos de Operação e Manutenção	109
6	CONCLUSÕES.....	111
7	EQUIPE TÉCNICA.....	114
8	CRONOGRAMA.....	115
9	REFERÊNCIAS	117
10	ANEXOS.....	118
	Anexo 1. Memórias de cálculo	119
	Anexo 2. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio Águas Belas.....	120
	Anexo 3. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário futuro arroio Águas Belas.....	122
	Anexo 4. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio Feijó.....	124
	Anexo 5. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário futuro arroio Feijó	126
	Anexo 6. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio São João	128
	Anexo 7. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário futuro arroio São João.....	130
	Anexo 8. Mapa áreas de risco edificações.....	132
	Anexo 9. Mapa áreas de risco pessoas.....	134
	Anexo 10. Seções tipo selecionadas para a Alternativa do Corta Rio	136
	Anexo 11. Seções tipo selecionadas para a Alternativa dos Diques Internos.....	138
	Anexo 12. Seções transversais	140
	Anexo 13. Mapas da residências a serem reassentadas	141
	Anexo 14. Mapas das áreas a serem indenizadas.....	144





Lista de figuras

Figura 1. Localização da área de estudo 11

Figura 2. Situação das áreas 12

Figura 3. Ajuste da distribuição de Probabilidade de extremo tipo Log-Pearson III, em papel probabilístico Weibull, para os registros históricos dos NA no Lago Guaíba (Datum Vertical Imbituba IBGE) 21

Figura 4. Polígonos de Thiessen sobre a AEH 22

Figura 5. Subdivisão das bacias dos arroios Santo Agostinho e Feijó..... 24

Figura 6. Subdivisão da bacia do arroio São João 24

Figura 7. Subdivisão da bacia do arroio Águas Belas 25

Figura 8. Subdivisão da bacia do Distrito Industrial..... 25

Figura 9. Áreas de abrangência inserida no HEC-RAS para modelagem hidrodinâmica não-permanente..... 33

Figura 10. Exemplo da linha de água de saída HEC-RAS após a modelagem. Resultado da Cheia de 2015 para níveis máximos de água calculados..... 34

Figura 11. Representação das Pontes sob o rio Gravataí inseridas no modelo HEC-RAS..... 35

Figura 12. Linhas de água ao longo do rio Gravataí para diferentes Tempo de Retorno 36

Figura 13. Linhas de água ao longo do rio Gravataí para diferentes tempo de retorno comparadas ao evento de 2015 37

Figura 14. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí em 2015 37

Figura 15. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 2 anos 38

Figura 16. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 10 anos 38

Figura 17. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 25 anos 39

Figura 18. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 50 anos 39

Figura 19. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 100 anos 40

Figura 20. Perfil das linha de água no arroio Águas Belas para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo..... 41

Figura 21. Perfil das linha de água no arroio Águas Belas para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo 41

Figura 22. Perfil das linha de água no arroio Feijó para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo 41

Figura 23. Perfil das linha de água no arroio Feijó para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo..... 42

Figura 24. Perfil das linha de água no arroio Santo Agostinho para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo 42

Figura 25. Perfil das linha de água no arroio Santo Agostinho para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo..... 42

Figura 26. Perfil das linha de água no arroio São João para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo 43

Figura 27. Perfil das linha de água no arroio São João para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo..... 43

Figura 28. Nível de perigo para casas em função do fator velocidade-profundidade 45

Figura 29. Nível de perigo para “trailers” em função do fator velocidade-profundidade..... 45





Figura 30. Nível de perigo para veículos de passageiros em função do fator velocidade- profundidade	45
Figura 31. Nível de perigo para adultos em função do fator velocidade profundidade.....	45
Figura 32. Comparação da linha de água no evento de cheia de 2015 sem e com o dique principal proposto	49
Figura 33. Áreas de reservação preliminares.....	50
Figura 34. Áreas de reservação após análise.....	51
Figura 35. Áreas de reservação selecionadas.....	52
Figura 36. Traçado do dique principal junto a margem esquerda do rio Gravataí	54
Figura 37. Traçado do Dique Principal na Solução Corta Rio	56
Figura 38. Áreas de reservação e dique principal.....	57
Figura 39. Bacias Internas conectadas as estações de bombeamento e reservatórios de amortecimento para configuração de diques internos da alternativa 3	62
Figura 40. Comparação da linha de água de cheias no rio Gravataí para diferente Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique principal na margem esquerda	64
Figura 41. Comparação das linhas de águas no arroio Águas Belas para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno	65
Figura 42. Comparação das linhas de águas no arroio Feijó para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno	65
Figura 43. Comparação das linhas de águas no arroio Santo Agostinho para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno	65
Figura 44. Comparação das linhas de águas no arroio São João para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno	66
Figura 45. Perfil da linha de água do arroio Santo Agostinho para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio.....	67
Figura 46. Perfil da linha de água do arroio Feijó para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio.....	67
Figura 47. Perfil da linha de água do arroio São João para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio.....	68
Figura 48. Perfil da linha de água do arroio Águas Belas para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio.....	68
Figura 49. Propagação da cheia Tr 25 anos condição de ocupação futura na bacia pelo método de Puls no reservatório AB0 01	69
Figura 50. Propagação da cheia Tr 25 anos condição de ocupação futura na bacia pelo método de Puls no reservatório AB0 02	69
Figura 51. Resultados Nspt x Profundidade (comparativo de todas as sondagens).....	72
Figura 52. Resultados Nspt x Profundidade (Dique Principal e Dique Distrito Industrial)	73
Figura 53. Resultados Nspt x Profundidade (Local: Arroio Internos)	73
Figura 54. Resultados CPTU x Profundidade (Dique Principal e Arroios)	74
Figura 55. Resultados CPTU em cada local (Dique Principal)	75
Figura 56. Resultados Ensaio de Palheta (Indeformada/Amolgada) x Profundidade	77
Figura 57. Bermas de Equilíbrio	79
Figura 58. Bermas de Equilíbrio – Dique Principal.....	79





Figura 59. Alternativas de métodos construtivos de aterros sobre solos moles 80

Figura 60. Comparação entre custos relativos de solução, em %/km (DNER-PRO 381/98) ... 85

Figura 61. Seção Tipo 01 (Dique): Aterros com alteamento de diques ou aterros existentes, já consolidados (FIERGS)..... 87

Figura 62. Seção Tipo 02 (Dique): Aterros com reforço da base através de geogrelhas e aceleração de recalques com geodrenos 88

Figura 63. Seção Tipo 03 (Dique): Aterro estaqueado com laje de concreto e capitéis na base 89

Figura 64. Seção Tipo 04 (Dique): Aterro sobre fundação sem solos moles 90

Figura 65. Aceleração de recalques com geodrenos e sobrecarga temporária (DNER-PRO 381/98)..... 91

Figura 66. Seção Tipo 01 (Arroios): Segmentos em zona rural ou sem edificações nas margens 95

Figura 67. Seção Tipo 02 (Arroios): Segmentos com edificações/ocupações numa só margem 96

Figura 68. Seção Tipo 03 (Arroios): Segmentos com edificações/ocupações em ambas as margens 97

Figura 69. Locais sugeridos para bota-fora..... 102

Lista de quadros

Quadro 1. Vazões médias diárias máximas anuais na estação fluviométrica Passo das Canoas (8740000)..... 19

Quadro 2. Vazões máximas médias diárias com diferentes tempos de retorno para a estação fluviométrica Passo das Canoas (87400000) obtidos pelo ajuste da distribuição de Probabilidade de extremo tipo Log-Pearson III 19

Quadro 3. Dados históricos dos Níveis do Lago Guaíba..... 20

Quadro 4. NA no Lago Guaíba para diferentes tempos de retorno (Datum Vertical Imbituba IBGE) com registro histórico de 1899 a 2015 21

Quadro 5. Precipitações com diferentes durações e Tempo de Retorno obtidas pelos coeficientes de desagregação do IDF Nacional com os dados máximos diários proveniente da Estação Cachoeirinha 22

Quadro 6. Equações IDF das precipitações extremas a serem empregadas na AEH..... 23

Quadro 7. CN Atual e Futuro das Bacias da área interna ao dique..... 23

Quadro 8. Características das Bacias Urbanas dos arroios Santo Agostinho e Feijó..... 26

Quadro 9. Características das Bacias Urbanas do arroio São João 27

Quadro 10. Características das Bacias Urbanas do arroio Águas Belas 27

Quadro 11. Características das Bacias Urbanas do Distrito Industrial..... 28

Quadro 12. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para arroios Santo Agostinho e Feijó 28

Quadro 13. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para arroio São João 29

Quadro 14. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para arroio Água Belas 29





Quadro 15. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para Distrito Industrial.....	30
Quadro 16. Edificações sujeitas a inundação nos arroios Santo Agostinho, Feijó, são João e Águas Belas.....	43
Quadro 17. Critérios para graduação do perigo para seres humanos	46
Quadro 18. Critérios para graduação do perigo para edificações	46
Quadro 19. Quantificação do perigo para pessoas	46
Quadro 20. Quantificação do perigo para edificações	46
Quadro 21. Áreas de reservação preliminares.....	49
Quadro 22. Áreas de reservação após análise.....	51
Quadro 23. Áreas de reservação selecionadas	52
Quadro 24. Elevação do coroamento do Dique Principal na Foz dos arroios e Rodovias Principais.....	53
Quadro 25. Diques internos, critérios adotados para determinação da CC e borda livre	55
Quadro 26. Estações Elevatórias Definidas para a proposição de diques internos e suas respectivas vazões de dimensionamento.....	55
Quadro 27. Proposição de Dragagem do arroio Santo Agostinho para Solução Corta Rio.....	58
Quadro 28. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio Santo Agostinho	58
Quadro 29. Proposição de Dragagem do arroio Feijó para Solução Corta Rio.....	58
Quadro 30. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio Feijó	59
Quadro 31. Proposição de Dragagem do arroio São João para Solução Corta Rio	59
Quadro 32. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio São João.....	60
Quadro 33. Proposição de Dragagem do arroio Águas Belas para Solução Corta Rio.....	60
Quadro 34. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio Águas Belas.....	60
Quadro 35. Principais Obras Envolvidas na Alternativa 3	63
Quadro 36. Resumo de Perfis Típicos da Fundação do Dique Principal	78
Quadro 37. Concepções de alternativas de maciços e detalhes executivos (aterros sobre solos moles)	82
Quadro 38. Aplicabilidade das alternativas de solução em função da Classe do Aterro e do tipo de solo de fundação (DNER-PRO 381/98).....	84
Quadro 39. Concepções de alternativas de revestimentos e estabilização das margens.....	94
Quadro 40. Serviços e descrição/origem dos serviços levantadas para dimensionamento das obras das alternativas cotejadas no estudo de concepção.....	99
Quadro 41. Custo de implantação e substituição das Pontes.....	101
Quadro 42. Valor do reassentamento	103
Quadro 43. Valor da desapropriação.....	103
Quadro 44. Orçamento da Alternativa 1 - Solução Diques Internos	104
Quadro 45. Orçamento da Alternativa 2 - Solução Corta Rio.....	105
Quadro 46. Orçamento da Alternativa 3 - Solução Dique Interna com Reservatórios de Amortecimento.....	106
Quadro 47. Orçamento da Alternativa 4 - Solução Mista	107
Quadro 48. Orçamento da Alternativa 1 - Solução Diques Internos (operação e manutenção)	110
Quadro 49. Orçamento da Alternativa 2 - Solução Corta Rio (operação e manutenção)	110





Quadro 50. Orçamento da Alternativa 3 - Solução Dique Interna com Reservatórios de Amortecimento (operação e manutenção)	110
Quadro 51. Orçamento da Alternativa 4 - Solução Mista (operação e manutenção)	110
Quadro 52. Custo total das Alternativas e seus respectivos custos de O&M	113
Quadro 53. Equipe Técnica	114





LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
COTS	Caderno de Orientação do Trabalho Técnico Social
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONCAR	Comissão de Nacional de Cartografia
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do exército
FEE	Fundação de Economia e Estatística
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias
METROPLAN	Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional
MNT	Modelo Numérico do Terreno
PBRG	Plano de Bacia do Rio Gravataí
RDC	Regime Diferenciado Contratações Públicas
RG	Registro Geral
RN	Referência de Nível
RRT	Registro de Responsabilidade Técnica
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil
SP	Sondagem a Percussão
SPT	Standard Penetration Test
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente
STE	Serviços Técnicos de Engenharia S.A.
TR	Termo de Referência
Tr	Tempo de retorno
UTM	Universal Trasversa de Mercator



1 APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico intitula-se Estudo de Concepção e corresponde a entrega do Produto 14. Visa atender aos preceitos estipulados pelo Termo de Compromisso nº 0402.492-52/2012, processo administrativo nº 000688-22.64/14-0 e Contrato de Prestação de Serviços nº 001/2015 firmado entre: Serviços Técnicos de Engenharia - STE S.A. (doravante denominada STE S.A.) e a Contratante METROPLAN – Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (doravante denominada METROPLAN). O instrumento contratual que regula os serviços foi originado a partir do processo licitatório vinculado ao Edital Concorrência denominado Estudos de Concepção e Anteprojetos de Engenharia para RDC contratação integrada (Lei nº 12.462/2011) de Proteção contra Cheias do rio Gravataí e Afluentes em Alvorada e Porto Alegre/RS e respectivos Anexos, do qual a empresa STE S.A. resultou vencedora.

Quanto ao cronograma tem-se a primeira prorrogação de prazo solicitada por parte da Consultora em 14 de setembro de 2015 no qual o prazo foi prorrogado para o dia 20 de janeiro. O segundo Termo Aditivo, datado de 17 de novembro de 2015 estendeu o prazo em 180 dias, ficando com prazo para 20 de julho; o terceiro prorroga o prazo para o dia 20 de dezembro. Em novembro de 2016 foi solicitado novo aditivo de prazo, prorrogando o término do contrato para o dia 28 de abril de 2017.



2 SITUAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE

A área de interesse está inserida na Região Metropolitana de Porto Alegre, e intercepta os municípios de Porto Alegre, Viamão e Alvorada. No contexto hidrográfico, está inserida na Região Hidrográfica do Guaíba, Bacia do Rio Gravataí (G010), situada na porção nordeste do Rio Grande do Sul.

De acordo com dados do Plano de Bacia do Rio Gravataí- PBRG (SEMA, 2011), a área de drenagem da bacia totaliza uma área de 2.020 km² e está delimitada ao sul pela região hidrográfica das bacias litorâneas, ao norte pela bacia do rio dos Sinos (G020), a oeste pela bacia do Lago Guaíba (G080) e a sudeste Litoral Médio (L020). Abrange os municípios de Porto Alegre, Canoas, Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Gravataí, Glorinha, Taquara e Santo Antônio da Patrulha (Figura 1).

O relevo plano da bacia propiciou ao seu principal curso d'água desenvolver-se como um rio de planície, de baixa velocidade, sinuoso e com muitos meandros. Essas características favoreceram a formação de terraços de inundação, onde se desenvolvem atividades de agricultura irrigada que imprimiram ao sistema hidrográfico uma malha de canais de irrigação artificiais. O uso da água para irrigação prejudica o abastecimento de água em períodos de estiagem, gerando conflito pelo seu uso na bacia.

A bacia do rio Gravataí caracteriza-se fisicamente por apresentar maiores elevações ao norte, menores ao sul e a oeste e uma planície central (SEMA, 2011). O rio Gravataí, principal curso d'água da bacia, forma-se no município de Santo Antônio da Patrulha, junto a uma extensa área alagadiça conhecida como Banhado Grande, percorrendo a bacia no sentido oeste-leste, desaguando no Delta do Rio Jacuí, onde se forma o Lago Guaíba (SEMA, 2011).

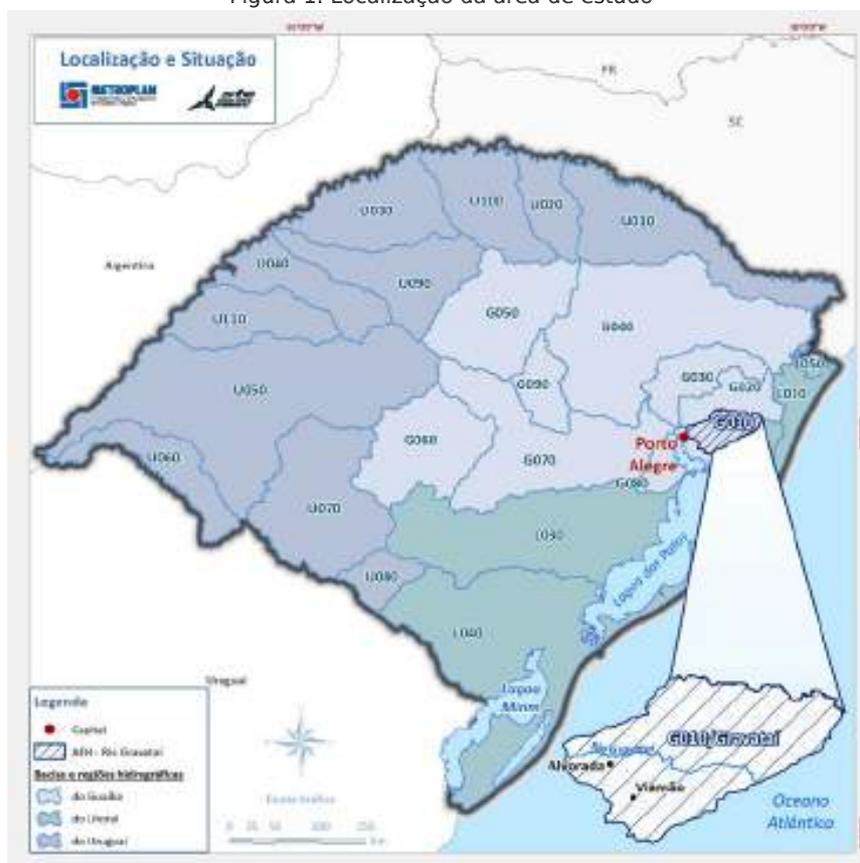
Devido à proximidade e interrelação da área de estudo com municípios adjacentes, Canoas, Cachoeirinha e Viamão, faz-se importante delimitar a área de interesse considerando o escopo do estudo de concepção, dividida em cinco recortes geográficos.

A necessidade de subdivisão da área tem por objetivo balizar as diferentes informações primárias e/ou secundárias a serem trabalhadas, provendo o detalhamento esperado para o anteprojeto do dique e macrodrenagem pluvial urbana dos polders. São elas:

- Área estudo hidrológico rio Gravataí (AEH)
- Área do Termo de Referência (TR)
- Área de Restituição Aerofotogramétrica (ARA)
- Área de estudo hidrodinâmico
- Área para Fins de Planejamento Urbano e Ambiental (APUA)



Figura 1. Localização da área de estudo



Os estudos hidrológicos direcionados para dimensionamento da cota de coroamento do dique terão sua abrangência à bacia hidrográfica do rio Gravataí, cuja área territorial é de 2.020 km² (Área estudo hidrológico rio Gravataí). O trecho de interesse é o tramo entre a RS-118 e o Lago Guaíba, conforme já descrito. Os cursos de águas de interesse para a determinação das vazões internas ao polder, formado pelo dique serão aqueles definidos por áreas hidrográficas superiores a 100 ha e delimitados pela cartografia disponível, bem como, a bacia hidrográfica dos arroios Feijó e Águas Belas. Na Figura 2 é apresentada a área de interesse dos estudos hidrológicos que será empregada neste estudo.

A Área do Termo de Referência delimitada de modo a contemplar, além da área indicada no item 4 do Termo de Referência (TR), áreas adjacentes que fossem relevantes à elaboração do presente estudo. Portanto, possui os seguintes limites: ao norte, a margem direita do rio Gravataí ao longo da extensão do dique projetado (figura 2 do TR), a leste a RS-118 ou o divisor de águas mais próximo a esta, ao norte o divisor de águas da área de drenagem interna à área de estudo (considerando, sempre que possível, vias existentes) e a oeste o limite da sub-bacia do arroio Feijó até o encontro com a avenida Bernardino Silveira Amorim, por onde segue até a avenida Assis Brasil, desta segue a direita até a BR-290 onde, no sentido capital-interior prossegue em direção a ponte sobre o rio Gravataí, onde encontra novamente a margem direita do mesmo, totalizando 144,84 km², conforme pode ser visto





na Figura 2. Ainda foi necessário acrescentar a bacia do arroio Santo Agostinho totalizando 152,2 km².

A restituição estará limitada nas aerofotos disponibilizadas do município de Alvorada, ao Sul pela elevação altimétrica de 20 m, e, ao norte, leste e oeste pelo limite das ortofotos, conforme ilustrado na Figura 2, contemplado no máximo 45 km².

A Área de Estudo Hidrodinâmico contemplará 2,5 km de largura da várzea de inundação do rio Gravataí, internas aos diques existentes de proteção, desde o Lago Guaíba até 9 km a montante da RS-118. Para os canais internos de macrodrenagem, arroio Feijó e arroio Águas Belas, a área de modelagem será aquela compreendida pelo levantamento topobatimétrico disponível, consolidado juntamente com a Fiscalização, limitada a 400 seções de 50 m de extensão.

A APUA será aquela definida após consolidação do estudo de concepção e viabilidade das obras a serem implantadas pelo RDC. Naturalmente, ela caracteriza-se pela área diretamente afetada pelo dique e polders e das obras projetadas em nível conceitual, limitada à ARA.

Figura 2. Situação das áreas





3 OBJETIVOS

Em continuidade, são relacionados os objetivos gerais e específicos dos serviços em questão:

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo principal elaborar os estudos de concepção e anteprojetos de engenharia para RDC contratação integrada (Lei Federal nº 12.462/2011) para proteção contra cheias do rio Gravataí e afluentes em Alvorada e Porto Alegre/RS, delimitada pelas áreas de estudo descritas no item anterior.

3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, o trabalho terá como metas específicas de acordo com o TR a concepção geral que envolve a extensão do dique projetado de proteção contra cheias do rio Gravataí no perímetro do município de Alvorada, bem como os diques internos nos arroio Feijó e Águas Belas, casas de bombas para a drenagem interna aos diques e medidas não-estruturais complementares.

Portanto, os objetivos específicos do trabalho em tela constam dos seguintes itens de acordo com o TR:

- Avaliação do risco de inundação devido ao extravasamento do rio Gravataí e afluentes pela margem esquerda e direita em Alvorada (e Porto Alegre, no caso do Feijó);
- Análise de alternativa do traçado do dique e de sua altura frente ao risco de proteção previsto para a área;
- Análise da capacidade conjugada de armazenamento, canalização e bombeamento para atender a demanda.

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho serão entregues produtos parciais, que conforme previsto no TR estão divididos em:

- Consolidação do plano de trabalho;
- Participação Pública;
- Levantamento dos Dados;
- Diagnóstico;
- **Estudo de Concepção;**
- Anteprojetos de Engenharia;
- Projeto de Trabalho socioambiental;
- Plano de ação.



4 DIRETRIZES GERAIS

De acordo com o TR, o estudo contemplará as seguintes diretrizes para o desenvolvimento:

- Os anteprojetos de engenharia das medidas de controle estruturais serão elaborados, no que couber, em conformidade com as Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- Lei Federal nº 12.462, de 04 de agosto de 2011 e atualizações, que dispõe sobre o Regime Diferenciado de Contratações (RDC);
- Orientações para operacionalização de RDC Contratação Integrada da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades¹, de maio de 2013;
- Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais (Programa 2040), da Sistemática 2012 do Ministério das Cidades;
- O Estudo de Concepção compreende o desenvolvimento de estudos de alternativas de solução(ões) e modernização técnica para ampliação e melhoria dos sistemas de drenagem para prevenção de inundações locais e promoção do escoamento regular das águas pluviais, a jusante e a montante, proporcionando segurança sanitária, patrimonial e ambiental;
- Todas as diretrizes, estudos, projetos e planos diretores, em nível municipal, estadual e federal, que possam ter influência ou sobreposição sobre os estudos a serem desenvolvidos, inclusive os Planos de Drenagens Pluviais existentes (cito Feijó);
- Serão avaliadas obras em andamento, paralisadas ou fora de operação, relacionadas aos estudos em andamento, somente durante a fase de levantamento de dados, sendo analisada a pertinência de sua inclusão na definição do sistema;
- Os orçamentos serão elaborados de acordo com o pré-dimensionamento das unidades do sistema, tendo como base preferencial os preços da Tabela de Preços SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil, nos termos da Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) vigente e a tabela SICRO/DNIT, no que couber. Quando existirem, serão utilizados, também, custos globais de referência para sistemas de saneamento ou custos básicos por tipo de obra, a exemplo de redes, galerias, canais em concreto, edificações/habitação por área construída;
- Os custos de cada alternativa serão apresentados em termos econômicos, discriminando a mão de obra, materiais, equipamentos, e custos de operação;
- A comparação das diferentes alternativas será feita através do cálculo do fluxo de caixa, a valor presente, dos custos de investimento, operação e manutenção, não considerando os custos de depreciação e inflação, à taxa de desconto de 12%, ao longo do período de projeto;

¹http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosCidades/PAC/Manuais-Gerais-PAC/RDC-Contratao_Integrada.pdf



- Para efeito de comparação de alternativas e análise benefício-custo, serão incluídos os impactos sobre a mancha urbana pelos custos dos terrenos atingidos e protegidos;
- A alternativa proposta de proteção selecionada irá corresponder àquela cujo conjunto de obras, fatores e aspectos sociais, técnicos, ambientais, econômicos e financeiros serão os mais apropriados a todas as partes beneficiadas pelo projeto. A solução vencedora será definida junto a Fiscalização do contrato, priorizando o menor custo econômico;
- O estudo de concepção irá indicar a ordem de prioridade das intervenções da alternativa recomendável, dentro do fluxo de caixa disponibilizado pela Fiscalização, orientando quanto ao desenvolvimento dos projetos básico e executivo, considerando os aspectos de funcionalidade e custo-benefício;
- Para o acompanhamento dos trabalhos serão realizadas reuniões sistemáticas a serem definidas junto a Fiscalização, com a participação do Coordenador Geral e membros da equipe da STE S.A. envolvidos com as atividades em curso;
- Ao final de cada produto, a Fiscalização deverá encaminhar a avaliação dos resultados do trabalho que, caso necessário, sofrerão os ajustes que ambas as partes (METROPLAN e STE S.A.) acordarem pertinentes. As atividades sucessoras vinculadas aos trabalhos avaliados iniciarão após o aceite da Fiscalização;
- Todos os estudos existentes na área de interesse serão disponibilizados pela Fiscalização e serão relacionados e identificados pela STE S.A. Todas as informações utilizadas terão sua fonte identificada;
- Os procedimentos metodológicos adotados serão claramente indicados e sempre justificados em relatório. As hipóteses e considerações simplificadas serão mencionadas no decorrer do trabalho, convenientemente explicitadas e justificadas;
- Os softwares utilizados serão preferencialmente públicos e todos os arquivos de entrada e saída, condições de contorno e parâmetros adotados deverão constar em relatório e serem disponibilizados a Fiscalização em seus formatos originais;
- As medidas estruturais corretivas na drenagem pluvial urbana e inundações ribeirinhas serão realizadas numa visão integrada da bacia hidrográfica;
- Os planos e projetos de drenagem pluvial urbana buscarão minimizar a transferência de impacto para jusante ou montante da área de interesse. Os impactos oriundos da implantação do anteprojeto conceitual serão identificados além de previstas medidas mitigadoras para atenuar os possíveis danos. As áreas atingidas externas a área de interesse terão seus impactos pontuados e indicadas sugestões que possam atenuar os mesmos;
- A entrega e aprovação dos Produtos serão marcos balizadores para iniciar determinadas atividades que estão descritas nos itens subsequentes neste Plano de Trabalho;
- Salvo os dados necessários para a elaboração dos Anteprojetos Conceituais, escopo deste Plano de Trabalho, as atividades serão realizadas com dados secundários fornecidos pela METROPLAN;



- As metas ou resultados esperados na concepção das intervenções relacionadas com águas pluviais visam:
 - Proteção contra alagamentos em locais e zonas com riscos às populações, ocupações regulares, estruturas e projetos de engenharia nos municípios dentro área de interesse para tempos de retorno estipulados para cada região e descrita no discorrer do plano de trabalho;
 - Identificação das áreas de risco e de interferência ao escoamento das águas pluviais, sugerindo a área de desocupação necessária para bom escoamento das águas pluviais;
 - Elaboração de programa educacional com o objetivo de redução da quantidade de resíduos sólidos na drenagem.



5 ESTUDO DE CONCEPÇÃO

O estudo de concepção do projeto de defesa contra cheias de Alvorada e Porto Alegre foi elaborado considerando a influência das cheias provenientes do rio Gravataí e das bacias hidrográficas adjacentes dos arroios Feijó, Santo Agostinho, São João e Águas Belas.

Além do arroio Feijó, em Porto Alegre têm-se outros dois cursos de águas que deságuam no rio Gravataí a jusante da área de estudo: arroio Areia e arroio Sarandi/Canal São Gonçalo. Na margem direita, os arroios, Demétrio, a montante da RS-118, e, arroios Barnabé, Passo Grande e Brigadeiro, são afluentes ao rio Gravataí. Todos esses cursos de água compõem o sistema hídrico estudado. Em termos de cheias, os arroios supracitados no primeiro parágrafo são críticos para região das obras de defesa contra cheias de Alvorada/Porto Alegre.

Outro fator importante nas das cheias no rio Gravataí são os ventos sobre o Lago Guaíba. O efeito de ondas e *seiche*² produzido pelos ventos ocorrentes sobre a superfície extensa do Lago Guaíba que traduzem em alterações dos níveis significativas, que produzem reflexos positivos, facilitando o escoamento, ou, negativos, impedindo o escoamento das cheias.

Dessa forma, as dimensões das obras propostas levaram em consideração as diferentes origens das cheias nesse sistema hídrico singular, pela modelagem hidrodinâmica conjunta dessa geomorfologia regional.

Devido aos inúmeros fatores que podem provocar tais cheias, o estudo de concepção realizou diversas modelagens hidrológicas, empregando dois modelos hidrológicos, a saber: modelo que transforma chuva-vazão para determinar as vazões de cheias nos arroios Feijó, Santo Agostinho, São João e Águas Belas (HEC-HMS), e, modelo hidrodinâmico para propagar as cheias nos cursos de águas e rio Gravataí (HEC-RAS) obtidas no modelo HMS.

Visto o efeito simultâneo dos fatores de cheias, de difícil reprodução, os modelos hidrológicos permitiram isolar as cheias de cada arroio, tendo claramente, as consequências e manchas de inundações para diferentes tempos de retorno (Tr 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos e 50 anos), como será apresentado mais à frente. No rio Gravataí, as cheias simuladas foram Tr 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos e 50 anos e 100 anos, sem efeito de remanso do Lago Guaíba, bem como, também foi verificado o efeito da cheia de julho de 2015 (Tr 259 anos) no dimensionamento das obras dos diques de proteção. O estudo das cheias individualizadas foram realizadas para os arroios Feijó, Santo Agostinho, São João, Águas Belas e rio Gravataí, dentro da área do Termo de Referência.

Apesar do estudo individualizado das cheias, o efeito da implantação dos diques nos arroios dentro da área de modelagem foi estudada em ambas as margens do rio Gravataí. Conforme resultados aqui obtidos, a implantação do dique no alinhamento aqui definido, margem esquerda, não afetará ou aumentará os níveis de águas extremos para os tempos de retornos simulados, junto a margem direita do rio Gravataí, entre a RS-118 e sua foz.

² Deslocamento da massa hídrica no sentido e direção do vento.



Com base nas simulações hidrodinâmicas foram determinados os riscos de inundações atuais e futuros³, para diferentes tempos de retorno (Tr), para a área de estudo junto ao rio Gravataí e dentro das supracitadas bacias hidrográficas internas. As manchas de inundações delineadas para Porto Alegre e Alvorada foram usadas para calcular os prejuízos associados as cheias e benefícios alcançados pela implementação das obras aqui projetadas em nível conceitual. Essas manchas de inundações servirão de base das soluções não-estruturais e auxiliarão no planejamento do espaço urbano.

Pela geomorfologia, relevo, zona de remanso característico, a solução de engenharia adotada para defesa contra cheias na região (medidas estruturais) foi formatada através de um conjunto de dique e de polders, cuja concepção segue a linha de defesa das cheias do Guaíba da região metropolitana, elaborado em 1978 pelo extinto DNOS.

Basicamente, o sistema de defesa contra cheias será composto por um dique principal, na margem esquerda do rio Gravataí, cuja função principal será proteger das cheias recorrentes oriundas do rio Gravataí. Desse dique principal, formularam-se dois arranjos centrais básicos de composição de obras:

- Criação de um sistema de diques que avança do dique principal para montante dos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas. Essa alternativa prioriza o escoamento das cheias dos arroios, e, minimiza as vazões a serem bombeadas nos polders. Esta alternativa será doravante denominada como Solução Diques Internos;
- Criação de um polder único protegido somente pelo dique principal localizado às margens do rio Gravataí. Essa alternativa, diferente da primeira, teve como propósito central minimizar processos de realocação de famílias na área em estudo, e, será chamada de Sistema Corta Rio.

Em todas as alternativas, o desafio principal acerca das obras concebidas está na retirada das águas pluviais internas aos polders. Portanto, em todas as soluções fazem-se necessários os empregos de casas de bombas. Reservatórios de amortecimento de cheias serão, igualmente, necessitados para viabilizar o Sistema Corta Rio, como será comentado no discorrer dos estudos.

As soluções estruturais foram concebidas considerando viabilidade técnica e operacional. Para o dique principal, a cota de coroamento foi determinada para o risco de falha não inferior de 0,5% de probabilidade em um ano qualquer, isto é, Tr 200 anos. Para os diques internos e obras de macrodrenagem pluvial dos polders, o risco de falha anual adotado foi de 4% (Tr 25 anos), conforme diretrizes e orientações do Ministério das Cidades.

Vale comentar que, os estudos conceituais das soluções de engenharia aqui descritos contaram com dados primários, inclusive investigações geotécnicas, permitindo além do delineamento de manchas de inundadas e impactos na conurbação, definição das características de fundações e tipos de maciços para os diques.

A escolha da melhor solução ou alternativa estrutural será assunto do Estudo de Viabilidade, próximo volume do estudo.

³ Condição de futura uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas da AEH, para um horizonte futuro de projeto de 30 anos.



5.1 Estudos hidrológicos

Os estudos hidrológicos podem ser divididos na determinação das cheias no rio Gravataí e bacias hidrográficas dos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João, Águas Belas e Área Industrial, bem como, na simulação da propagação das cheias nos cursos de águas e da implementação das obras para proteção de cheias. Todavia, a propagação das cheias serão tratados em um item específico.

Na sequência será apresentado um resumo do descrito detalhadamente no Relatório de Diagnóstico.

5.1.1 Cheias do Rio Gravataí e Níveis Extremos no Guaíba

As vazões máximas no rio Gravataí foram obtidas dos registros disponíveis da estação fluviométrica Passo das Canoas (87400000), incluindo a cheia de 2015, ver Quadro 1.

Quadro 1. Vazões médias diárias máximas anuais na estação fluviométrica Passo das Canoas (8740000)

Data	Vazão média diária máxima anual (m³/s)	Data	Vazão média diária máxima anual (m³/s)	Data	Vazão média diária máxima anual (m³/s)	Data	Vazão média diária máxima anual (m³/s)
10/10/40	117,54	08/04/56	73,21	21/09/73	107,78	20/10/90	213,11
07/05/41	316,27	09/09/57	220,23	13/06/74	67,05	09/08/91	120,19
19/06/42	83,22	18/09/58	107,78	17/09/75	133,37	08/07/92	145,29
08/07/43	65,90	28/09/59	152,90	01/08/76	223,94	12/07/93	227,77
26/06/44	233,94	05/09/60	84,01	06/08/77	227,76	04/08/95	288,83
04/08/45	68,22	03/07/61	93,41	18/09/78	60,01	24/10/96	120,19
01/03/46	39,21	22/09/62	33,55	15/08/79	50,10	14/06/02	216,62
04/10/47	67,05	04/09/64	68,22	02/08/80	118,85	15/07/03	106,65
28/07/48	89,82	22/08/65	282,95	26/09/81	90,70	25/09/04	167,87
22/07/49	65,90	08/08/66	150,93	03/07/82	216,62	20/08/08	213,11
04/08/50	62,60	21/09/67	275,11	04/08/83	253,54	19/09/09	235,90
28/11/51	72,56	11/11/68	92,49	23/06/84	369,20	28/07/10	213,11
01/07/52	61,55	23/02/69	83,22	15/08/85	265,31	23/07/11	245,70
04/10/53	98,20	09/07/70	152,89	18/08/87	273,15	19/09/12	243,74
25/07/54	206,38	15/08/71	128,74	26/09/88	223,94	05/09/13	243,74
11/09/55	89,82	10/06/72	223,94	07/07/89	110,10	18/07/15	230,00

O Quadro 2 exibe as vazões médias diárias máximas anuais com diferentes tempos de retorno.

Quadro 2. Vazões máximas médias diárias com diferentes tempos de retorno para a estação fluviométrica Passo das Canoas (87400000) obtidos pelo ajuste da distribuição de Probabilidade de extremo tipo Log-Pearson III

Tempo de Retorno (anos)	Vazão máxima média diária (m³/s)
1.000	809,92
500	715,72
200	600,06
100	518,84
50	442,60
25	370,92
20	348,72
10	282,16
5	218,33
3,333	181,46
2,5	154,94
2	133,66
1,667	115,31
1,429	98,45
1,250	81,83
1,111	63,32



Tempo de Retorno (anos)	Vazão máxima média diária (m³/s)
1,053	51,23
1,020	40,37
1,010	34,43

Os níveis extremos do Guaíba que influenciam os níveis na foz do rio Gravataí, foram determinadas através do emprego da metodologia descrita no Bulletin17B (1982) (*Guidelines for Determining Flood Flow Frequency* do U.S. Department of the Interior Geological Survey), utilizando a distribuição de probabilidade de extremos tipo Log-Pearson III. A série de NA empregada foi a do Caís Mauá para diferentes tempos de retorno, ver ajuste na Figura 3, ver Quadro 3.

A correlação do NA Guaíba com a foz do rio Gravataí foi realizada pela comparação de duas cheias importantes, 1967 e 2015, onde se obteve os registros dos NA na foz e Cais Mauá e determinou a declividade de linha de água. Em ambas as situações, a declividade da linha de água ficou em torno de 0,000237 m/m, ver os resultados indicados no Quadro 4.

Quadro 3. Dados históricos dos Níveis do Lago Guaíba

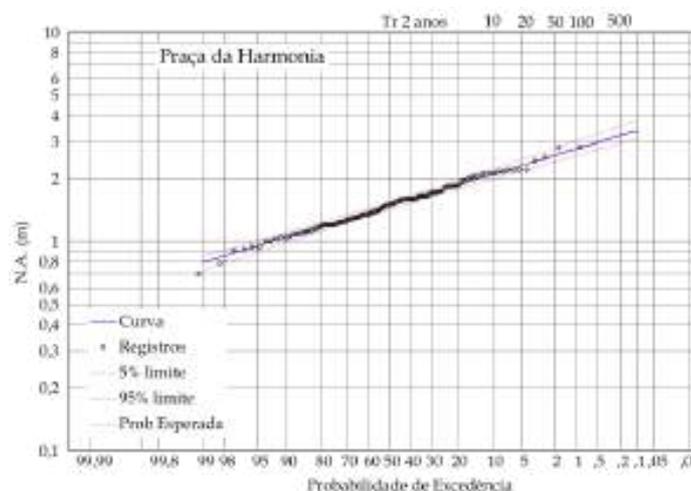
Ano	SPH (<i>Datum Vertical IBGE</i>)	Ano	SPH (<i>Datum Vertical IBGE</i>)
	Elevação diária máxima anual (m)		Elevação diária máxima anual (m)
1899	2,20	1958	1,50
1900	1,08	1959	1,65
1901	0,58	1960	1,40
1902	1,59	1961	1,56
1903	1,05	1962	0,70
1904	1,11	1963	2,10
1905	2,10	1964	1,19
1906	1,13	1965	2,16
1907	1,60	1966	2,16
1908	1,29	1967	2,43
1909	1,12	1968	0,92
1910	0,94	1969	1,00
1911	1,65	1970	1,34
1912	1,73	1971	1,33
1913	0,79	1972	1,84
1914	2,20	1973	1,55
1915	1,51	1974	1,15
1916	1,38	1975	1,27
1917	0,58	1976	1,49
1918	1,09	1977	1,76
1919	1,81	1978	1,10
1920	1,20	1979	1,28
1921	1,18	1980	1,30
1922	1,28	1981	1,20
1923	1,35	1982	1,60
1924	1,21	1983	1,95
1925	0,91	1984	2,20
1926	2,20	1985	1,70
1927	1,16	1986	1,41
1928	2,80	1987	1,97
1929	1,65	1988	1,60
1930	1,95	1989	1,60
1931	1,30	1990	1,85
1932	1,44	1991	1,20
1933	0,94	1992	1,54
1934	-	1993	1,71
1935	1,24	1994	1,65
1936	2,84	1995	1,66
1937	2,11	1996	1,25
1938	1,03	1997	1,58
1939	1,20	1998	1,60
1940	1,84	1999	1,10
1941	4,20	2000	1,51





Ano	SPH (Datum Vertical IBGE)		Ano	SPH (Datum Vertical IBGE)	
	Elevação diária máxima anual (m)			Elevação diária máxima anual (m)	
1942	1,83		2001	2,02	
1943	1,59		2002	2,12	
1944	1,49		2003	1,60	
1945	1,00		2004	1,23	
1946	1,35		2005	1,71	
1947	1,35		2006	1,05	
1948	1,35		2007	2,08	
1949	1,40		2008	1,64	
1950	1,30		2009	2,05	
1951	1,20		2010	1,44	
1952	1,24		2011	1,86	
1953	1,73		2012	1,48	
1954	2,03		2013	1,84	
1955	1,05		2014	1,71	
1956	1,38		2015	2,52	
1957	1,60				

Figura 3. Ajuste da distribuição de Probabilidade de extremo tipo Log-Pearson III, em papel probabilístico Weibull, para os registros históricos dos NA no Lago Guaíba (Datum Vertical Imbituba IBGE)



Quadro 4. NA no Lago Guaíba para diferentes tempos de retorno (Datum Vertical Imbituba IBGE) com registro histórico de 1899 a 2015

Tr(anos)	Elevação Máxima do Nível de Água do Lago Guaíba (m)	NA Foz Gravataí (m)
1.000	3,40	5,64
500	3,21	5,33
200	2,96	4,92
100	2,77	4,60
50	2,57	4,27
25	2,37	3,94
20	2,31	3,83
10	2,09	3,47
5	1,86	3,08
3,33	1,71	2,83
2,5	1,59	2,63
2	1,48	2,46
1,67	1,38	2,30
1,43	1,29	2,14
1,25	1,18	1,96
1,11	1,05	1,74
1,05	0,95	1,58
1,02	0,85	1,42
1,01	0,79	1,32

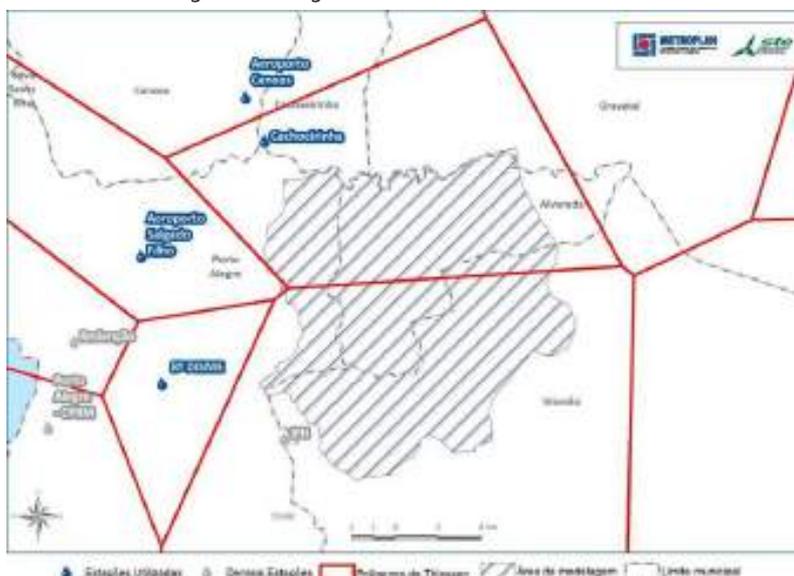


5.1.2 Cheias nas Bacias Hidrográficas dos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João, Águas Belas e Área Industrial

Os hidrogramas de projetos foram determinados para Tempo de Retornos de 2, 5 10, 25 e 50 anos, empregando a metodologia do hidrograma sintético triangular do SCS (1975), definido para áreas de sub-bacias da ordem de 100 ha. Foram analisados dois cenários: (a) um de ocupação e uso do solo na atual condição (2015/2016) e (b) condição de ocupação e uso do solo daqui 30 anos, considerando o desenvolvimento previstos nos atuais Planos Diretores Urbanos dos municípios envolvidos.

A equação de intensidade-duração-frequência (IDF) empregada no estudo foi desenvolvida com base nos dados pluviométricos da estação Cachoeirinha (registros diários entre 1974-2015), cuja localização está na Figura 4, e, os coeficientes de desagregação da equação de Viamão (DEP/DOP- POA).

Figura 4. Polígonos de Thiessen sobre a AEH



O ajuste das equações IDF priorizou tempos de retorno inferiores e igual a 100 anos e duração máxima de 24 horas, ver Quadro 5. A seguir é apresentada a equação utilizada no estudo:

$$i = \frac{712,44 \cdot Tr^{0,16}}{(t + 9,59)^{0,72}}$$

Onde:

i = intensidade da precipitação, em mm/h;

Tr = período de retorno, em anos;

t = duração da chuva, em min.

Quadro 5. Precipitações com diferentes durações e Tempo de Retorno obtidas pelos coeficientes de desagregação do IDF Nacional com os dados máximos diários proveniente da Estação Cachoeirinha

Tempo de Retorno (anos):	5	10	20	25	50	100
Precipitação diária (mm):	100	115	130	135	149	164
Duração	Precipitação (mm)					
5 min	12	14	16	16	18	20



Tempo de Retorno (anos):	5	10	20	25	50	100
Precipitação diária (mm):	100	115	130	135	149	164
Duração	Precipitação (mm)					
10 min	19	22	25	26	29	31
15 min	25	29	32	33	37	41
20 min	29	33	37	39	43	47
25 min	32	37	42	44	48	53
30 min	35	41	46	48	53	58
1,0 h	48	55	62	65	71	79
6,0 h	82	94	107	111	122	135
8,0 h	89	102	116	120	132	146
10,0 h	93	108	122	126	139	153
12,0 h	97	111	126	131	144	159
24,0 h	114	131	148	154	170	187

Quadro 6. Equações IDF das precipitações extremas a serem empregadas na AEH

Parâmetros da Equação IDF	Cachoeirinha (1975-2014)
a	712,440
b	0,16
c	9,59
d	0,72
R ²	0,99975

A definição do *Curve Number* (CN) do método de separação de escoamento desenvolvido pelo National Resources Conservation Center dos EUA (antigo Soil Conservation Service - SCS, 1975), doravante denominado SCS (1975), foi realizado com base em Sistemas de Informações Georreferenciados (SIG), no sistema de projeção cartográfica UTM Datum SIRGAS (2000), disponíveis na região de estudo, a saber:

- Mapas de Solos de Weber (2013) escala 1:50.000 e Hasenack (2008) escala 1:15.000, ambos os mapas com classificação de solo nos critérios da EMBRAPA;
- Uso do Solo realizado para o âmbito deste estudo na escala 1:10.000;
- Setores Censitários do IBGE (2010);
- Últimas atualizações dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano (PDDU) dos municípios de Alvorada, Porto Alegre e Viamão;
- Valores de CN estabelecidos pelo SCS (1975) *apud* Tucci (1993).

O Quadro 7 apresenta o resultado dos valores médios do CN obtido nas bacias hidrográficas internas ao dique em projeto. Os Mapas do CN atual e futura para a AM, e o atual para a Bacia Hidrográfica do rio Gravataí encontram-se no Anexo do Produto Diagnóstico.

Quadro 7. CN Atual e Futuro das Bacias da área interna ao dique

Bacia	CN Atual	CN Futuro
Arroio Águas Belas	85	93
Arroio Feijó	88	96
Arroio Santo Agostinho	89	98
Arroio São João	91	98
Arroio Olaria	84	84
Arroio Distrito Industrial	87	87
Sem bacia definida*	86	92
Média Geral	88	93

*Entorno de 200 m da área de estudo.

A subdivisão das bacias urbanas do arroio Santo Agostinho, Feijó, São João, Águas Belas e Distrito Industrial foi realizada com base no Modelo Numérico do Terreno (MNT) da Área de Estudo. As Figura 5 a Figura 8 ilustram a subdivisão e a nomenclatura de cada sub-bacias. Empregou métodos de definição automáticas de bacia hidrográfica, rotinas em Sistema de Informações Geográficas (SIG), com posterior verificação das condições consolidadas de macrodrenagem.



Figura 5. Subdivisão das bacias dos arroios Santo Agostinho e Feijó



Figura 6. Subdivisão da bacia do arroio São João

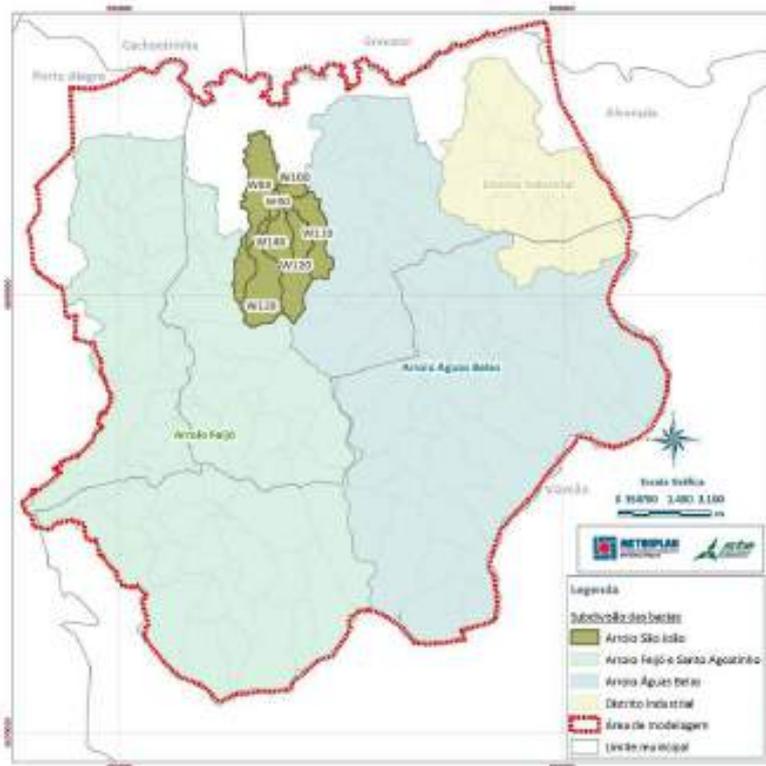




Figura 7. Subdivisão da bacia do arroio Águas Belas

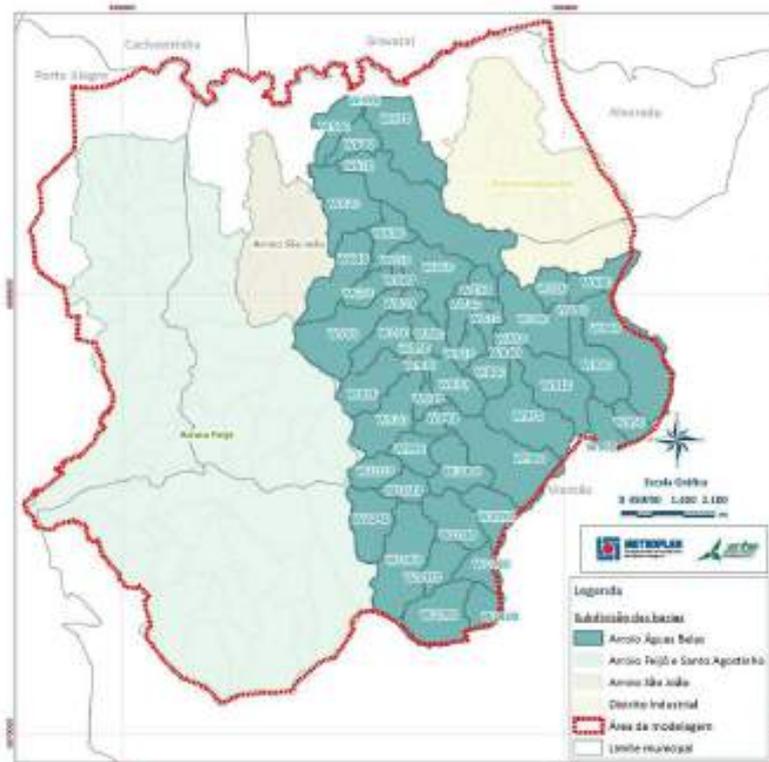


Figura 8. Subdivisão da bacia do Distrito Industrial





O Quadro 8 ao Quadro 11 apresentam as características das bacias urbanas como: área, CN atual, CN futuro, bem como, tempo de concentração adotado, calculado segundo TR55 (1986)⁴.

Quadro 8. Características das Bacias Urbanas dos arroios Santo Agostinho e Feijó

Nome	Área da Bacia (ha)	CN (Atual)	CN (Futuro)	Tempo de concentração (h)
W1000	66,91	77,53	80,01	0,41
W1010	66,01	77,14	83,61	0,74
W1020	129,57	83,35	85,86	0,54
W1030	44,39	84,19	84,19	0,28
W1040	59,27	81,11	81,86	0,29
W1050	125,48	79,47	87,21	0,55
W1060	103,46	87,52	89,92	0,41
W1070	189,38	81,28	83,13	0,40
W1080	52,49	89,65	90,72	0,21
W1090	86,07	86,18	88,91	0,30
W1100	4,08	92,42	92,46	0,13
W1110	242,44	82,01	86,35	0,63
W1120	81,54	91,36	91,44	0,45
W1130	3,51	92,76	92,76	0,23
W1140	94,91	87,98	89,57	0,45
W1150	145,30	84,15	87,80	0,42
W1160	29,11	91,00	91,00	0,22
W1170	64,38	89,80	90,33	0,38
W1180	126,92	88,63	89,96	0,31
W1190	71,45	90,36	90,78	0,51
W1200	81,60	78,38	85,58	0,43
W1210	184,69	78,44	85,04	0,47
W1220	289,93	79,73	85,93	0,66
W1230	1,51	81,56	85,09	0,27
W1240	79,59	78,65	83,43	0,65
W1250	205,68	85,45	88,00	0,61
W1260	51,78	79,21	83,72	0,52
W1270	208,46	83,34	88,85	0,63
W1280	70,56	77,27	85,23	0,45
W1290	136,05	88,47	89,81	0,44
W1300	74,22	84,64	87,69	0,65
W660	30,60	83,84	86,31	0,99
W670	59,95	84,10	86,07	0,85
W680	72,23	85,38	88,14	0,94
W690	68,96	83,67	91,31	0,55
W700	0,00	89,00	90,42	0,01
W710	37,30	89,42	89,53	1,05
W720	11,14	90,04	90,11	0,32
W730	138,32	83,82	89,88	0,74
W740	107,35	92,31	92,92	1,19
W750	81,25	88,28	90,36	0,91
W760	95,43	91,36	91,97	1,22
W770	92,86	89,16	91,02	0,74
W780	15,21	92,78	93,11	0,35
W790	52,92	90,43	92,07	0,63
W800	123,38	90,74	91,77	0,77
W810	50,07	88,47	88,91	0,60
W820	13,77	87,00	90,05	0,14
W830	61,62	85,76	89,05	0,45
W840	169,82	86,47	89,44	0,74
W850	57,01	85,14	91,04	0,32
W860	116,47	88,72	91,45	0,53
W870	92,62	87,98	89,14	0,53
W880	40,80	87,32	89,37	0,34
W890	170,64	89,68	91,13	0,56
W900	91,73	89,67	89,82	0,58

⁴ Urban Hydrology for Small Watersheds. Natural Resources Conservation Service



Nome	Área da Bacia (ha)	CN (Atual)	CN (Futuro)	Tempo de concentração (h)
W910	127,43	90,78	91,06	0,61
W920	33,01	86,13	86,32	0,34
W930	222,84	83,08	84,96	0,51
W940	173,53	82,71	84,08	0,40
W950	8,38	88,16	89,23	0,23
W960	47,79	80,25	80,25	0,28
W970	102,33	83,98	86,76	0,56
W980	18,56	85,52	91,27	0,21
W990	80,62	79,50	80,85	0,39
Total	5.836,63	84,87	87,82	-

Quadro 9. Características das Bacias Urbanas do arroio São João

Nome	Área da Bacia (ha)	CN (Atual)	CN (Futuro)	Tempo de concentração (h)
W100	21,64	91,86	93,00	0,67
W110	88,37	89,77	92,34	1,01
W120	121,43	87,19	88,88	0,76
W130	135,79	85,45	87,39	0,55
W140	62,04	90,87	92,44	0,54
W80	175,17	89,22	89,84	1,48
W90	9,95	89,96	93,00	0,28
Total	614,39	88,27	89,90	-

Quadro 10. Características das Bacias Urbanas do arroio Águas Belas

Nome	Área da Bacia (ha)	CN (Atual)	CN (Futuro)	Tempo de concentração (h)
W1000	127,86	80,25	86,27	0,49
W1010	71,24	83,47	85,98	0,32
W1020	60,95	84,94	86,82	0,42
W1030	125,61	82,12	86,69	0,61
W1040	134,47	82,50	85,57	0,37
W1050	99,49	81,44	87,12	0,64
W1060	245,80	80,78	85,52	0,57
W1070	80,57	80,48	87,82	0,60
W1080	67,24	81,37	89,41	0,37
W1090	171,13	81,78	89,23	0,62
W1100	70,23	85,28	90,61	0,34
W560	1,54	88,98	88,98	0,38
W570	208,43	83,25	84,31	1,27
W580	85,36	88,77	88,78	1,33
W590	2,95	89,23	89,23	0,55
W600	68,24	84,47	84,47	1,16
W610	358,46	80,42	81,38	1,29
W620	181,87	91,92	92,03	1,26
W630	89,07	87,54	90,25	0,77
W640	160,41	86,29	91,15	0,69
W650	3,29	84,94	85,44	0,17
W660	183,95	84,06	87,95	0,94
W670	58,74	86,37	89,04	0,74
W680	19,81	87,88	91,16	0,34
W690	91,42	81,91	83,00	1,08
W700	221,44	88,11	89,81	0,81
W710	29,75	84,82	87,27	0,40
W720	58,48	87,67	87,67	0,40
W730	51,98	80,57	83,40	0,51
W740	77,78	85,63	88,27	0,48
W750	0,88	89,10	89,10	0,33
W760	108,57	83,67	83,71	0,64
W770	64,26	88,34	89,10	0,63
W780	201,83	84,87	85,19	0,73
W790	2,12	87,78	87,78	0,38
W800	140,92	85,64	85,94	0,46
W810	31,02	88,94	90,55	0,36
W820	51,57	88,46	90,31	0,68
W830	17,57	84,54	87,01	0,44
W840	293,82	86,14	86,29	0,74
W850	8,39	87,14	88,04	0,37
W860	2,64	82,80	86,58	0,21





Nome	Área da Bacia (ha)	CN (Atual)	CN (Futuro)	Tempo de concentração (h)
W870	115,13	85,01	87,03	0,84
W880	71,69	80,35	84,75	0,64
W890	137,76	80,67	84,72	0,45
W900	1,45	83,80	87,11	0,13
W910	194,95	81,14	84,28	0,80
W920	171,42	81,34	84,88	0,52
W930	35,97	86,43	87,94	0,57
W940	38,56	84,39	87,16	0,38
W950	51,37	83,69	83,70	0,36
W960	66,03	82,24	83,01	0,49
W970	216,05	84,37	86,55	0,68
W980	273,03	80,77	85,88	0,93
W990	73,83	84,95	87,26	0,56
Total	5.578,39	83,81	86,49	-

Quadro 11. Características das Bacias Urbanas do Distrito Industrial

Nome	Área da Bacia (ha)	CN (Atual)	CN (Futuro)	Tempo de concentração (h)
W180	95,57	83,04	83,04	1,89
W190	0,01	83,00	83,00	0,16
W200	0,75	83,49	83,49	0,23
W210	84,64	81,95	81,95	1,30
W220	29,58	83,13	83,13	1,39
W230	101,09	80,79	80,80	1,80
W240	45,07	81,85	81,85	0,72
W250	156,97	78,58	78,59	1,09
W260	8,58	82,30	82,30	1,79
W270	99,25	82,40	82,40	1,00
W280	11,86	80,80	80,82	1,66
W290	53,88	79,48	79,48	1,00
W300	67,93	77,79	77,82	1,90
W310	166,88	79,49	79,56	0,93
W320	4,77	80,88	80,88	0,46
W330	175,10	81,84	81,86	2,19
W340	154,42	79,65	80,51	2,33
Total	1.256,35	80,61	80,73	-

As vazões máximas para condição atual e futura de uso de ocupação do solo, diferentes tempos de retorno, estão indicadas do Quadro 12 ao Quadro 13.

Quadro 12. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para arroios Santo Agostinho e Feijó

PC	Vazão (m³/s) Atual					Vazão (m³/s) Futura				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos
W1000	4,40	5,64	6,32	7,93	9,87	4,88	6,16	6,84	8,48	10,49
W1010	3,45	4,45	5,03	6,34	7,87	4,50	5,58	6,16	7,52	9,12
W1020	11,80	14,63	16,09	19,67	24,12	12,91	15,78	17,22	20,81	25,32
W1030	4,76	5,87	6,41	7,80	9,61	4,76	5,87	6,41	7,80	9,61
W1040	5,64	7,07	7,81	9,63	11,98	5,80	7,25	7,98	9,82	12,18
W1050	7,39	9,39	10,53	13,10	16,09	9,84	11,96	13,08	15,70	18,81
W1060	11,14	13,49	14,62	17,54	21,25	11,96	14,32	15,42	18,32	22,05
W1070	15,29	19,16	21,25	26,20	32,19	16,40	20,33	22,42	27,40	33,46
W1080	7,60	9,11	9,77	11,60	14,12	7,83	9,34	9,98	11,81	14,33
W1090	9,55	11,64	12,66	15,27	18,65	10,41	12,52	13,51	16,11	19,52
W1100	0,83	0,99	1,04	1,22	1,49	0,83	0,99	1,04	1,22	1,49
W1110	16,59	20,75	23,10	28,42	34,58	19,41	23,69	26,01	31,37	37,65
W1120	11,07	13,15	14,07	16,61	20,03	11,09	13,17	14,09	16,63	20,05
W1130	0,60	0,71	0,75	0,88	1,07	0,60	0,71	0,75	0,88	1,07
W1140	9,97	12,03	13,02	15,58	18,84	10,43	12,50	13,48	16,04	19,32
W1150	11,39	14,07	15,50	18,89	22,93	12,90	15,63	17,02	20,41	24,51
W1160	5,04	6,02	6,41	7,57	9,22	5,04	6,02	6,41	7,57	9,22
W1170	8,63	10,32	11,08	13,15	15,94	8,76	10,45	11,20	13,27	16,05
W1180	14,59	17,55	18,97	22,63	27,33	15,15	18,12	19,50	23,16	27,86
W1190	9,84	11,73	12,57	14,89	18,02	9,95	11,84	12,67	14,98	18,12
W1200	5,61	7,16	8,01	10,03	12,49	7,41	9,08	9,92	12,00	14,58
W1210	10,27	13,13	14,81	18,54	22,82	13,30	16,35	18,03	21,87	26,33





PC	Vazão (m³/s) Atual					Vazão (m³/s) Futura				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos
W1220	13,63	17,32	19,62	24,33	29,63	17,23	21,14	23,45	28,26	33,73
W1230	0,22	0,28	0,30	0,37	0,47	0,25	0,31	0,33	0,40	0,50
W1240	4,94	6,29	7,05	8,81	10,89	5,96	7,39	8,14	9,94	12,09
W1250	15,88	19,48	21,43	25,95	31,26	17,27	20,90	22,82	27,34	32,68
W1260	4,05	5,14	5,72	7,13	8,89	4,83	5,98	6,55	7,99	9,81
W1270	15,69	19,45	21,50	26,26	31,82	18,81	22,65	24,65	29,44	35,18
W1280	4,44	5,71	6,41	8,07	10,05	6,07	7,44	8,14	9,86	11,95
W1290	15,36	18,50	20,02	23,91	28,87	15,97	19,11	20,60	24,47	29,45
W1300	6,54	8,05	8,82	10,72	13,06	7,25	8,78	9,53	11,43	13,79
W660	2,16	2,67	2,94	3,59	4,35	2,35	2,87	3,14	3,79	4,55
W670	4,03	4,98	5,49	6,68	8,08	4,31	5,27	5,78	6,97	8,39
W680	4,95	6,08	6,69	8,10	9,74	5,42	6,56	7,16	8,56	10,22
W690	4,38	5,43	6,02	7,34	8,89	5,60	6,67	7,23	8,54	10,11
W700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W710	3,29	3,95	4,28	5,10	6,09	3,30	3,96	4,29	5,11	6,10
W720	1,38	1,65	1,77	2,11	2,55	1,39	1,66	1,78	2,11	2,55
W730	7,86	9,75	10,85	13,22	15,94	9,61	11,55	12,62	14,97	17,73
W740	6,15	7,30	7,92	9,32	10,97	6,24	7,40	8,01	9,40	11,05
W750	6,55	7,92	8,63	10,32	12,33	6,96	8,33	9,02	10,70	12,72
W760	7,61	9,08	9,84	11,62	13,75	7,74	9,20	9,95	11,73	13,86
W770	8,74	10,51	11,39	13,57	16,26	9,21	10,98	11,83	14,01	16,69
W780	2,34	2,76	2,93	3,45	4,16	2,35	2,78	2,95	3,46	4,18
W790	5,95	7,10	7,63	9,05	10,88	6,21	7,36	7,88	9,29	11,12
W800	12,56	14,98	16,15	19,14	22,81	12,90	15,31	16,47	19,43	23,10
W810	6,05	7,29	7,86	9,39	11,41	6,13	7,37	7,94	9,47	11,49
W820	1,92	2,33	2,51	3,01	3,70	2,10	2,51	2,69	3,18	3,88
W830	6,63	8,10	8,80	10,62	12,96	7,34	8,81	9,49	11,30	13,66
W840	12,21	14,91	16,38	19,73	23,62	13,39	16,10	17,55	20,88	24,78
W850	6,02	7,37	8,03	9,71	11,88	7,18	8,54	9,14	10,81	13,00
W860	11,26	13,56	14,70	17,55	21,03	12,14	14,43	15,53	18,34	21,83
W870	9,25	11,18	12,12	14,52	17,50	9,58	11,51	12,44	14,83	17,82
W880	4,49	5,44	5,89	7,07	8,59	4,78	5,73	6,17	7,34	8,86
W890	17,73	21,25	22,98	27,34	32,74	18,45	21,96	23,66	28,00	33,40
W900	9,73	11,66	12,58	14,96	17,95	9,77	11,70	12,62	15,00	17,99
W910	14,36	17,11	18,40	21,79	26,05	14,47	17,21	18,50	21,88	26,14
W920	3,61	4,40	4,77	5,75	7,01	3,63	4,42	4,79	5,77	7,03
W930	14,39	17,88	19,88	24,29	29,36	15,39	18,94	20,93	25,35	30,48
W940	13,78	17,13	18,93	23,18	28,25	14,48	17,86	19,65	23,92	29,02
W950	1,25	1,51	1,62	1,93	2,37	1,29	1,55	1,66	1,97	2,41
W960	4,13	5,20	5,75	7,12	8,85	4,13	5,20	5,75	7,12	8,85
W970	8,34	10,30	11,33	13,80	16,78	9,17	11,16	12,16	14,64	17,65
W980	2,32	2,84	3,08	3,72	4,58	2,76	3,28	3,50	4,14	5,01
W990	5,78	7,31	8,14	10,12	12,55	6,09	7,65	8,48	10,49	12,95

Quadro 13. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para arroio São João

PC	Vazão (m³/s) Atual					Vazão (m³/s) Futura				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos
W100	2,42	2,87	3,07	3,62	4,33	2,48	2,93	3,13	3,68	4,39
W110	6,12	7,36	8,03	9,54	11,31	6,56	7,80	8,45	9,94	11,71
W120	9,55	11,61	12,69	15,24	18,26	10,06	12,12	13,19	15,74	18,76
W130	9,95	12,21	13,43	16,26	19,57	10,61	12,89	14,10	16,92	20,25
W140	7,09	8,45	9,08	10,75	12,91	7,39	8,74	9,35	11,01	13,17
W80	7,78	9,39	10,32	12,26	14,52	7,92	9,54	10,46	12,40	14,66
W90	1,32	1,57	1,69	2,00	2,43	1,42	1,67	1,78	2,09	2,52

Quadro 14. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para arroio Água Belas

PC	Vazão (m³/s) Atual					Vazão (m³/s) Futura				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos
W1000	9,46	11,93	13,28	16,48	20,35	11,83	14,43	15,75	19,01	23,01
W1010	7,22	8,91	9,75	11,89	14,65	7,86	9,57	10,42	12,58	15,38
W1020	6,14	7,53	8,22	9,96	12,18	6,54	7,94	8,62	10,36	12,60



PC	Vazão (m³/s) Atual					Vazão (m³/s) Futura				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos
W1030	10,51	13,11	14,48	17,78	21,81	12,34	15,01	16,34	19,66	23,78
W1040	11,47	14,27	15,74	19,29	23,64	12,80	15,65	17,09	20,67	25,07
W1050	7,78	9,75	10,80	13,32	16,39	9,54	11,59	12,61	15,15	18,31
W1060	14,63	18,43	20,65	25,50	31,06	17,42	21,36	23,58	28,55	34,28
W1070	6,12	7,71	8,56	10,61	13,10	7,97	9,64	10,45	12,53	15,12
W1080	6,04	7,56	8,34	10,27	12,71	7,93	9,50	10,23	12,17	14,69
W1090	12,50	15,64	17,37	21,39	26,16	16,15	19,41	21,06	25,11	30,00
W1100	7,68	9,42	10,26	12,43	15,24	9,07	10,82	11,61	13,75	16,60
W560	0,16	0,19	0,20	0,24	0,29	0,16	0,19	0,20	0,24	0,29
W570	10,53	13,12	14,68	17,91	21,59	10,95	13,57	15,13	18,37	22,06
W580	4,71	5,71	6,28	7,48	8,87	4,71	5,71	6,28	7,48	8,88
W590	0,33	0,39	0,42	0,51	0,61	0,33	0,39	0,42	0,51	0,61
W600	4,70	5,80	6,40	7,78	9,41	4,70	5,80	6,40	7,78	9,41
W610	12,78	16,21	18,45	22,77	27,59	13,28	16,75	19,01	23,36	28,21
W620	15,53	18,46	19,98	23,58	27,84	15,58	18,51	20,03	23,62	27,88
W630	9,29	11,26	12,21	14,66	17,75	10,08	12,05	12,97	15,40	18,51
W640	11,97	14,62	16,06	19,37	23,24	13,87	16,53	17,90	21,18	25,07
W650	0,46	0,56	0,61	0,73	0,91	0,47	0,57	0,62	0,74	0,92
W660	12,53	15,50	17,16	20,91	25,25	14,31	17,33	18,96	22,71	27,11
W670	4,46	5,45	5,97	7,19	8,65	4,85	5,85	6,35	7,57	9,03
W680	2,45	2,96	3,19	3,82	4,65	2,69	3,20	3,42	4,04	4,88
W690	4,84	6,08	6,80	8,35	10,14	5,05	6,30	7,02	8,58	10,38
W700	18,12	21,91	23,94	28,65	34,21	19,05	22,85	24,85	29,56	35,13
W710	3,07	3,77	4,10	4,98	6,09	3,33	4,03	4,36	5,23	6,36
W720	6,84	8,28	8,96	10,73	13,06	6,84	8,28	8,96	10,74	13,07
W730	4,72	5,92	6,53	8,07	10,01	5,24	6,47	7,08	8,63	10,61
W740	7,38	9,03	9,85	11,90	14,46	8,03	9,69	10,49	12,54	15,11
W750	0,13	0,16	0,17	0,20	0,25	0,13	0,16	0,17	0,20	0,25
W760	7,03	8,71	9,65	11,76	14,23	7,04	8,72	9,66	11,78	14,24
W770	6,75	8,14	8,80	10,51	12,67	6,90	8,29	8,94	10,66	12,82
W780	16,22	19,96	21,97	26,68	32,27	16,40	20,15	22,16	26,87	32,47
W790	0,29	0,35	0,37	0,45	0,55	0,29	0,35	0,37	0,45	0,55
W800	10,97	13,44	14,76	17,86	21,53	11,08	13,56	14,88	17,98	21,65
W810	3,74	4,49	4,84	5,77	7,00	3,91	4,67	5,01	5,93	7,16
W820	5,28	6,37	6,89	8,23	9,92	5,57	6,66	7,16	8,50	10,19
W830	1,67	2,05	2,24	2,72	3,34	1,81	2,20	2,39	2,87	3,49
W840	17,93	21,97	24,34	29,35	35,03	18,02	22,06	24,44	29,44	35,12
W850	1,16	1,41	1,52	1,83	2,24	1,20	1,45	1,55	1,86	2,27
W860	0,28	0,34	0,37	0,46	0,57	0,31	0,38	0,41	0,50	0,61
W870	8,28	10,18	11,21	13,59	16,39	8,86	10,78	11,80	14,18	17,00
W880	5,31	6,68	7,42	9,20	11,37	6,25	7,69	8,43	10,24	12,47
W890	8,78	11,06	12,34	15,25	18,68	10,21	12,57	13,85	16,83	20,34
W900	0,20	0,25	0,27	0,33	0,41	0,22	0,27	0,29	0,35	0,43
W910	10,85	13,65	15,30	18,86	22,94	12,21	15,09	16,75	20,35	24,49
W920	10,15	12,75	14,26	17,57	21,39	11,59	14,27	15,76	19,12	23,00
W930	3,28	4,00	4,35	5,24	6,35	3,44	4,16	4,51	5,40	6,52
W940	3,51	4,32	4,72	5,74	7,01	3,85	4,67	5,06	6,08	7,36
W950	5,81	7,16	7,82	9,51	11,74	5,81	7,16	7,82	9,51	11,75
W960	6,60	8,23	9,04	11,10	13,75	6,79	8,43	9,25	11,31	13,97
W970	14,35	17,72	19,63	23,86	28,72	15,47	18,88	20,77	25,00	29,90
W980	14,75	18,61	20,93	25,87	31,44	17,84	21,87	24,19	29,20	34,91
W990	7,18	8,83	9,64	11,70	14,29	7,77	9,42	10,22	12,28	14,90

Quadro 15. Vazões máximas atuais e futuras (m³/s) para diferentes Tempo de Retorno para Distrito Industrial

PC	Vazão (m³/s) Atual					Vazão (m³/s) Futura				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos
W180	4,26	5,32	5,96	7,27	8,77	4,26	5,32	5,96	7,27	8,77
W190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W200	0,11	0,13	0,14	0,17	0,22	0,11	0,13	0,14	0,17	0,22
W210	4,91	6,15	6,85	8,41	10,22	4,91	6,15	6,85	8,41	10,23
W220	1,40	1,74	1,95	2,37	2,87	1,40	1,74	1,95	2,37	2,87
W230	6,08	7,66	8,55	10,58	12,95	6,09	7,66	8,55	10,59	12,95



PC	Vazão (m³/s) Atual					Vazão (m³/s) Futura				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 50 anos
W240	3,48	4,34	4,80	5,90	7,23	3,48	4,34	4,80	5,90	7,23
W250	7,34	9,39	10,64	13,29	16,31	7,34	9,40	10,65	13,29	16,31
W260	0,58	0,72	0,80	0,98	1,20	0,58	0,72	0,80	0,98	1,20
W270	7,36	9,18	10,16	12,48	15,25	7,36	9,18	10,16	12,48	15,25
W280	1,05	1,31	1,45	1,79	2,22	1,05	1,32	1,45	1,79	2,23
W290	3,10	3,94	4,41	5,50	6,76	3,10	3,94	4,41	5,50	6,76
W300	3,89	4,98	5,61	7,05	8,74	3,89	4,99	5,61	7,05	8,75
W310	9,12	11,59	13,04	16,22	19,88	9,15	11,62	13,07	16,26	19,91
W320	0,49	0,61	0,67	0,83	1,03	0,49	0,61	0,67	0,83	1,03
W330	10,23	12,81	14,31	17,58	21,36	10,24	12,82	14,32	17,59	21,37
W340	7,44	9,45	10,67	13,24	16,19	7,71	9,74	10,96	13,55	16,52

5.2 Simulação hidráulica do sistema

5.2.1 Modelo Hidrodinâmico e Base Cartográfica Empregado

A simulação hidráulica do sistema fluvial e propagação da onda de cheias foram efetuadas no Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS) versão 5.0.3 (setembro de 2016).

O modelo HEC-RAS foi desenvolvido para simular cálculos hidráulicos unidimensionais e bidimensionais em sistemas fluviais naturais ou canais artificiais. O programa 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, por último, (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.

Para a propagação da onda de cheia, as rotinas de cálculo hidráulico não-permanentes são empregadas. Esse componente é capaz de simular qualquer sistema fluvial desejado, além de possibilitar modelar a formação de brechas de ruptura de barragens e diques, e fornece ainda seus hidrogramas. Para isso, o HEC-RAS utiliza o método adaptado de Dr. Robert L. Barkau UNET modelo (HEC, 1997) para resolução das equações não-permanentes. No início, esse ferramental foi desenvolvido para escoamento fluvial com regime subcrítico, contudo, com o aprimoramento das versões (3.1 e posteriores, inclusive, 5.0.3), foram introduzidas rotinas que permitem, simultaneamente, modelar diferentes regimes, isto é, subcrítico, crítico, supercrítico, ressalto hidráulico e quedas; tais como: vertedouros e rebaixamento de canais. A teoria envolvida nos cálculos do escoamento não-permanente pode ser obtida no capítulo 2 do *Hydraulic Reference Manual* (BRUNNER, 2008a, 2008b).

A grande vantagem do HEC-RAS é que ele está associado a outro programa, denominado HEC-GeoRAS, que apresenta um série de rotinas e ferramentas que processam dados geoespaciais no software ArcGIS, usando GUI, e os preparam para usar no HEC-RAS. O HEC-GeoRAS também faz a interface entre os resultados das simulações hidráulicas obtidas no HEC-RAS com o ArcGIS. Para isso, basta dispor de um modelo digital do terreno da região em estudo. A ideia, que introduz agilidade e flexibilidade nos estudos, é caracterizar todo o sistema fluvial previamente no ArcGIS, como canal principal, seções topobatimétricas,



rugosidade hidráulica do terreno, bem como, adicionar pontes, áreas de reservatórios, diques, de modo a facilitar a entrada de dados, e, posterior, executar as simulações no HEC-RAS, e representar de modo espacial os resultados aqui obtidos (ACKERMAN, 2005).

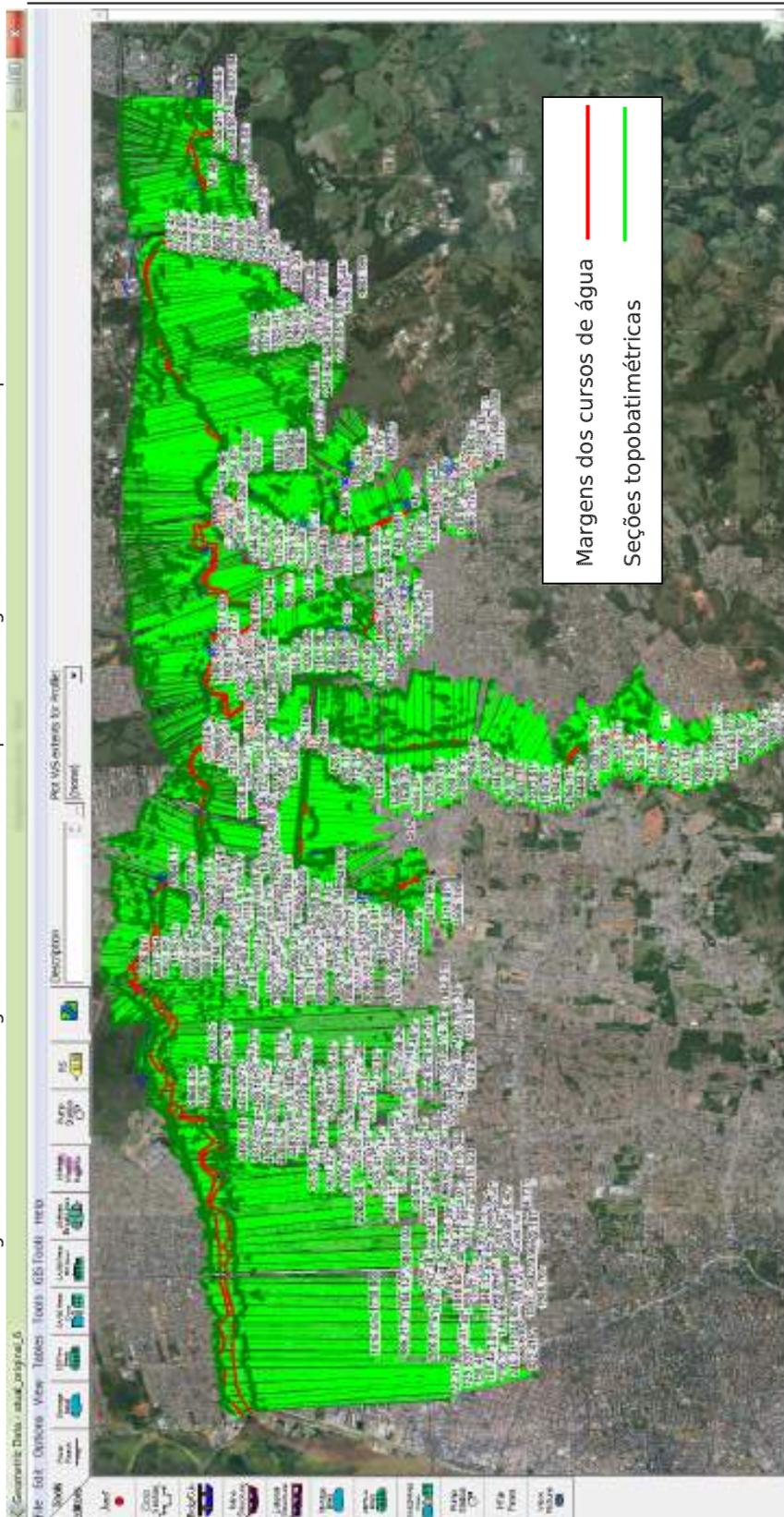
Então, inicialmente, fez a compilação e compatibilização da base altimétrica para gerar o MNT. Com os dados altimétricos oriundos de diferentes fontes, consistiram-se os cursos d'água e o relevo das várzeas de inundações. O MNT gerado considerou o rio Gravataí (da foz a 8 km da RS-118) e arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas. transformado para formato (.tif) a fim de ser utilizado no HEC-RAS para a modelagem hidrológica. A metodologia empregada está descrita no Relatório do Diagnóstico.

Os hidrogramas de cheias foram inseridas no modelo hidrodinâmico HEC-RAS. As vazões dos afluentes foram distribuídas ao longo do trecho do rio em estudo, considerando valores mínimos que não introduzissem extravasamento das cheias fora da calha, nem remansos sobre as pontes e interferências ao escoamento nos referidos afluentes.

A modelagem se procedeu no regime não-permanente com duração de dois dias. A Figura 9 ilustra a região de estudo inserida no modelo HEC-RAS. A Figura 10 apresenta o resultado da modelagem em formato de perfil e linha de água. A Figura 11 ilustra as características pontes levantadas pela topografia e inseridas no programa HEC-RAS.



Figura 9. Áreas de abrangência inserida no HEC-RAS para modelagem hidrodinâmica não-permanente



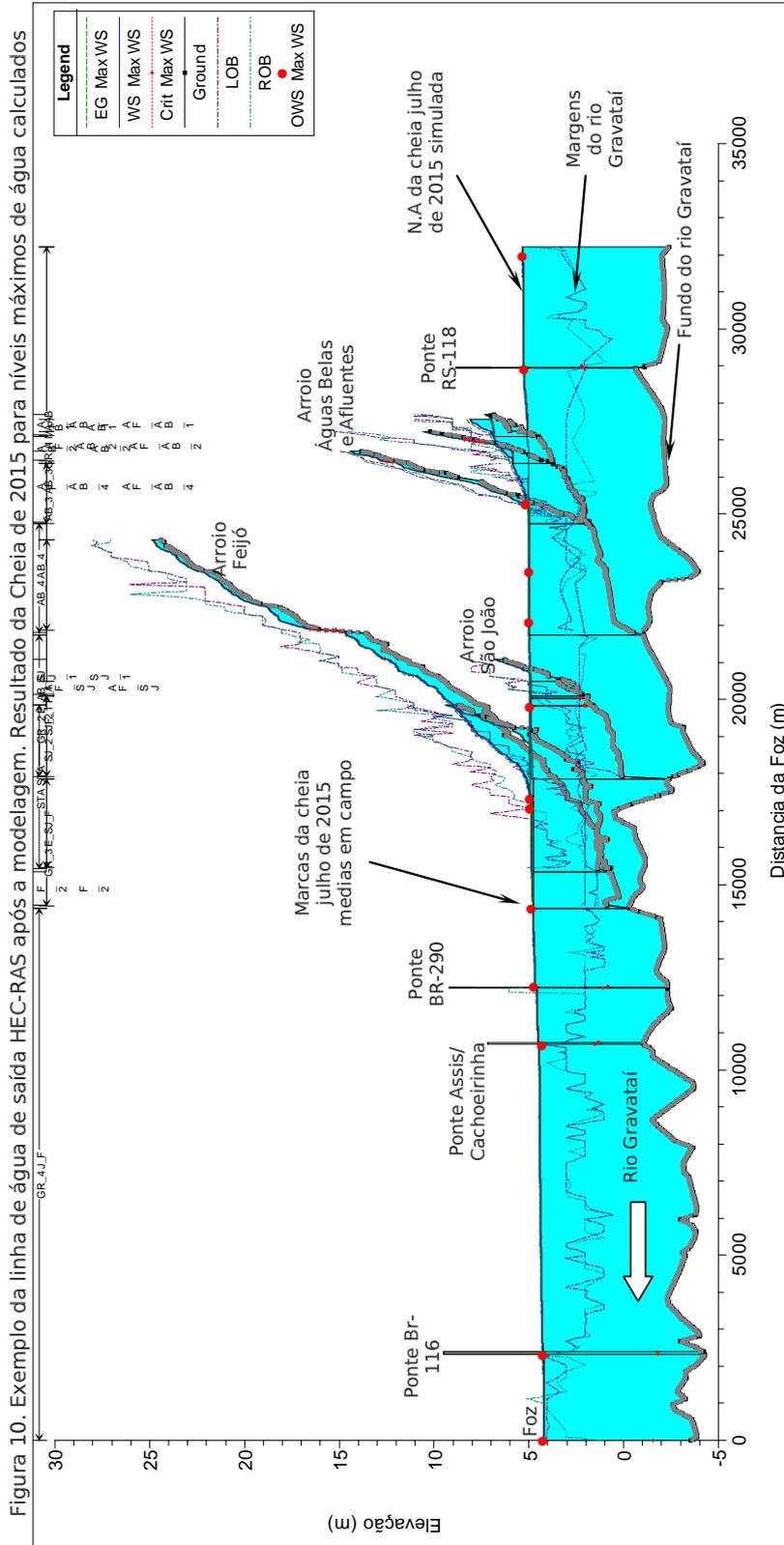
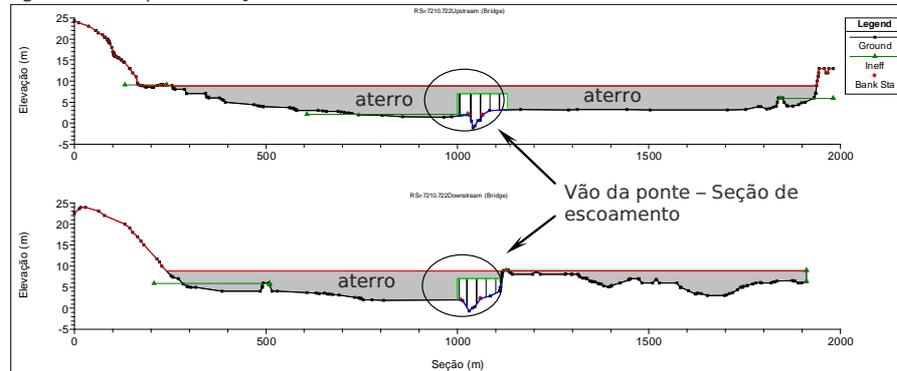
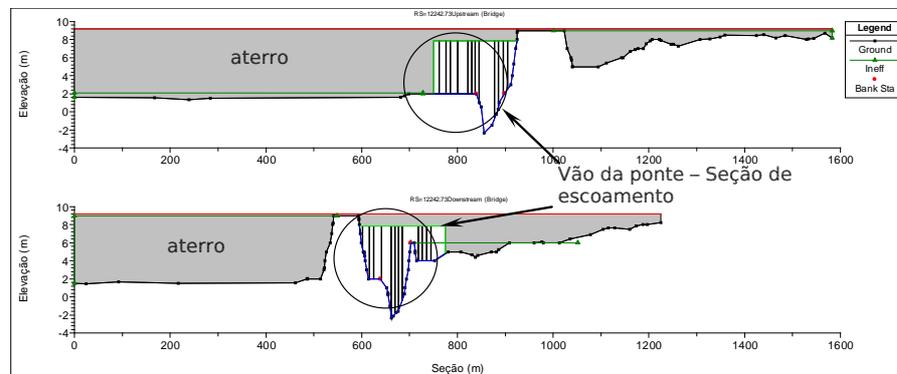




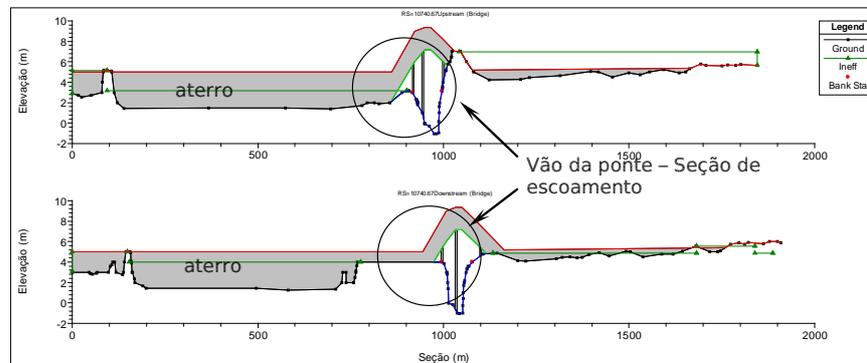
Figura 11. Representação das Pontes sob o rio Gravataí inseridas no modelo HEC-RAS



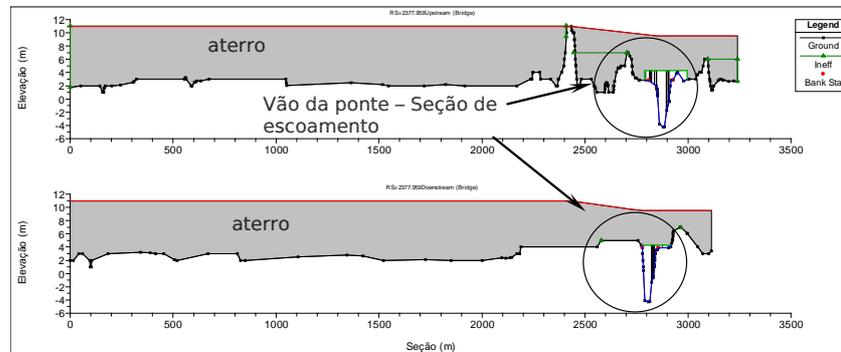
(a) Ponte na RS-118



(b) Ponte na BR-290



(c) Ponte Acesso Assis Brasil a Cachoeirinha



(d) Pontes BR-116





5.2.2 Manchas de Inundações

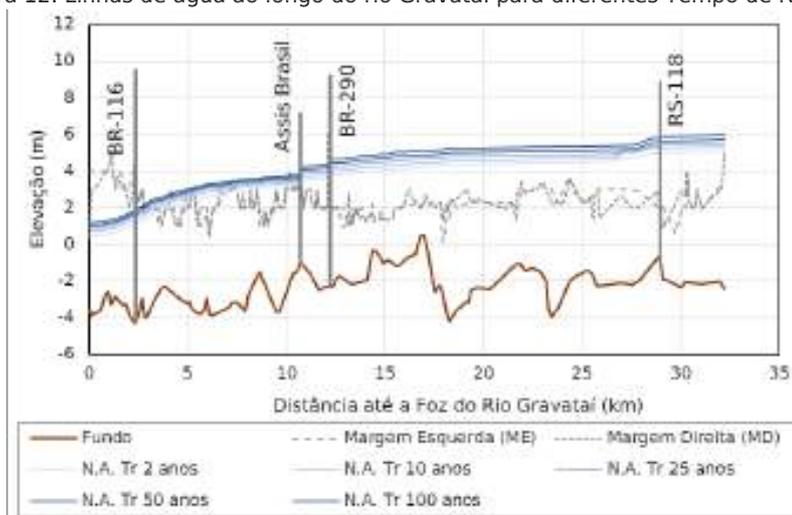
As manchas de inundações foram determinadas para diferentes tempos de retorno para o rio Gravataí e seus afluentes dentro da AEH: arroio Santo Agostinho, Feijó, são João e Águas Belas.

Diferente do Relatório de Diagnóstico, nos supracitados afluentes do rio Gravataí, as linhas de águas são apresentadas para as cheias individualizadas por curso de água. Apesar disso, os resultados das manchas das cheias ocorrendo em cada arroio por vez foi representado no sistema fluvial rio Gravataí e seus afluentes (AEH), conforme modelado no HEC-RAS (ver Figura 9). Isto é, o resultado são manchas de inundações que traduzem o efeito de remanso das pontes e refluxos naturais das cheias nos diferentes corpos hídricos para eventos individualizados. Em todas as manchas de inundações apresentadas, foi considerado o efeito de remanso do Guaíba insignificante, exceto na situação da cheia de 2015.

5.2.2.1 Inundações decorrentes do rio Gravataí

Os resultados das linhas de águas máximas para diferentes tempos de recorrência estão na Figura 12. As tabelas e memórias de cálculos estão anexas em meio digital.

Figura 12. Linhas de água ao longo do rio Gravataí para diferentes Tempo de Retorno

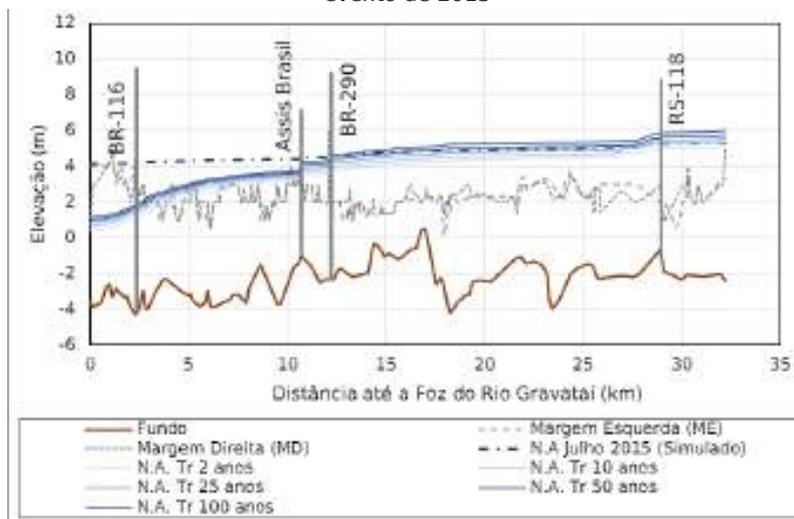


A Figura 13 compara a cheias com diferentes tempos de retornos e a cheia de 2015. É possível visualizar o efeito de remanso do Lago Guaíba sobre o supracitado evento. Também é verificado o efeito de interferências das pontes no escoamento das cheias no rio Gravataí.





Figura 13. Linhas de água ao longo do rio Gravataí para diferentes tempo de retorno comparadas ao evento de 2015



As manchas de inundações estimadas para cheias com diferentes tempos de retorno provenientes do rio Gravataí foram apresentadas no Diagnóstico, no entanto a seguir são apresentadas as figuras destas com a finalidade de ilustração.

Figura 14. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí em 2015





Figura 15. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 2 anos



Figura 16. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 10 anos

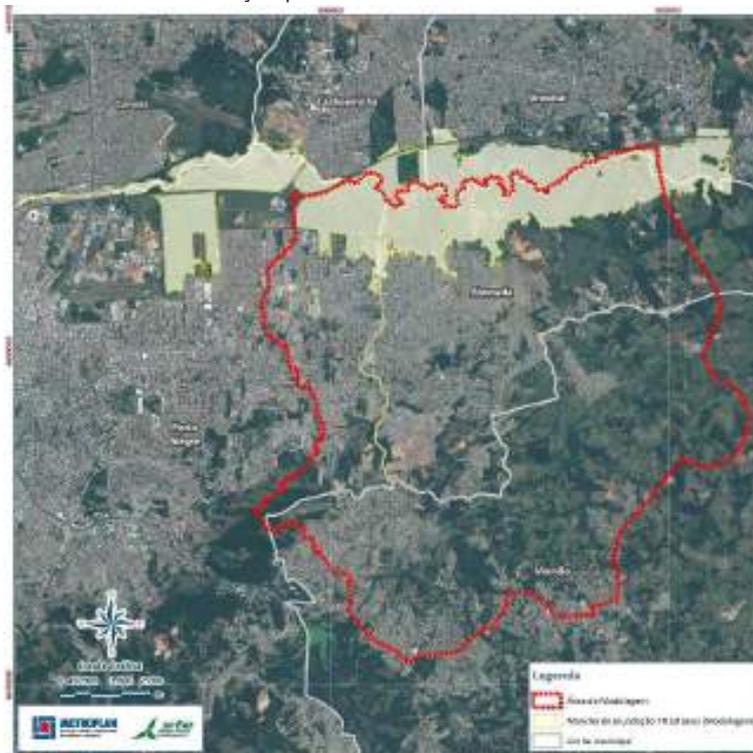




Figura 17. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 25 anos



Figura 18. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 50 anos





Figura 19. Mancha de Inundação proveniente da cheia do rio Gravataí com Tr 100 anos



5.2.2.2 Inundações oriundas das Bacias Internas

Na sequência serão apresentadas as machas de inundações simuladas pela ocorrência de cheias com Tempo de Retorno 2, 5, 10, 25 e 50 anos nos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas, considerando efeitos individuais de cada evento sobre os mesmos.

Os perfis da linha de água estão na Figura 20 a Figura 27. Estas compreendem o máximo N.A. calculado pela propagação dos hidrogramas de projetos durante o período de simulação. As memórias de cálculo constam em meio digital no Anexo 1.

Foi possível verificar nas modelagens o efeito de restrição ao escoamento produzido pela ponte da BR-290 sob o rio Gravataí. É possível identificar nas linhas de águas máximas do Feijó e Santo Agostino, os refluxos das cheias originadas no arroio Águas Belas e Feijó.



Figura 20. Perfil das linha de água no arroio Águas Belas para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo

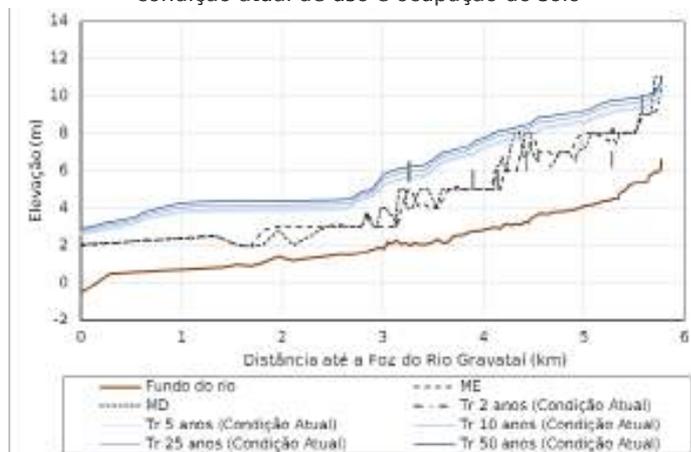


Figura 21. Perfil das linha de água no arroio Águas Belas para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo

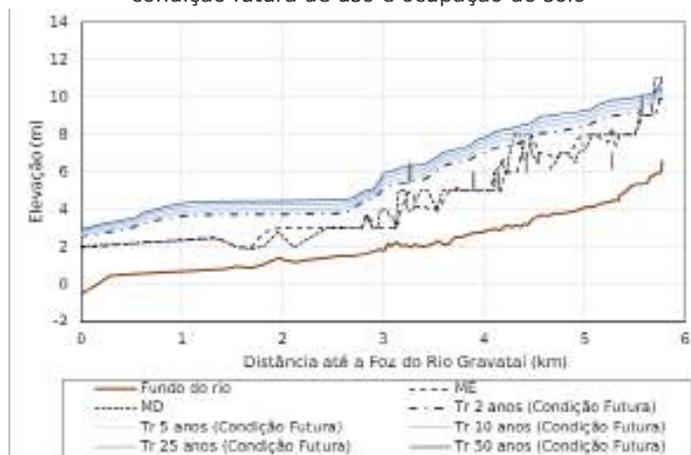


Figura 22. Perfil das linha de água no arroio Feijó para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo

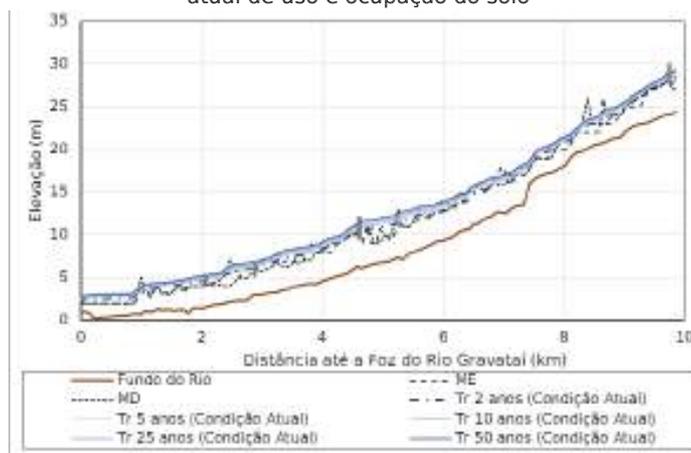




Figura 23. Perfil das linha de água no arroio Feijó para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo



Figura 24. Perfil das linha de água no arroio Santo Agostinho para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo

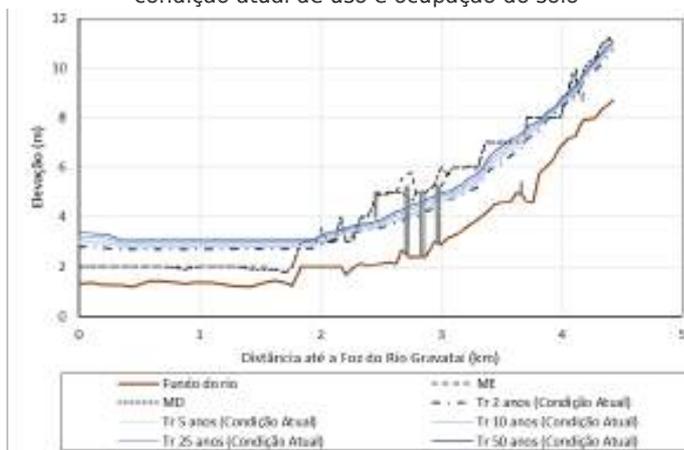


Figura 25. Perfil das linha de água no arroio Santo Agostinho para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo

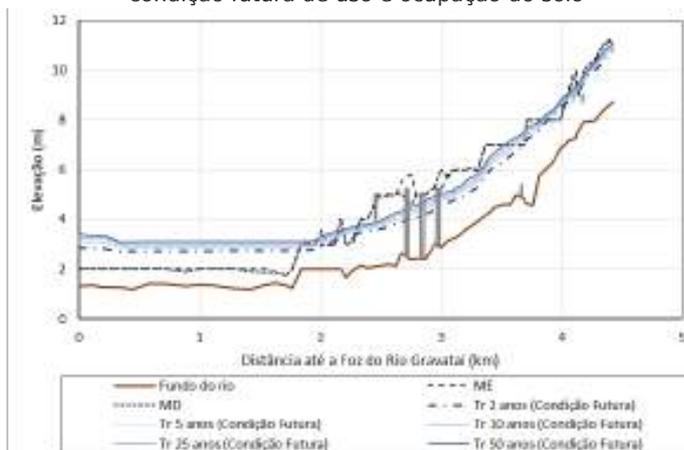




Figura 26. Perfil das linha de água no arroio São João para diferentes Tempo de Retorno para condição atual de uso e ocupação do solo

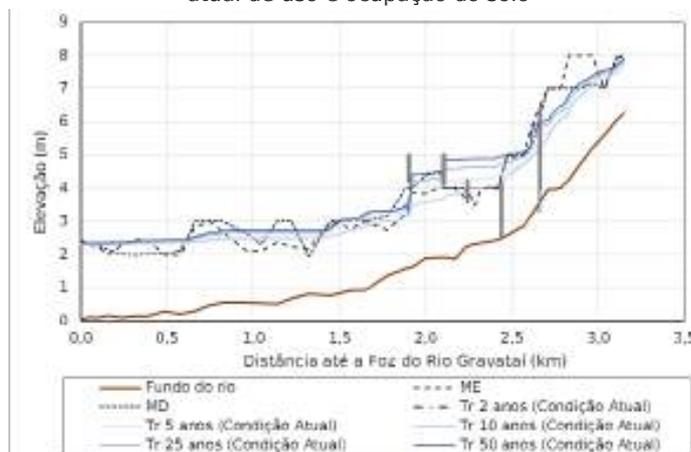
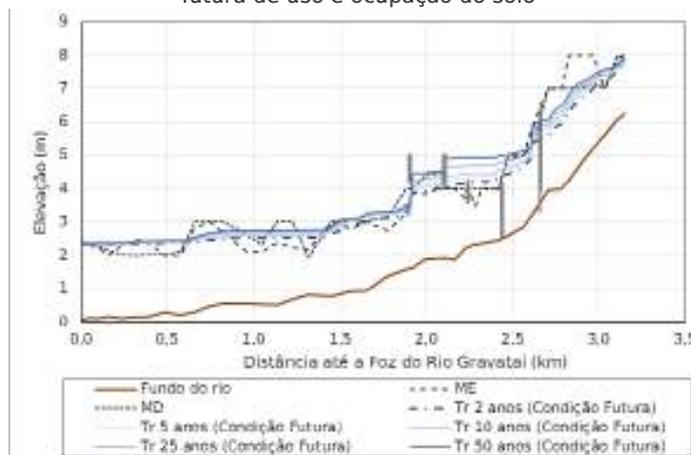


Figura 27. Perfil das linha de água no arroio São João para diferentes Tempo de Retorno para condição futura de uso e ocupação do solo



No Anexo 2 ao Anexo 7 são apresentadas as manchas individualizadas nos arroios para os diferentes Tempos de Retorno, assim como para os Cenários Atual e Futuro. Com base nas referidas manchas foram contabilizadas as edificações sujeitas a inundação a partir das restituições aerofotogramétricas. Foi incluída toda e qualquer edificação, inclusive aquelas menores de 15 m², o resultado consta no Quadro 16.

Quadro 16. Edificações sujeitas a inundação nos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas

Mancha	Cenário	Nº de edificações
Tr 2 anos	Águas Belas Atual	2.314
	Águas Belas Futuro	2.417
	Feijó e Santo Agostinho Atual	4.373
	Feijó e Santo Agostinho Futuro	4.641
	São João Atual	405
Tr 5 anos	São João Futuro	513
	Águas Belas Atual	2.710
	Águas Belas Futuro	2.877
	Feijó e Santo Agostinho Atual	4.925
	Feijó e Santo Agostinho Futuro	5.154
Tr 10 anos	São João Atual	496
	São João Futuro	614
	Águas Belas Atual	2.936
	Águas Belas Futuro	3.095



Mancha	Cenário	Nº de edificações
	Feijó e Santo Agostinho Atual	5.165
	Feijó e Santo Agostinho Futuro	5.245
	São João Atual	588
	São João Futuro	658
Tr 25 anos	Águas Belas Atual	3.352
	Águas Belas Futuro	3.489
	Feijó e Santo Agostinho Atual	5.483
	Feijó e Santo Agostinho Futuro	5.634
	São João Atual	890
	São João Futuro	944
Tr 50 anos	Águas Belas Atual	3.741
	Águas Belas Futuro	3.884
	Feijó e Santo Agostinho Atual	5.906
	Feijó e Santo Agostinho Futuro	7.179
	São João Atual	1.128
	São João Futuro	1.177

5.3 Avaliação de risco de inundação

A *U.S. Bureau of Reclamation* (1998) define como “vidas em perigo” o número de indivíduos pertencentes à faixa de inundação da onda de cheia de cursos d’água que, senão evacuadas, estão sujeitas à morte.

Essas vidas estão associadas ao uso permanente e temporário do solo. Na classe de permanentes podem-se citar as benfeitorias e as áreas frequentadas por pessoas diariamente. Enquadram-se nos usos temporários rodovias, transeuntes nas margens dos arroios, acampamentos e áreas destinadas à recreação.

É importante distinguir entre vidas em perigo e perdas de vidas. As perdas de vidas são resultado da falha do sistema e sua determinação envolve incertezas e julgamentos na análise.

Dessa forma, para avaliar as extensões das medidas de defesa civil contra a inundação e zonas de isolamento, o *U.S. Bureau of Reclamation* (1998) classifica os perigos em função da relação profundidades x velocidades nas zonas inundadas, subdivididas em três níveis:

- Baixo;
- Crítico; e
- Alto.

A Figura 28 a Figura 31 fornece essas relações supracitadas bem como a classificação de perigo conforme estabelece *U.S. Bureau of Reclamation* (1998).



Figura 28. Nível de perigo para casas em função do fator velocidade-profundidade

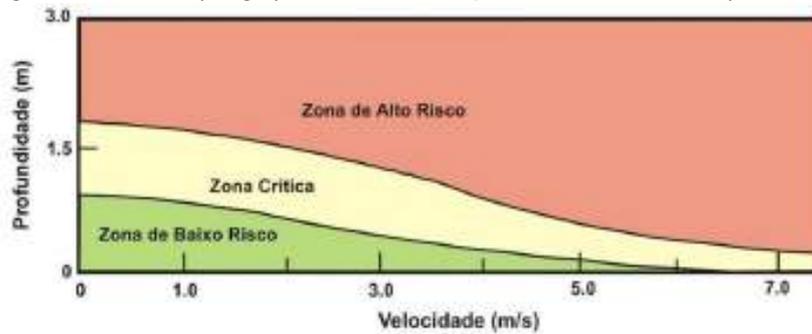


Figura 29. Nível de perigo para "trailers" em função do fator velocidade-profundidade

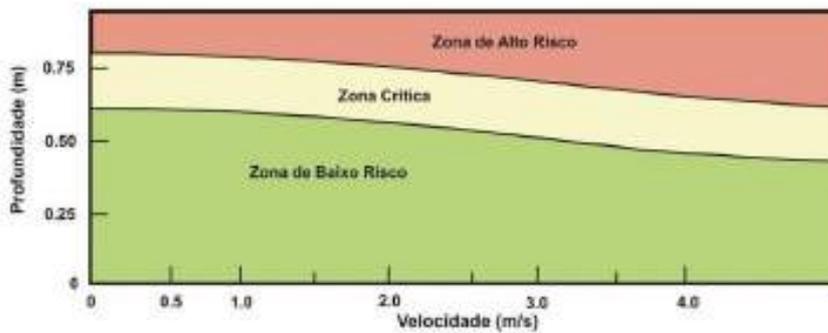


Figura 30. Nível de perigo para veículos de passageiros em função do fator velocidade-profundidade

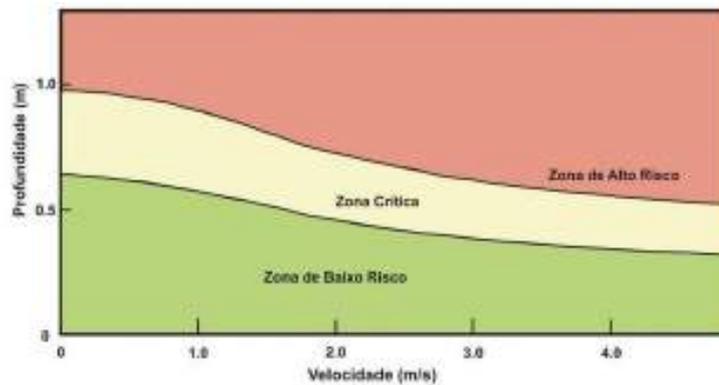
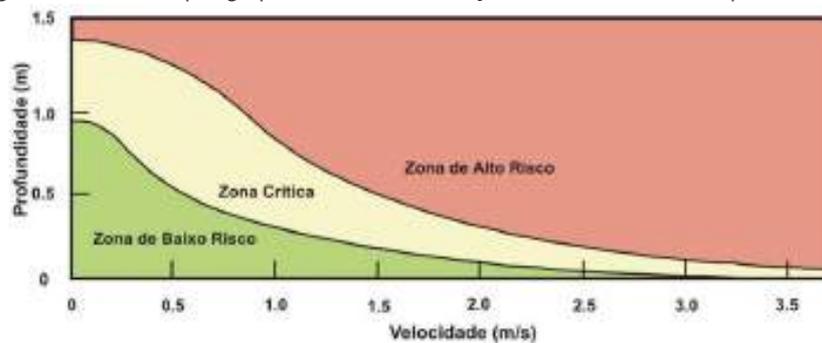


Figura 31. Nível de perigo para adultos em função do fator velocidade profundidade





Outros métodos existem para estimar o risco existente, todavia, a maioria centra a análise em profundidades e velocidades ocorrentes durante a passagem das cheias.

Para classificação do referido risco às pessoas e às edificações foram empregadas as divisões sugeridas por VISEU (2006), conforme consta nos Quadro 17 e Quadro 18 levando em consideração as informações separadamente de profundidade ou velocidade.

Quadro 17. Critérios para graduação do perigo para seres humanos

Nível	Classe	Profundidade (H)
Reduzido	Verde	H < 1m
Médio	Amarela	1m < H < 3m
Importante	Laranja	3m < H < 6m
Muito importante	Vermelha	H > 6m

Quadro 18. Critérios para graduação do perigo para edificações

Nível	Classe	Velocidade (V)
Reduzido	Verde	V < 2m/s
Médio	Amarela	2m/s < V < 4m/s
Importante	Laranja	4m/s < V < 5,5m/s
Muito importante	Vermelha	V > 5,5m/s

Para avaliação de risco de inundação foram elaborados os mapas com as manchas de inundação e os mapas da avaliação de risco às edificações e pessoas, ambos oriundos da modelagem hidrológica.

No mapeamento das manchas de inundação foi utilizado o resultado da modelagem independente dos arroios no cenário atual e futuro para os Tr de 2, 5, 10, 25 e 50 anos. Com base nessas análises identificou-se as áreas com diferentes níveis de riscos à pessoas e residências apresentadas no Quadro 19 e Quadro 20 respectivamente. Os Anexo 8 e Anexo 9 apresentam o mapeamento da avaliação de riscos para edificações e pessoas respectivamente.

Quadro 19. Quantificação do perigo para pessoas

Nível	Porcentagem da Área Factível a ser Inundada
Reduzido	59,90%
Médio	37,97%
Importante	2,09%
Muito importante	0,04%

Quadro 20. Quantificação do perigo para edificações

Nível	Porcentagem da Área Factível a ser Inundada	Nº de Edificações
Reduzido	97,32%	7.614
Médio	2,32%	411
Importante	0,30%	3
Muito importante	0,06%	0

As informações apresentadas nos Quadros acima foram confirmadas com o histórico dos registros do SINPDEC, onde no evento de 2015, não houve registro da perda de vidas humanas.

5.4 Concepção das soluções e proposição de alternativas

5.4.1 Considerações Gerais

A premissa adotada para o desenvolvimento do estudo de concepção para controle das inundações ribeirinhas do rio Gravataí é a adoção da mesma solução de Porto Alegre, isto é, o uso de um dique de proteção contra cheias.



Este item introduz as concepções estudadas. Em todas elas, existe um dique principal que se estende desde a av. Assis Brasil até o arroio Águas Belas. No trecho final do dique principal junto ao arroio Águas Belas, região sujeita a remanso do próprio arroio Águas Belas/rio Gravataí, a proteção dos empreendimentos localizados no final da rua 117, perto da pista de corrida de cavalos (pradinho), consistiu num fechamento de menor extensão numa elevação de coroamento adequada a proteção da cheia Tr 200 anos do rio Gravataí. Quanto à rua Henrique Dias, atualmente suscetível a inundações, considerou inviável economicamente a construção de um dique para proteger algumas propriedades, sendo, portanto, uma área sujeita a remoção das residências e/ou convívio das cheias. As manchas de inundações delimitadas neste estudo indicará zonas de suscetibilidade à inundações e risco às perdas de vidas humanas.

O Estudo de Concepção, com anuência da Fiscalização, considerou a utilização do dique principal como via rodoviária perimetral com a previsão de três pontes, uma sobre o arroio Feijó, São João e outra sobre o arroio Águas Belas. Logo, essa perimetral se estenderá da av. Assis Brasil até a pista de corrida de cavalos (pradinho). No estudo de concepção não se aprofundou numa ligação viária até a RS-118, passando pelo distrito industrial de Alvorada, por questões econômicas e ambientais de minimização do comprimento do dique, e, desnecessidade de proteção de áreas desocupadas e factíveis de possibilitarem o amortecimento das cheias do rio Gravataí. Essa região deverá ser incluída no plano de restrição a ocupação urbana por razões já óbvias.

Outra região fragilizada pelas inundações é o Distrito Industrial de Alvorada, onde o estudo de concepção planejou a construção de um dique independente através do alteamento das vias de acesso entre o referido distrito e a RS-118.

Por limitações orçamentárias e viabilidade econômica, as obras do dique principal, e, seu sistema de proteção, serão priorizados para investimento e proteção da área urbana, cujos prejuízos elevados e atingindo aproximadamente mais 5.000 famílias, respectivamente. As obras foram concebidas de maneira a permitir sua implantação gradual e graus de proteção elevado mesmo em fases intermediárias de construção. No detalhamento da solução mais atrativa será descrito com atingir metas intermediárias de proteção e as obras prioritárias para escalonamento de investimentos.

As interferências dos projetos com outros serviços públicos, uso e ocupação do solo e com o meio ambiente na área de influência foram amplamente discutidos e avaliados junto a Fiscalização, principalmente, a localização e emprego de reservatórios de amortecimentos das águas pluviais internas, e, traçado do dique principal. Essa última definição foi debatida diversas vezes, que culminou na incorporação e proteção da ETE Alvorada, e, desvio dos diques internos para preservação das linhas de transmissão novas da CEEE, hoje, em processos de licitação para construção. As principais interferências com o traçado com os diques foram identificadas e serão utilizadas como custos inerentes a implantação das obras, do mesmo modo importante para a análise de viabilidade das soluções cotejadas.

Ainda assim, preocupado com a repercussão de futuras obras para proteção de áreas remanescente suscetíveis a inundações nos supracitados municípios, foi simulada situação onde todos os municípios fossem abrangidos por diques (cidade de Gravataí a montante da



RS-118, Cachoeirinha, Distrito Industrial, rua Henrique Dias, Dique Principal). Com essa premissa, definiram-se as cotas de coroamento do dique principal, variáveis ao longo do rio Gravataí, evitando que futuras obras possam alterar a segurança adotada das obras projetadas. Então, a cota de coroamento do dique foi definida a partir da culminância dos seguintes critérios:

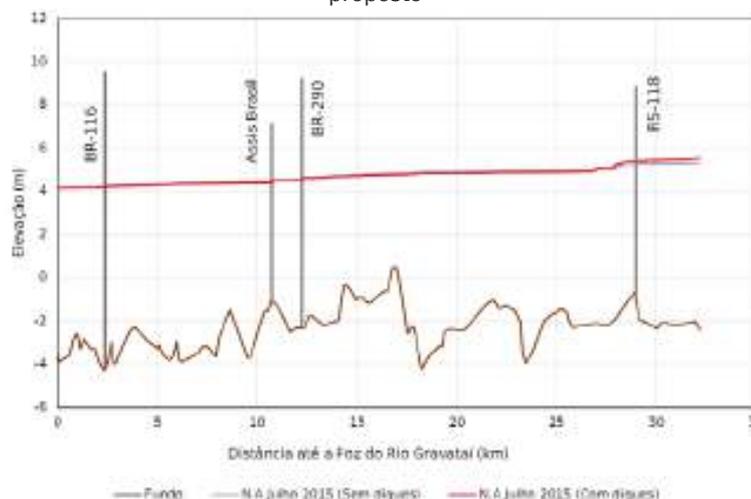
- Dique Principal (Igual nas soluções Diques Internos e Corta Rio)
 - Comparação através da modelagem da circunstância mais crítica em termos de níveis de água (N.A.) calculados entre as cheias Tr 200 anos, oriundas do rio Gravataí, e, a cheia de 2015, com Tr 259 anos, sob efeito de remanso do Guaíba;
 - Estabelecimento de margem de segurança através da definição de uma borda livre igual a 2,2 m, decorrente do efeito de ventos de 120 km/h atuando sobre um *fetch* de 2,5 km.
- Diques Internos
 - Comparação através da modelagem da circunstância mais crítica em termos de níveis de água (N.A.) calculados entre as cheias Tr 200 anos, oriundas do rio Gravataí; a cheia de 2015, com Tr 259 anos, sob efeito de remanso do Guaíba; cheia Tr 25 anos internas dos arroios condição futura de uso e ocupação do solo;
 - Estabelecimento de margem de segurança através da definição de uma borda livre igual a 2m, na região onde o efeito do remanso do rio Gravataí é predominante, e, 1m na região de escoamento oriundo das águas pluviais internas é dominante.

Todas as medidas estruturais serão aqui caracterizadas em nível conceitual. Todavia, elas foram suficientemente caracterizadas a fim de possibilitar orçamento individualizado dos serviços envolvidos. Foram utilizados em alguns casos simplificações e parametrizações dos custos e composições, com indicadores de outras obras similares, devidamente justificados, para fins de comparação das soluções concebidas.

Por fim, é relevante mencionar que todas as soluções de implantação do dique avaliaram os efeitos de aumento do nível d'água a montante e na margem direita do rio Gravataí (principalmente nos municípios de Cachoeirinha e Gravataí). Segundo os resultados da modelagem hidrodinâmica, ver Figura 32, da maneira que o dique principal foi conformado e traçado, o nível de água não sofreu alterações significativas para as cheias estudadas (entre 8 cm e 20 cm), e, ele não será causa de danos adicionais significativos aos referidos municípios (mais 44 benfeitorias inundadas).



Figura 32. Comparação da linha de água no evento de cheia de 2015 sem e com o dique principal proposto



Vale comentar que as soluções para retirada das águas pluviais internas passou por ampla discussão e definição de áreas prioritárias para armazenamento das cheias internas que consideram pontos ambientais e sociais, bem como, impactos na expansão urbana, como será abordado no item posterior.

5.4.1 Áreas de Reserva Selecionadas para Amortecimento das Cheias

As áreas de reserva que serão utilizadas para amortecimento das chuvas, foram selecionadas, primeiramente, com base no uso e ocupação do solo atual, nos planos diretores dos três municípios interceptados pela AEH e projetos de futuros loteamentos.

Para determinar as classes de uso e ocupação do solo atual, foram utilizadas imagens de alta resolução, no qual foram mapeadas, interpretadas e classificadas conforme o uso. Desta forma, o critério de escolha para as bacias de reserva, foram áreas não edificadas, tais como; áreas úmidas, cultivos, hidrografia, irrigação, silvicultura, solo exposto, vegetação arbórea, vegetação arbórea-arbustiva e vegetação rasteira.

Após a prévia localização sobre o uso atual foram verificados os planos diretores em busca de áreas de uso restrito (Setor de Proteção do Morro Santana-Viamão, Zona de Preservação-Alvorada e Área de Proteção do Ambiente Natural-Porto Alegre). Além disso, foi analisado o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre com o intuito de buscar as áreas já previstas para reserva (bacias e barramentos). O Quadro 21 e Figura 33 apresentam, respectivamente, a relação e a localização preliminar das áreas de reserva.

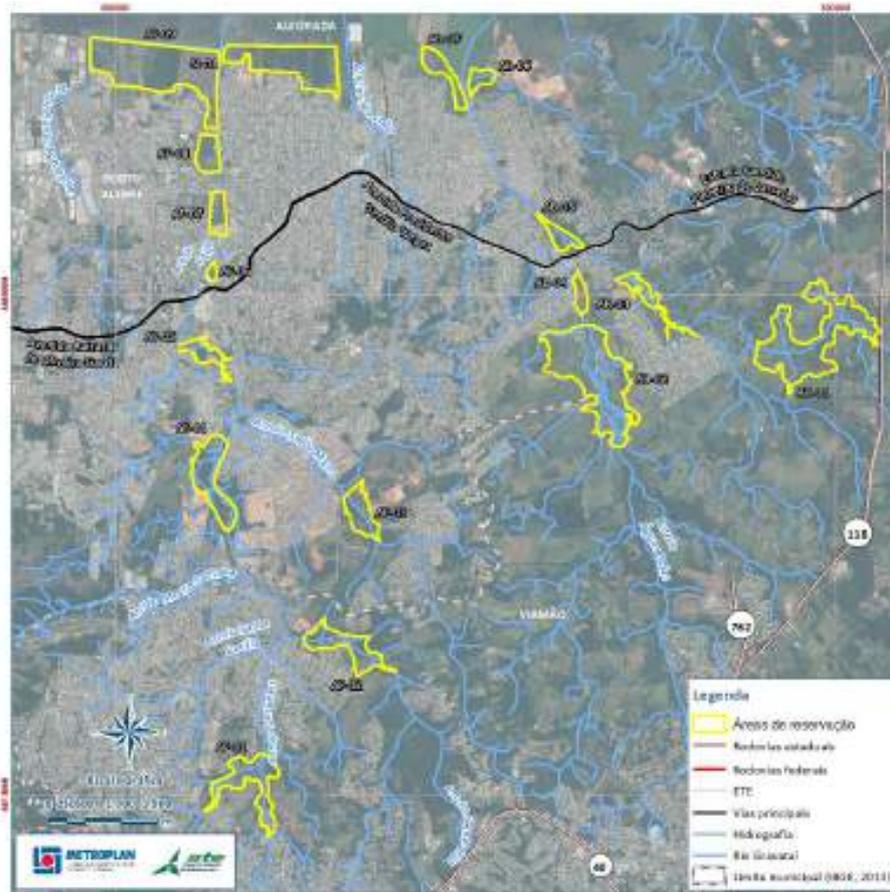
Quadro 21. Áreas de reserva preliminar

Nome	Bacia Hidrográfica	Área Superficial Disponível (m²)	Tipo	Município
AB-01	Águas Belas	935.512	Reservatório	Viamão
AB-02		1.089.684	Reservatório	Alvorada
AB-03		116.871	Reservatório	Viamão
AB-04		77.071	Bacia	Viamão
AB-05		106.541	Bacia	Alvorada
AB-06		80.189	Bacia	Alvorada
AB-07		162.945	Bacia	Alvorada



Nome	Bacia Hidrográfica	Área Superficial Disponível (m ²)	Tipo	Município
AF-01	Feijó	365.801	Reservatório	Viamão
AF-02		304.211	Reservatório	Viamão
AF-03		205.634	Reservatório	Alvorada
AF-04		87.097	Reservatório	Alvorada
AF-05		31.359	Reservatório	Porto Alegre
				Alvorada
AF-06		25.891	Bacia	Alvorada
AF-07		128.074	Bacia	Porto Alegre
AF-08	150.037	Bacia	Porto Alegre	
AF-09	Feijó/Santo Agostinho	1.102.006	Bacia	Porto Alegre
SJ-01	Feijó/ São João	634.382	Bacia	Alvorada

Figura 33. Áreas de reservação preliminares



Posteriormente, foram analisados os projetos de loteamentos oriundos da Prefeitura de Alvorada. As áreas de reservação que estavam localizadas sobre projetos de loteamentos foram excluídas, restando apenas aquelas onde os locais foram ocupados com atividades distintas do previsto. As áreas de reservação foram discutidas previamente com o Ministério Público, na qual não fez nenhuma manifestação contrária a implantação.

As áreas foram encaminhadas à METROPLAN para conferência junto à equipe do PAC Prevenção de Inundações que repassou à Diretoria de Gestão Territorial para avaliação. Após análise, a METROPLAN encaminhou parecer técnico informando quais possuíam

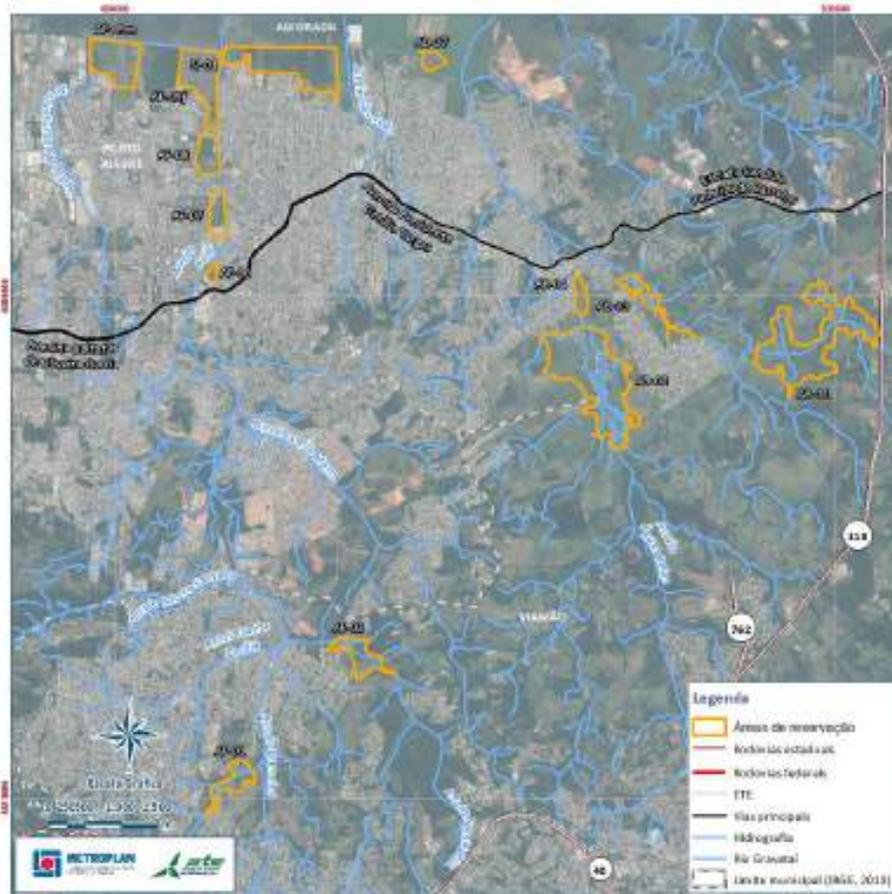


conflito com projetos de loteamentos. Essas áreas também foram excluídas ou readequadas pela consultora, assim o Quadro 22 e a Figura 34 apresentam, respectivamente, a relação e a localização das áreas de reservação após análise pela METROPLAN.

Quadro 22. Áreas de reservação após análise

Nome	Bacia Hidrográfica	Área Superficial disponível (m²)	Tipo	Município
AB-01	Águas Belas	935.512	Reservatório	Viamão
AB-02		1.089.684	Reservatório	Alvorada
AB-03		116.871	Reservatório	Viamão
AB-04		77.071	Bacia	Viamão
AB-07		63.463	Bacia	Alvorada
AF-01	Feijó	160.515	Reservatório	Viamão
AF-02		189.750	Reservatório	Viamão
AF-06		25.891	Bacia	Alvorada
AF-07		128.074	Bacia	Porto Alegre
AF-08		150.037	Bacia	Porto Alegre
AF-09j		364.831	Bacia	Porto Alegre
AF-09m	Santo Agostinho	370.148	Bacia	Porto Alegre
SJ-01	São João/Feijó	634.382	Bacia	Alvorada

Figura 34. Áreas de reservação após análise



Após a conferência dos locais conflitantes, as áreas de reservação foram inseridas na modelagem hidrológica para então definir quais seriam as utilizadas. Assim, o Quadro 23 e a

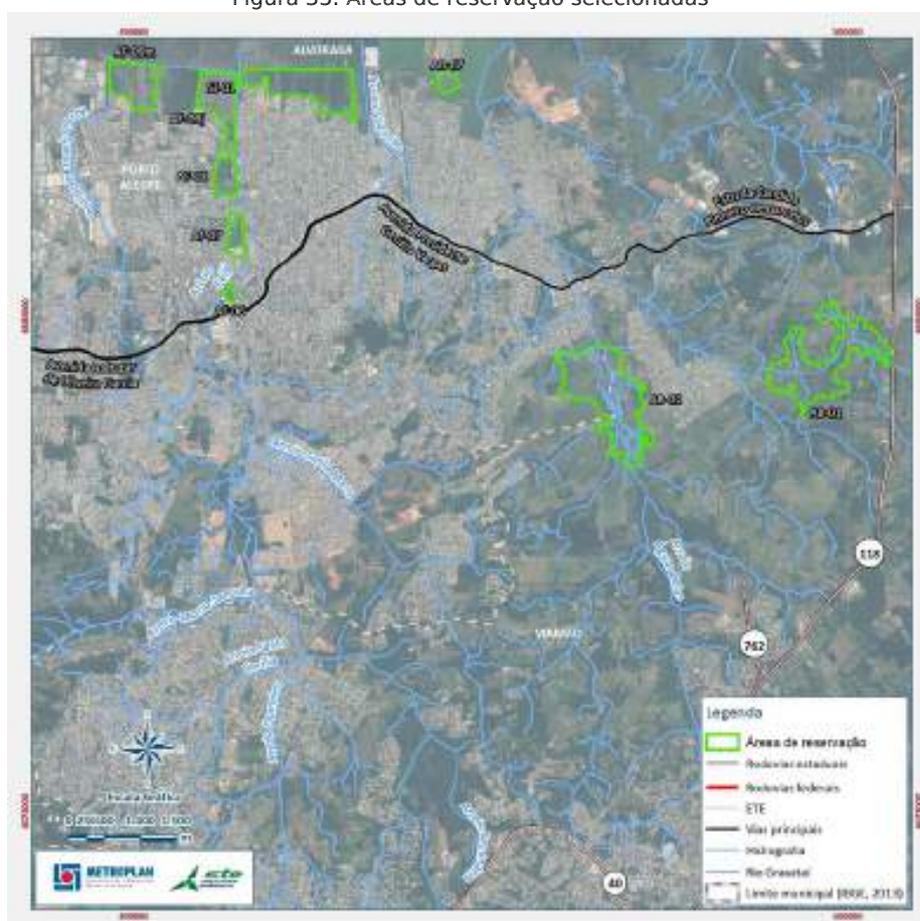


Figura 35 apresentam, respectivamente, a relação e a localização das áreas de reservação com viabilidade técnica.

Quadro 23. Áreas de reservação selecionadas

Nome	Bacia Hidrográfica	Área Superficial disponível (m²)	Tipo	Município
AB-01	Águas Belas	935.512	Barramento/Reservatório	Viamão
AB-02		1.089.684	Barramento/Reservatório	Alvorada
AB-07		63.463	Bacia	Viamão
AF-06	Feijó	25.891	Bacia	Alvorada
AF-07		128.074	Bacia	Porto Alegre
AF-08		150.037	Bacia	Porto Alegre
AF-09j		364.831	Bacia	Porto Alegre
AF-09m	Santo Agostinho	370.148	Bacia	Porto Alegre
Sj-01	São João/Feijó	634.382	Bacia	Alvorada

Figura 35. Áreas de reservação selecionadas



5.4.2 Alternativas Estruturais Elencadas para Proteção das Cheias do rio Gravataí

As alternativas estruturais elencadas para proteção das cheias do rio Gravataí são composta por sistema de diques, tendo um dique principal, na margem esquerda do rio Gravataí. A elevação do coroamento do dique principal, igual para todas as alternativas, está no Quadro 24, bem como, o projeto do mesmo. Em função da entrada ou não do dique principal para os arroios, haverá alteração do traçado do mesmo, e, por conseguinte, custos de implantação diferentes, ver Figura 36 e Figura 37.



Em todas as soluções, o dique principal protege a ETE Alvorada de inundações futuras oriundas das cheias do rio Gravataí, bem como, o arroio Santo Agostinho deixa de ser um afluente do arroio Feijó e será desviado diretamente para o rio Gravataí.

Quadro 24. Elevação do coroamento do Dique Principal na Foz dos arroios e Rodovias Principais

Dique Principal	Cota de Coroamento do Dique	Critério Adotado	Borda Livre acima do N.A. máximo modelado
Junto a Assis Brasil	EL. 6,7 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
Arroio Santo Agostinho	EL. 7,0 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
Arroio Feijó	EL. 7,4 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
Arroio São João	EL. 7,7 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
Arroio Águas Belas	EL. 7,9 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
Junto a Ponte da RS -118 (jusante)	EL. 8,7 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m

Como já comentado, na introdução do item 5, foram estudados dois arranjos básicos de composição de obras, sendo dois outros uma variação e composição dos demais. Portanto, têm-se quatro alternativas estudadas, a saber:

- Solução Dique Interno;
- Solução Corta Rio;
- Solução Dique Interno com Reservatórios de Amortecimento das Cheias Internas oriundas dos arroios Feijó, Santo Agostinho, São João e Águas Belas;
- Solução de Mista de Menor Custo de Implantação

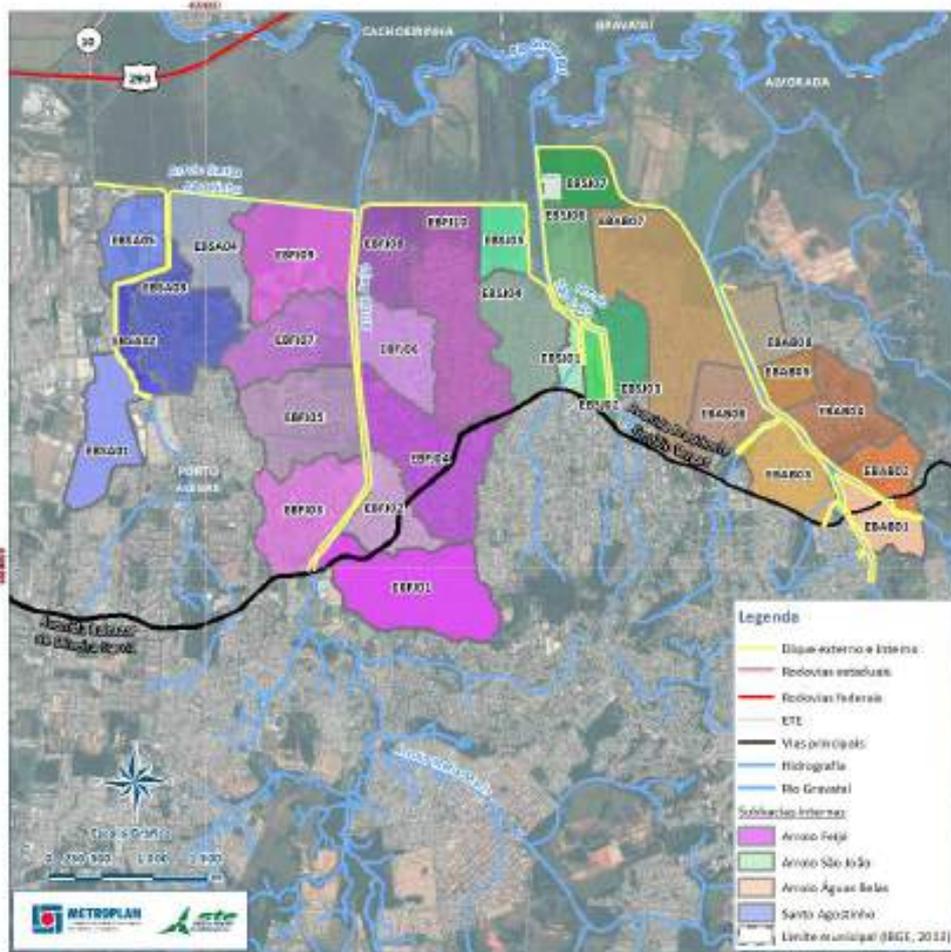
5.4.2.1 Alternativa 1 - Solução Diques Internos

Na Solução Diques Internos haverá um sistema de diques que avança do dique principal para montante dos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas. Essa alternativa prioriza o escoamento das cheias dos arroios, e, minimiza as vazões a serem bombeadas nos polders, conforme Figura 36.





Figura 36. Traçado do dique principal junto a margem esquerda do rio Gravataí



A elevação da cota de coroamento (CC) e os critérios de determinação da margem de segurança na sua determinação estão descritos no Quadro 25. Os diques internos partem do dique principal com as referidas CC (Quadro 24) e avançam pelas margens dos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas. Os diques se limitaram na região entre o rio Gravataí e a Av. Presidente Getúlio Vargas, onde os N.A. são fortemente influenciados pelo remanso das cheias no rio Gravataí. A montante da Av. Presidente Getúlio Vargas, os alagamentos são decorrentes as cheias internas e podem ser resolvidos através de medidas estruturais ou não estruturais locais ou regionais e não interferências das obras aqui projetadas. Optou-se nesse conjunto de soluções a condução direta do arroio Santo Agostinho para o rio Gravataí.

Em função da implantação dos diques, serão criados polders que deverão ser drenados por estações de bombeamento com as áreas de atuação apresentadas na Figura 36. Para cada área existirá uma casa de bombas com as vazões determinadas pelo modelo chuva-vazão, conforme Quadro 26.



Quadro 25. Diques internos, critérios adotados para determinação da CC e borda livre

Diques Internos	Cota de Coroamento do Dique	Critério Adotado	Borda Livre em N.A máximo modelado
Foz do Feijó	EL. 7,4 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
1,8 km da Foz do Feijó	EL. 7,4 m	Tr 25 anos	1,0 m
2,5 km da Foz do Feijó	EL. 7,8 m	Tr 25 anos	1,0 m
2,7 km da Foz do Feijó	EL. 8,1 m	Tr 25 anos	1,0 m
2,9 km da Foz do Feijó	EL. 8,5 m	Tr 25 anos	1,0 m
3,0 km da Foz do Feijó	EL. 8,6 m	Tr 25 anos	1,0 m
3,3 km da Foz do Feijó até Av. Presidente Getúlio Vargas	EL. 9,0 m (Nível do terreno)*	Tr 25 anos	-
Foz do Santo Agostinho	EL. 7,4 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
3 km da Foz do Santo Agostinho	EL. 7,5 m	Tr 25 anos	1,0 m
3,8 km da Foz do Santo Agostinho	EL. 7,8 m	Tr 25 anos	1,0 m
4 km da Foz do Santo Agostinho	EL. 8,0 m (nível do terreno)*	Tr 25 anos	-
Foz do São João	EL. 7,7 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
2,8 km da Foz do São João	EL. 8,0 m	Tr 25 anos	1,0 m
2,9 km da Foz do São João	EL. 8,5 m	Tr 25 anos	1,0 m
3,0 km da Foz do São João	EL. 8,7 m	Tr 25 anos	1,0 m
3,1 km da Foz do São João até o terreno natural	EL. 9,0 m	Tr 25 anos	-
Foz do Águas Belas	EL. 7,9 m	Tr 200 anos no rio Gravataí	2,2 m
3,5 km da Foz do Águas Belas	EL. 8,5 m	Tr 25 anos	1,0 m
3,7 km da Foz do Águas Belas	EL. 9,0 m	Tr 25 anos	1,0 m
4,0 km da Foz do Águas Belas	EL. 9,8 m	Tr 25 anos	1,0 m
4,1 km da Foz do Águas Belas	EL. 10,1 m	Tr 25 anos	1,0 m
4,2 km da Foz do Águas Belas	EL. 10,2 m	Tr 25 anos	1,0 m
4,4 km da Foz do Águas Belas	EL. 10,8 m	Tr 25 anos	1,0 m
4,5 km da Foz do Águas Belas até a Av. Presidente Getúlio Vargas	EL. 11,0 m (nível do terreno)*	Tr 25 anos	-

* altura do dique é nula, isto é, a CC coincide com elevação do terreno natural. Fim do dique.

Quadro 26. Estações Elevatórias Definidas para a proposição de diques internos e suas respectivas vazões de dimensionamento

Elevatórias de Águas Pluviais (EB)	Bacia Hidrográfica	Vazões de Bombeamento (m³/s)
EBAB01	Águas Belas	4,9
EBAB02	Águas Belas	4,5
EBAB03	Águas Belas	8,2
EBAB04	Águas Belas	11,0
EBAB05	Águas Belas	3,3
EBAB06	Águas Belas	7,0
EBAB07	Águas Belas	21,0
EBAB08	Águas Belas	4,5
Total	Águas Belas	64,4
EBFJ01	Feijó	18,9
EBFJ02	Feijó	7,7
EBFJ03	Feijó	13,5
EBFJ04	Feijó	24,3
EBFJ05	Feijó	14,1
EBFJ06	Feijó	7,1
EBFJ07	Feijó	10,0
EBFJ08	Feijó	7,1
EBFJ09	Feijó	12,4
EBFJ10	Feijó	17,7
Total	Feijó	132,8
EBSA01	Santo Agostinho	4,5
EBSA02	Santo Agostinho	2,2
EBSA03	Santo Agostinho	11,3
EBSA04	Santo Agostinho	7,7
EBSA05	Santo Agostinho	5,6
Total	Santo Agostinho	31,3
EBSJ01	São João	2,3
EBSJ02	São João	2,9
EBSJ03	São João	5,6
EBSJ04	São João	7,6
EBSJ05	São João	3,5
EBSJ06	São João	2,4





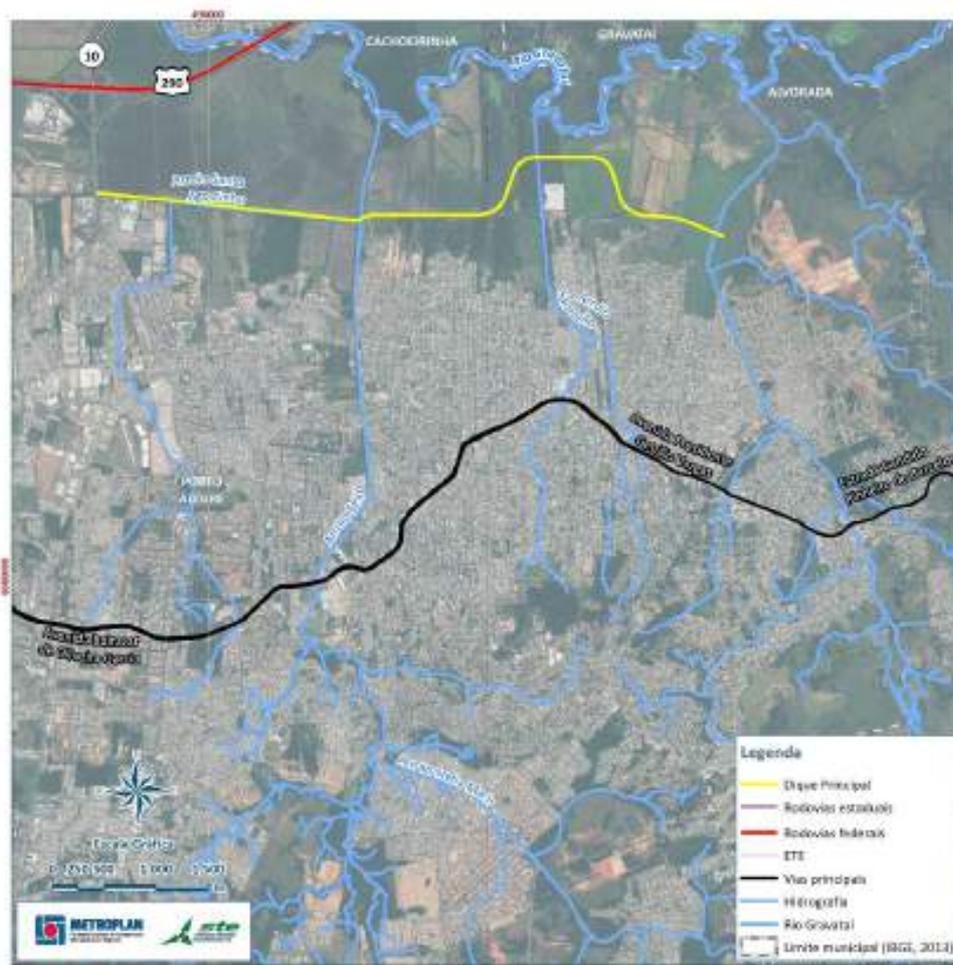
Elevatórias de Águas Pluviais (EB)	Bacia Hidrográfica	Vazões de Bombeamento (m³/s)
EBSJ07	São João	0,3
Total	São João	24,6
Total Geral		251,6

5.4.2.2 Alternativa 2 - Solução Corta Rio

Essa solução estrutural cria de um *polder* único protegido somente pelo dique principal localizado às margens do rio Gravataí, ver Figura 37.

Como o próprio nome da Solução diz, nesta alternativa haverá em cada saída dos arroios, junto ao dique principal, comportas que interromperão os fluxos dos arroios no momento da elevação perigosa do N.A. do rio Gravataí fora da calha.

Figura 37. Traçado do Dique Principal na Solução Corta Rio

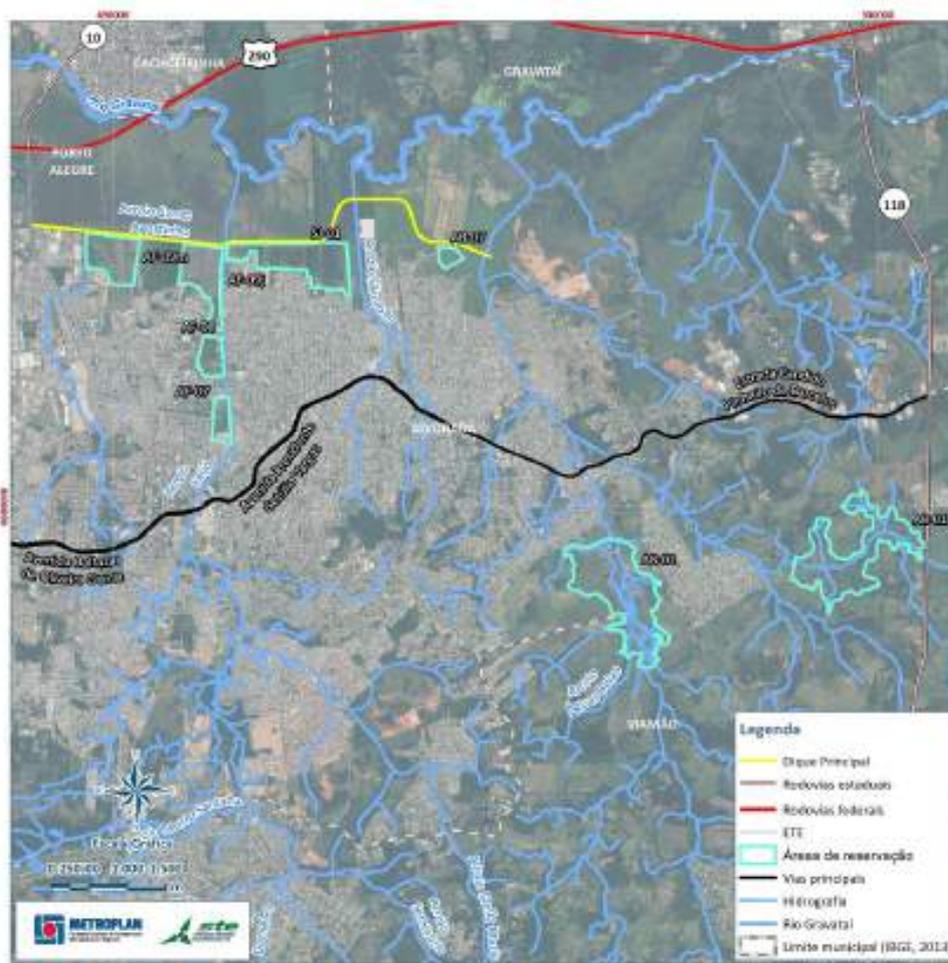


Para evitar os diques internos e acomodar as cheias com Tr 25 anos foi necessário a implantação de reservatórios de retenção de cheias e dragagem nos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas, além de seus afluentes. Todos os reservatórios poderão ser esgotados por gravidade. Alguns reservatórios serão *off-line* (AF09j, AF09m, AB07, SJ01), isto é, entrarão em funcionamento no momento da cheias, onde estarão



acopladas as casas de bombas, e, outros serão *in-line* (AF08, AF07, AB01 e AB02), ou seja, conectados diretamente no alinhamento do curso de água. Devido ao elevado nível do lençol freático na região, faz necessário o esvaziamento dos reservatórios AF09j, AF09m, AB07, SJ01 nos momentos dos eventos pluviométricos. Portanto, as casas de bombas deverão ser ligadas previamente para manter os reservatórios vazios no início das chuvas. Na Figura 38 constam as áreas de reservação juntamente com o dique principal.

Figura 38. Áreas de reservação e dique principal



As simulações hidrodinâmicas demonstraram que solução Corta Rio sem reservação implicou em resultados parciais de proteção de Tr 25 anos das cheias internas nos arroios Feijó/Santo Agostinho, São João e Águas Belas. Os resultados apontaram vazões de grande magnitude de bombeamento que levaram a interrupção de detalhamento da solução sem reservação. Os valores de vazões de bombeamento previstas no sistema ficaram assim estabelecidos: 80 m³/s para o arroio São João, 600 m³/s para o arroio Águas Belas, 280 m³/s para o arroio Feijó e 120 m³/s para o Santo Agostinho, totalizando 1080 m³/s. Para operação dessas casas de bombas, a energia elétrica seria absurda, pois, teria um número de 175 bombas, com potência individual de 500 kW. Ou seja, o sistema teria um total de 77,5 MW de potência instalada. Imaginando que essas bombas ficariam em torno de 24 horas ligadas



em cada evento de cheia, cada evento representaria um gasto de energia da ordem de R\$ 1.500.000/evento. Dessa forma, a consultora considera inviável técnica e economicamente a solução de proteção interna sem o emprego de reservatórios de retenção.

Essa solução, evidentemente, exige uma operacionalidade do sistema e o constante monitoramento das chuvas para a viabilidade do sistema de proteção das cheias. A operacionalidade do sistema foi modelada no HEC-RAS no regime não-permanente e os resultados serão apresentados na item 5.4.3.

O resumo das obras dessa solução Corta Rio para os arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas, bem como, a proposição das dragagem estão entre o Quadro 27 ao Quadro 34.

Quadro 27. Proposição de Dragagem do arroio Santo Agostinho para Solução Corta Rio

Distância da Foz (km)	EL. do fundo do arroio Santo Agostinho pós dragagem (m)	Base (m)
0,0	1,00	20
0,5	1,00	20
2,5	1,00	20
3,0	1,41	20
3,5	3,16	20
4,0	5,02	20
4,5	7,36	20
Afluentes	Dragar 1 metro de profundidade	20

Quadro 28. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio Santo Agostinho

Principais Obras	
Dragagem do arroio Santo Agostinho e Seus Afluentes	
Rebaixo do fundo do arroio (m)	1
Base do canal (m)	20
Revestimento das margens	Gabião colchão
Reservatórios de Amortecimento de Cheias	
AF 09 m (Reservatório off line)	
Cota de soleira do vertedouro lateral por onde a água entra	EL. 3,5 m
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 3,9 m
Comprimento do Vertedouro	150 m
Descarregadores de fundo	2 unidades
EL de fundo dos descarregadores de fundo	1 m
Dimensões dos descarregadores de fundo (Base x Altura)	2 m x 2 m
Área Superficial (ha)	36
Capacidade de Armazenamento (hm³)	0,93
Estação de Bombeamento EBSJ01	
Capacidade de bombeamento (m³/s)	50
EL. N.A. mínimo (m)	1,5
Número de conjunto motor-bombas	8
EL. Do poço de sucção (m)	-7,5 m
Tempo para esvaziamento do reservatório	5 horas

Quadro 29. Proposição de Dragagem do arroio Feijó para Solução Corta Rio

Distância da Foz (km)	EL. do fundo do arroio Feijó pós dragagem (m)	Base (m)
0,0	-0,50	20
2,0	-0,50	20
3,0	0,94	20
3,5	1,98	20
4,0	2,59	20
4,5	4,29	20
5,0	4,87	20
5,5	5,83	20
6,0	7,56	20
Afluentes	Dragar 2 metros de profundidade	20





Quadro 30. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio Feijó

Principais Obras	
Dragagem do arroio Feijó e Seus Afluentes	
Rebaixo do fundo do arroio (m)	2
Base do canal (m)	20
Revestimento das margens	Gabião colchão
Reservatórios de Amortecimento de Cheias	
AF 09 J (Reservatório off line)	
Cota de soleira do vertedouro lateral por onde a água entra	EL. 2,5 m
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 3,1 m
Comprimento do Vertedouro	300 m
Descarregadores de fundo	3 unidades
EL de fundo dos descarregadores de fundo	-0,5 m
Dimensões dos descarregadores de fundo (Base x Altura)	2 m x 2 m
Área Superficial (ha)	30
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	0,9
SJ 01 (Reservatório off line)	
Cota de soleira do vertedouro lateral por onde a água entra	EL. 2,5 m
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 2,9 m
Comprimento do Vertedouro	300 m
Descarregadores de fundo	3 unidades
EL de fundo dos descarregadores de fundo	-0,5 m
Dimensões dos descarregadores de fundo (Base x Altura)	2 m x 3 m
Área Superficial (ha)	53
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	1,59
AF 07 (Reservatório in line)	
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 2,2 m
EL de fundo dos descarregadores de fundo	1,6 m
Área Superficial (ha)	12
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	0,528
AF 08 (Reservatório in line)	
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 2,2 m
EL de fundo dos descarregadores de fundo	-0,5 m
Área Superficial (ha)	15
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	0,675
Estação de Bombeamento EBFJ01	
Capacidade de bombeamento (m ³ /s)	100
EL. N.A. mínimo (m)	0
Número de conjunto motor-bombas	16
EL. Do poço de sucção (m)	-9 m
Tempo para esvaziamento do reservatório	2,5 horas
Estação de Bombeamento EBFJ02	
Capacidade de bombeamento (m ³ /s)	100
EL. N.A. mínimo (m)	0
Número de conjunto motor-bombas	16
EL. do poço de sucção (m)	-9 m
Tempo para esvaziamento do reservatório	2,6 horas

Quadro 31. Proposição de Dragagem do arroio São João para Solução Corta Rio

Distância da Foz (km)	EL. do fundo do arroio São João pós dragagem (m)	Base (m)
0,0	-0,50	20
0,5	-0,50	20
1,0	-0,50	20
1,5	-0,50	20
1,8	-0,50	20
2,1	-0,10	20
2,6	1,09	20
2,9	2,75	20
3,0	3,39	20
3,2	4,25	20
Afluentes	Dragar 2 metros de profundidade	20





Quadro 32. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio São João

Principais Obras	
Dragagem do arroio São João e Seus Afluentes	
Rebaixo do fundo do arroio (m)	2
Base do canal (m)	20
Revestimento das margens	Gabião colchão
Reservatórios de Amortecimento de Cheias	
SJ 01 (Reservatório off line)	
Cota de soleira do vertedouro lateral por onde a água entra	EL. 1,2 m
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 2,3 m
Comprimento do Vertedouro	150 m
Descarregadores de fundo	3 unidades
EL de fundo dos descarregadores de fundo	-0,5 m
Dimensões dos descarregadores de fundo (Base x Altura)	2 m x 3 m
Área Superficial (ha)	29
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	0,58
Estação de Bombeamento EBSJ01	
Capacidade de bombeamento (m ³ /s)	70
EL. N.A. mínimo (m)	0
Número de conjunto motor-bombas	11
EL. Do poço de sucção (m)	-9 m
Tempo para esvaziamento do reservatório	2,3 horas

Quadro 33. Proposição de Dragagem do arroio Águas Belas para Solução Corta Rio

Distância da Foz (km)	EL. do fundo do arroio Águas Belas pós dragagem (m)	Base (m)
0,0	-0,50	25
2,5	-0,50	25
3,0	-0,15	25
3,5	0,21	25
4,0	0,82	25
4,5	1,51	25
5,0	2,11	25
5,5	3,32	25
6,0	4,60	25
Afluentes	Dragar 2 metros de profundidade	25

Quadro 34. Principais Obras Envolvidas na Solução Corta Rio no arroio Águas Belas

Principais Obras	
Dragagem do arroio Águas Belas e Seus Afluentes	
Rebaixo (m)	2
Base do canal (m)	25
Revestimento das margens	Gabião colchão
Reservatórios de Amortecimento de Cheias	
AB 01 (Reservatório in line)	
Cota de Coroamento	EL. 30 m
Cota de soleira do vertedouro	EL. 29,2 m
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 29,2 m
Comprimento do Vertedouro	120 m
Descarregadores de fundo	9 unidades
EL de fundo dos descarregadores de fundo	24 m
Dimensões dos descarregadores de fundo	2 m x 2 m
Área Superficial (ha)	93,7
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	2,95
AB 02 (Reservatório in line)	
Cota de coroamento	EL. 22 m
Cota de soleira do vertedouro	EL. 18,1 m
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 20 m
Comprimento do Vertedouro	120 m
Descarregadores de fundo	3 unidades
EL de fundo dos descarregadores de fundo	10,5 m
Dimensões dos descarregadores de fundo (Base x Altura)	2 m x 3 m
Área Superficial (ha)	109
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	1,7





Principais Obras	
AB 07 (Reservatório off line)	
Cota de soleira do vertedouro lateral por onde a água entra	EL. 2 m
N.A. máximo Tr 25 anos	EL. 2,2 m
Comprimento do Vertedouro	350 m
Descarregadores de fundo	3 unidades
EL de fundo dos descarregadores de fundo	-0,5 m
Dimensões dos descarregadores de fundo (Base x Altura)	2 m x 3 m
Área Superficial (ha)	6,4
Capacidade de Armazenamento (hm ³)	0,15
Estação de Bombeamento EBAB01	
Capacidade de bombeamento (m ³ /s)	250
EL. N.A. mínimo (m)	0
Número de conjunto motor-bombas	40
EL. do poço de sucção (m)	-9 m
Tempo para esvaziamento do reservatório	3 horas

5.4.2.3 Alternativa 3 - Solução Dique Interno com Reservatórios de Amortecimento das Cheias Internas oriundas dos arroios

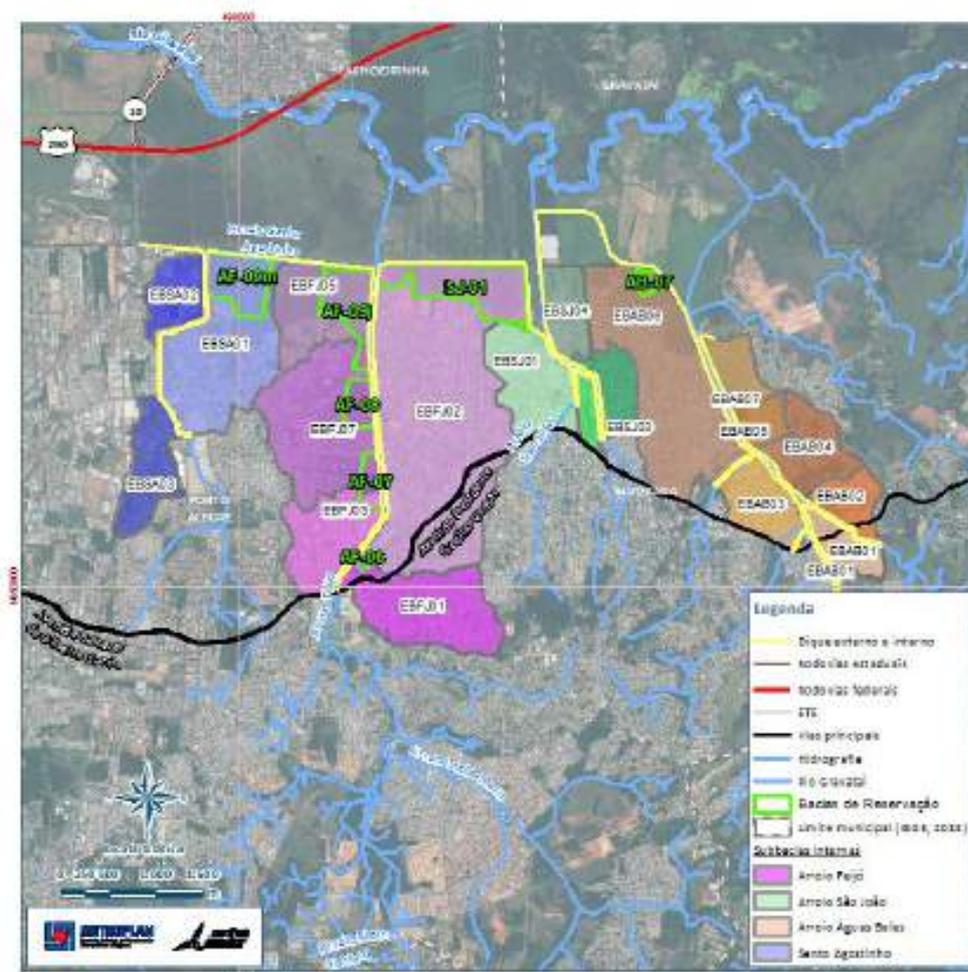
As dimensões dos diques internos na Alternativa 3 são iguais da Alternativa 1. As principais alterações são:

- as inclusões de bacias de amortecimentos, em suas mesmas localizações e áreas superficiais indicadas no Quadro 23;
- exclusões dos reservatórios AB-01 e AB-02, bacia do arroio Águas Belas, empregados na Alternativa 2;
- a inclusão do reservatório AF-06 no bacia do arroio Feijó;
- ampliação da rede de macrodrenagem interna para direcionamento da águas pluviais para as bacias de amortecimento;
- diminuições das vazões e estações de bombeamento, inserindo-as junto as bacias de amortecimento, quando possível.

A Figura 39 apresenta as bacias de drenagens pluviais. Foi adotada uma estação de bombas para cada sub- bacias internas aos *polders*. A seleção de cada sub-bacias seguiu a possibilidade de escoamento das águas pluviais internas por gravidade para os reservatórios de amortecimento.



Figura 39. Bacias Internas conectadas às estações de bombeamento e reservatórios de amortecimento para configuração de diques internos da alternativa 3



As estações de bombeamento e suas vazões projetadas estão no Quadro 35. É importante frisar que o custo de bombeamento está vinculado a disponibilidade de área de reservação, definido com a fiscalização da Metroplan. A possibilidade de novas áreas permitiriam maior amortecimento e minimização desses referidos custos, visto que, o metro cúbico por segundo custa em média R\$ 1.000.000.

Seria importante, no futuro, no momento de detalhamento dos projetos, cogitar o investimento em área adicionais ao amortecimento das águas pluviais internas, seja pela desapropriação ou criação de reservas estratégicas como ocorrido no Plano de Drenagem Pluvial Urbana do Arroio Feijó (DEP/POA).



Quadro 35. Principais Obras Envolvidas na Alternativa 3

Estações de Bombeamento	Bacia Hidrográfica	Nome do Reservatório	Vazão (m³/s) de bombeamento	Área do Reservatório (ha)	Profundidade do reservatório (m)	Volume do reservatório (m³)
EBFJ01	Feijó	AF-06	8,0	2	3,5	70.000
EBFJ02	Feijó	SJ-01	5,0	31	1,0	310.000
EBFJ03	Feijó	AF-07	4,0	5	1,5	75.000
EBFJ04	Feijó	AF-08	5,0	9	1,5	135.000
EBFJ05	Feijó	AF-09j	3,0	10	1,0	100.000
Total Geral	Feijó		25,0	57		690.000
EBSA01	Santo Agostinho	AF-09 m	4,0	15	1,0	150.000
EBSA02	Santo Agostinho	-	2,50	-	-	-
EBSA03	Santo Agostinho	-	0,00	-	-	-
Total	Santo Agostinho		6,5			
EBSJ01	São João	SJ-01	3,0	22	1,0	220.000
EBSJ02	São João	-	1,5	-	-	-
EBSJ03	São João	-	3,0	-	-	-
EBSJ04	São João	-	8,5	-	-	-
Total	São João		16,0			
EBAB01	Águas Belas	-	4,9	-	-	-
EBAB02	Águas Belas	-	4,5	-	-	-
EBAB03	Águas Belas	-	8,2	-	-	-
EBAB04	Águas Belas	-	11,0	-	-	-
EBAB05	Águas Belas	-	3,3	-	-	-
EBAB06	Águas Belas	-	7,0	-	-	-
EBAB07	Águas Belas	AB-07	4,0	6	2,0	120.000
Total	Águas Belas		42,9			

5.4.2.4 Alternativa 4 - Solução Mista

O Sistema Misto (Alternativa 4) será estudado a nível conceitual e combina as três alternativas anteriores, através da seleção do menor custo da solução em cada arroio. Por esse motivo, os orçamentos foram discretizados por arroios e alternativas. Esse sistema prioriza flexibilizar os pontos fortes das três soluções básicas aplicadas em cada arroio interno a ser protegido, procurando otimizar os investimentos iniciais de implantação, ademais os custos de operação e manutenção do sistema de cheias. Existe uma diferença em extensão do dique externo junto ao rio Gravataí, em função da entrada ou não do mesmo para os arroios. Por isso, poderá ser observado dois valores de investimentos no dique externo, cada um adequado a alternativa selecionada.

5.4.3 Modelagem Hidrodinâmica das Soluções Cotejadas

Na sequência serão apresentadas as linhas de águas máximas oriundas dos resultados da modelagem hidrodinâmica das soluções cotejadas. A eficiência do sistema é medida pela efetividade no rebaixamento da linha de água para Tr 25 anos na condição futura de uso e ocupação do solo.

Do ponto de vista de modelagem, os resultados foram subdivididos em dimensionamento do dique principal, diques internos e solução sem diques internos (corta rios). Os resultados dessas modelagens forneceram as características essenciais para o dimensionamento de todas as alternativas estudadas. Em todos os casos, a modelagem empregou o sistema hídrico ilustrado na Figura 9. Para resumir, têm-se:

- A modelagem para determinação das Cotas de Coroamentos do Dique Principal fornecerá elementos para todas as alternativas modeladas;
- A modelagem para determinação das Cotas de Coroamentos dos Dique Internos fornecerá elementos para as Alternativa 1, 3 e 4;



- A modelagem da solução corta rio fornecerá elementos para a Alternativa 2 e 4.

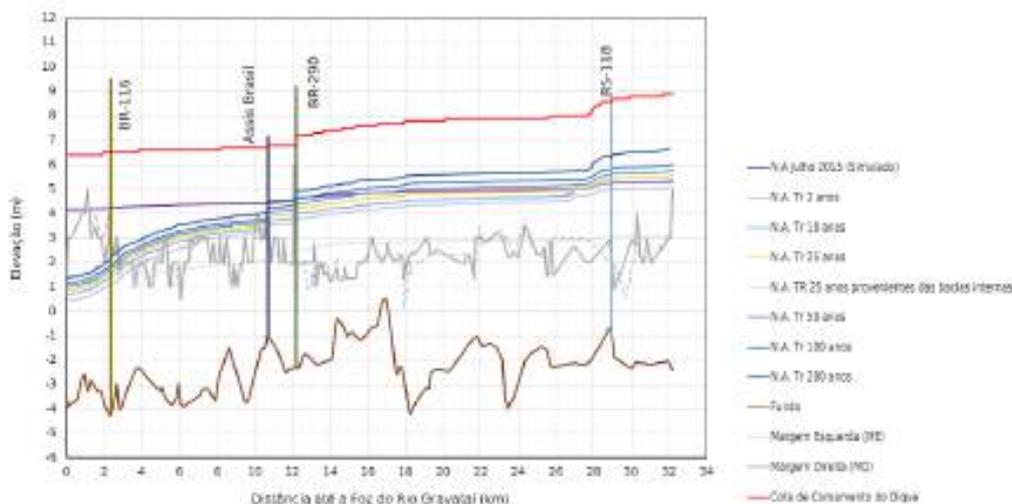
Esta última, solução mista, haverá a combinação dos resultados para priorizar os menores custos. A Alternativa 4 combinará os resultados do solução corta rio para o Santo Agostinho e Diques Internos para os Demais Arroio Feijó, São João e Águas Belas. No arroios Feijó e Águas Belas será empregado os reservatórios indicados no Quadro 35.

Excetuando a Alternativa 2 (Solução Corta Rio) que as estações de bombeamento foram modeladas no HEC-RAS, pois estarem integradas aos cursos de águas principais, o dimensionamento das demais casas de bombas foram baseados nas vazões remanescentes nas bacias localizadas dentro dos *polders*. Na Alternativa 3, o efeito do reservatório foi avaliado simplificada através do hidrograma de projeto definido para Tr 25 anos condição futura de uso do solo e áreas disponíveis de reservação.

5.4.3.1 Determinações da Cotas de Coroamentos do Dique Principal

O dique principal foi dimensionado considerando o efeito das cheias críticas para determinação da cota de coroamento. Apesar do termo de referência não mencionar o estudo de cheias do rio Gravataí da ordem de Tr 200 anos, foi modelado a linha de água para essa cheia, caracterizando-a como evento determinante para definição da cota de coroamento (CC) juntamente com a cheia de 2015. Ao N.A máximo modelado adicionou uma borda livre de 2,2 m. A Figura 40 ilustra as cotas de coroamento do dique principal.

Figura 40. Comparação da linha de água de cheias no rio Gravataí para diferente Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique principal na margem esquerda



5.4.3.2 Determinações das Cotas de Coroamentos dos Diques Internos

As figuras subsequentes ilustram o resultado da modelagem hidrodinâmica. Os critérios adotados para as cotas de coroamento foram descritas no item 5.4.2.





Figura 41. Comparação das linhas de águas no arroio Águas Belas para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno

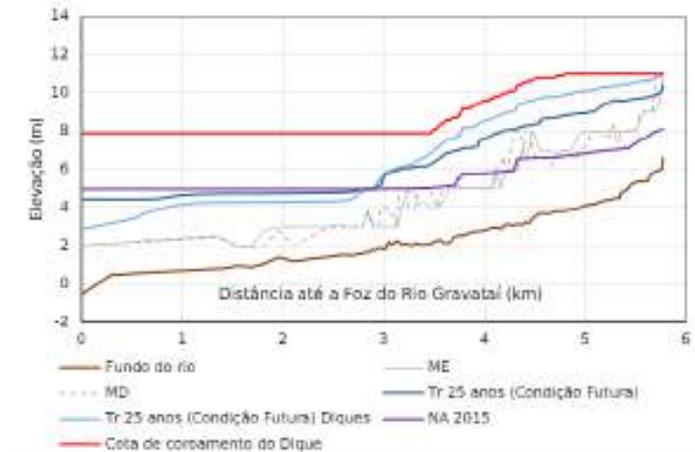


Figura 42. Comparação das linhas de águas no arroio Feijó para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno

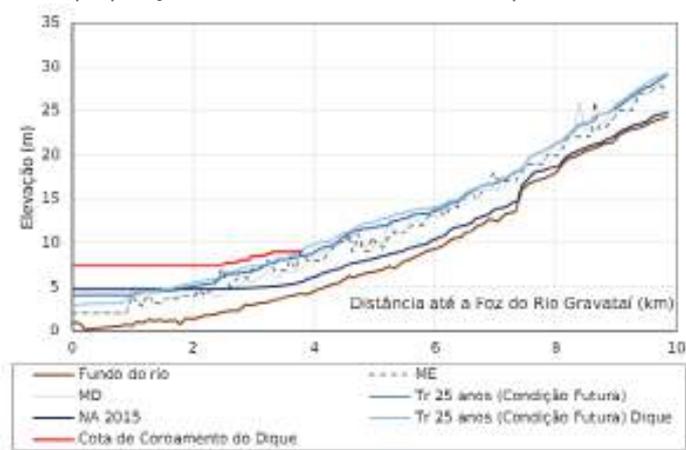


Figura 43. Comparação das linhas de águas no arroio Santo Agostinho para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno

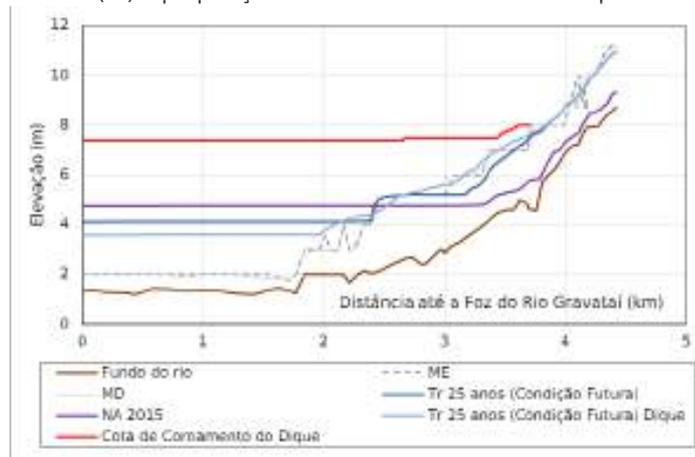
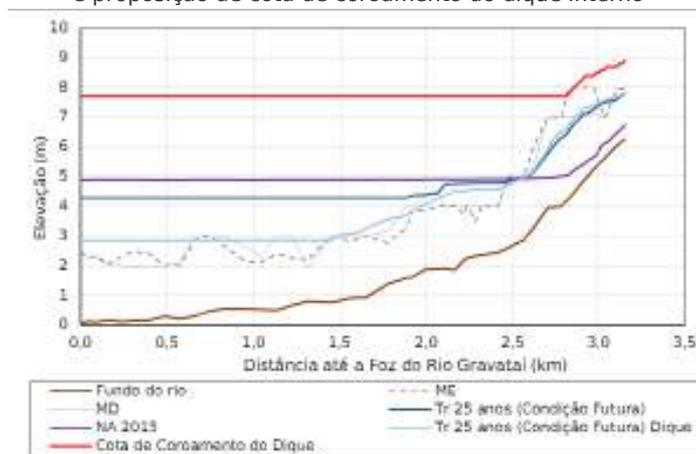




Figura 44. Comparação das linhas de águas no arroio São João para diferentes Tempo de Retorno (Tr) e proposição de cota de coroamento do dique interno



5.4.3.3 Modelagem da Solução sem Diques Internos para os arroios internos

Os resultados da solução Corta Rio estão na sequência, juntamente, com os perfis da linha de águas máximas. É importante lembrar que a eficiência é dada pelo rebaixamento das linhas de águas máximas.

Nas margens dos arroios junto aos reservatórios de jusante AF09j, AF09m, AB07, SJ01 estão sendo previstos rebaixos que vertem para os referidos reservatórios, contribuindo para amortecimento das cheias. A Figura 45 a Figura 48 ilustram o posicionamento dessas obras. Esses reservatórios serão escavados em relação ao terreno natural existente e o material enviado para jazida e/ou bota-foras.

Os quadros resumos das obras apresentados no item 5.4.2.2. descrevem as principais características dos sistemas projetados. Cada arroio consta, dragagem da calha do curso de água, amortecimento das cheias através de reservatórios *off-line* (AF09j, AF09m, AB07, SJ01) e *in-line* (AF08, AF07, AF06, AB01 e AB02) na Figura 49 e na Figura 50 ilustram a propagação das cheias nos reservatórios AB01 e AB02 a montante do trecho modelado pelo HEC-RAS. Estes reservatórios, ao contrário dos demais, não serão escavados e seus volumes de esperas constituído pela construção de barragens em maciço de terra e vertedouros em concreto. Em cada uma das barragens terão orifícios e/ou descarregadores de fundo de maneira a produzir o máximo amortecimento para cheia Tr 25 anos na condição futura de uso e ocupação do solo. Esses reservatórios permanecerão, em seu maior período de operação, vazios.

A linha vermelha nas figuras subsequentes representam um rebaixo na margem dos arroios, isto é, um vertedouro lateral que funcionam quando o N.A. nos arroios atinge um altura crítica que pode representar perigo a inundação a população local. Esta linha indica a posição e dimensão desse rebaixo adotada na solução corta rio dentro dos arroios.



Figura 45. Perfil da linha de água do arroio Santo Agostinho para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio

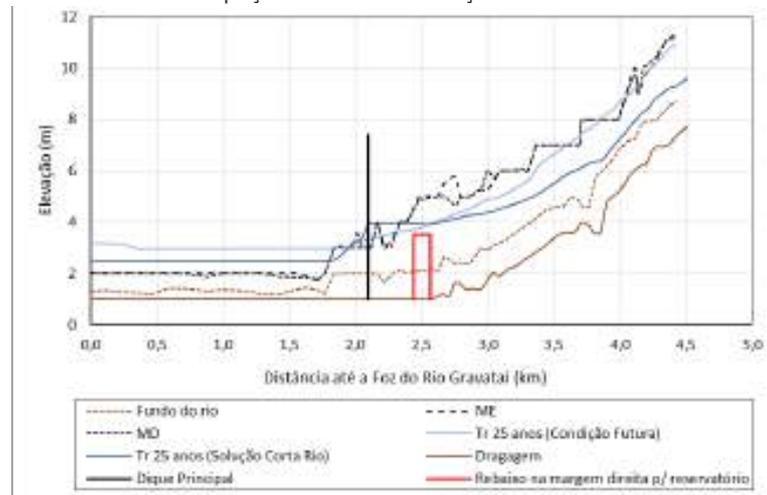


Figura 46. Perfil da linha de água do arroio Feijó para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio

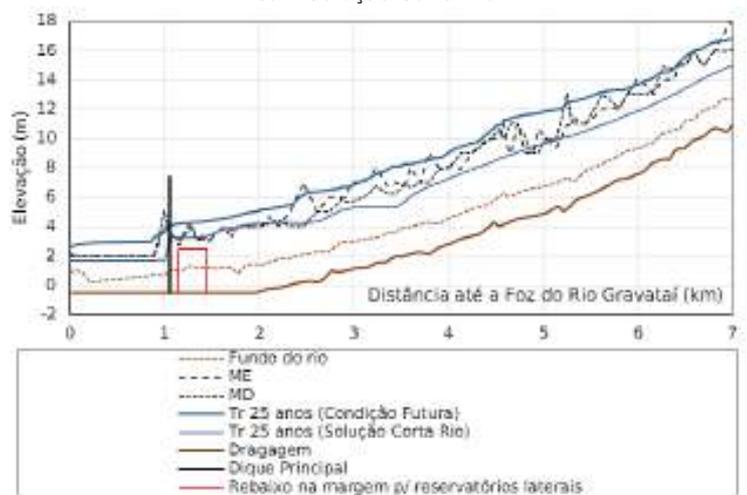




Figura 47. Perfil da linha de água do arroio São João para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio

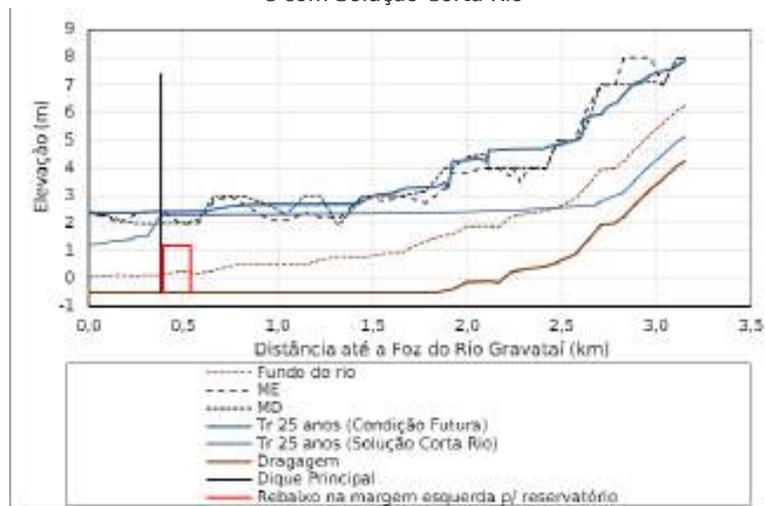


Figura 48. Perfil da linha de água do arroio Águas Belas para Tr 25 anos condição futura de ocupação sem e com Solução Corta Rio

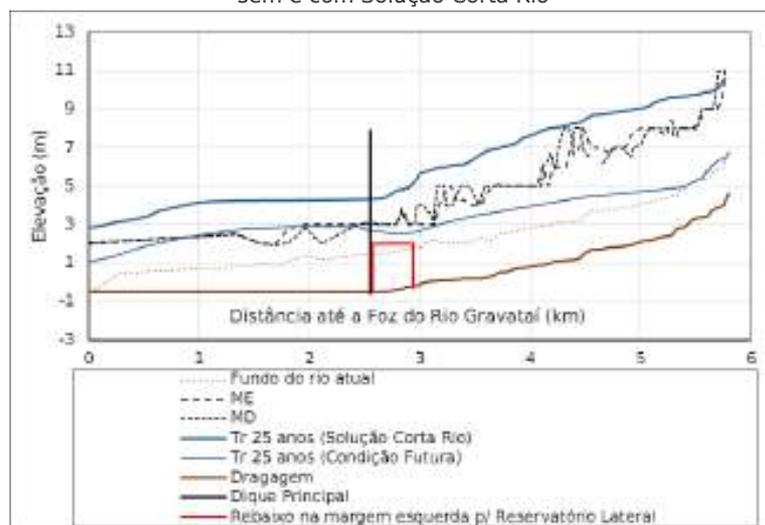




Figura 49. Propagação da cheia Tr 25 anos condição de ocupação futura na bacia pelo método de Puls no reservatório AB0 01

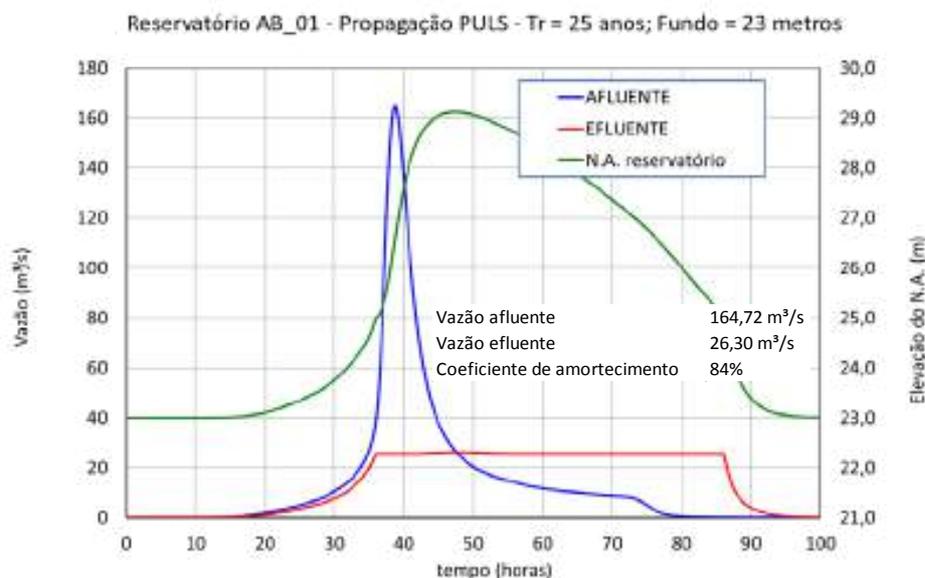
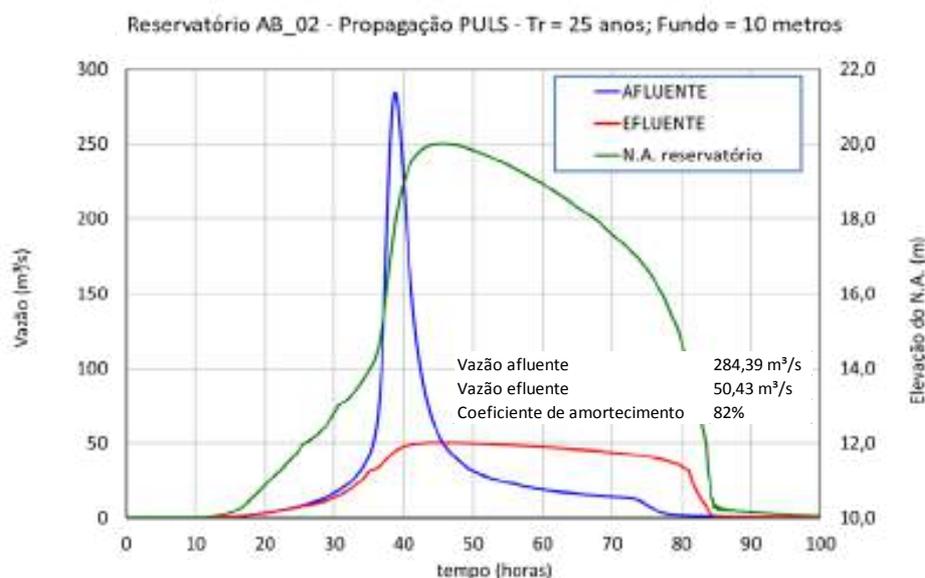


Figura 50. Propagação da cheia Tr 25 anos condição de ocupação futura na bacia pelo método de Puls no reservatório AB0 02



5.4.4 Estudo de Concepção dos Maciços dos Diques e Margens dos arroios

Considerando-se as finalidades dos diques e das configurações das margens dos arroios, foram avaliadas diversas possibilidades de concepção geotécnica e de possíveis revestimentos para estas estruturas, conforme descrito em continuação.

São várias as condicionantes intervenientes à definição dessas concepções, relativamente à situação atual e àquelas decorrentes da futura implantação, conforme o anteprojeto, destacando-se principalmente as seguintes:



- Características geológico-geotécnicas encontradas ao longo das fundações, em especial devido à ocorrência de camadas (rasas e espessas) de solos moles de baixa resistência e elevada compressibilidade;
- Presença de lençol freático superficial, junto ao nível do terreno e/ou existência de áreas alagadiças (lavouras de arroz, cavas remanescentes de jazidas, canais de drenagem);
- Existência de corpos de aterros (diques de terra) anteriormente executados, em segmentos parciais encontrados ao longo do traçado dos diques, cujas estruturas deverão ser alteadas até as novas cotas de coroamento previstas;
- Interfaces dos aterros dos diques com estruturas em concreto armado e/ou rígidas (*Bypass*, dispositivos de operação e controle de níveis, edificações, galerias, etc), com perspectiva de ocorrência de recalques diferenciais e/ou efeitos de tensões horizontais significativas nas fundações;
- Situações transitórias para a implantação das obras que envolvam escavações profundas em solos moles, tais como: desvios temporários de fluxos dos canais e arroios, execução de poços de drenagem e/ou estruturas de Casas de Bombas, remoção de estruturas eventualmente existentes, etc;
- Alternância de áreas livres e de áreas já ocupadas pela população, ao longo do traçado previsto para as obras lineares, que implicam em soluções e/ou concepções diferenciadas visando minimizar o impacto social resultante da implantação de obras;

Entre essas, certamente as condicionantes de natureza geotécnica estão entre as mais relevantes visto que deverão atender aos requisitos mínimos de estabilidade e de segurança das obras de terra, conforme exigido pela NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações.

5.4.4.1 Considerações Geotécnicas Locais

No Relatório Técnico relativo ao Levantamento Geotécnico (Produto 11) são apresentados e abordados em maiores detalhes os resultados das investigações geotécnicas realizadas (sondagens e ensaios geotécnicos) ao longo do traçado dos eixos principais.

Nessa campanha específica de prospecções geotécnicas locais, em síntese, foram executados:

- 30 furos de sondagem a percussão (SPT) no Dique Principal;
- 4 furos de sondagem a percussão (SPT) no Dique Distrito Industrial;
- 3 SPT nas margens do Arroio Feijó;
- 2 SPT nas margens do Arroio São João;
- 3 SPT nas margens do Arroio Águas Belas;
- 6 sondagens CPTU no Dique Principal e margens dos Arroios Feijó, São João e Águas belas, no cruzamento com o Dique;
- 17 Ensaios de Dissipação nos furos CPTU, para caracterização da compressibilidade dos solos moles;



- 22 Ensaios de Palheta (*Vane Test, amostra indeformada*), em seis perfis de caracterização geotécnica, no Dique Principal (em seis ilhas de investigação geotécnica);
- 14 furos de sondagem a Trado, sendo 6 no Dique Principal e 8 no Dique Distrito Industrial, com coleta de amostras para ensaios de caracterização geotécnica;
- 22 conjuntos de ensaios de caracterização, com granulometria por peneiramento e sedimentação, limites de liquidez e de plasticidade, umidade e densidade natural;

Além dessas investigações específicas executadas pela STE, foram também considerados resultados de estudos geotécnicos existentes nas adjacências, tais como junto à área da ETE Alvorada (CORSAN) e ao longo do traçado da rede LT 2x69 kV Ramal Alvorada 2 (fornecido pela METROPLAN).

Os resultados das investigações geotécnicas confirmaram as expectativas iniciais quanto à ocorrência de solos moles nas fundações, sendo que as piores condições são encontradas ao longo do Dique Principal.

Um breve panorama geotécnico das condições do subsolo existente na área é evidenciado pelas Figuras a seguir.

Na Figura 51 apresenta-se a totalidade dos resultados das sondagens a percussão (N_{spt}) realizadas, onde nota-se nitidamente que a maioria dos furos mostra $N_{spt} < 5$ até a profundidade de 6 a 7m, ou seja, ocorrência de camada de solos moles eventualmente orgânicos, de reduzida resistência e provável elevada compressibilidade (sujeitos à recalques por adensamento). Na Figura 52 a Figura 54 estão resumidos os resultados especificamente para cada Dique também para os Arroios. À medida em que se afasta da zona de várzea, na direção sul, as espessuras de solos moles diminuem, sendo que nos furos mais a montante ocorrem melhores condições de fundação.

Ao longo do Dique do Distrito Industrial, cujo traçado é mais afastado da zona da várzea, as condições de fundação são melhores, não sendo detectadas camadas de solos muito moles, conforme revelado pelas 4 sondagens SPT executadas. Tal situação, entretanto, não ocorre no traçado do Dique Principal, cujas sondagens SPT revelaram a presença de solos moles (em camada espessa, superior a 3,5m) em praticamente todos os furos de sondagem (Figura 52).



Figura 51. Resultados Nspt x Profundidade (comparativo de todas as sondagens)

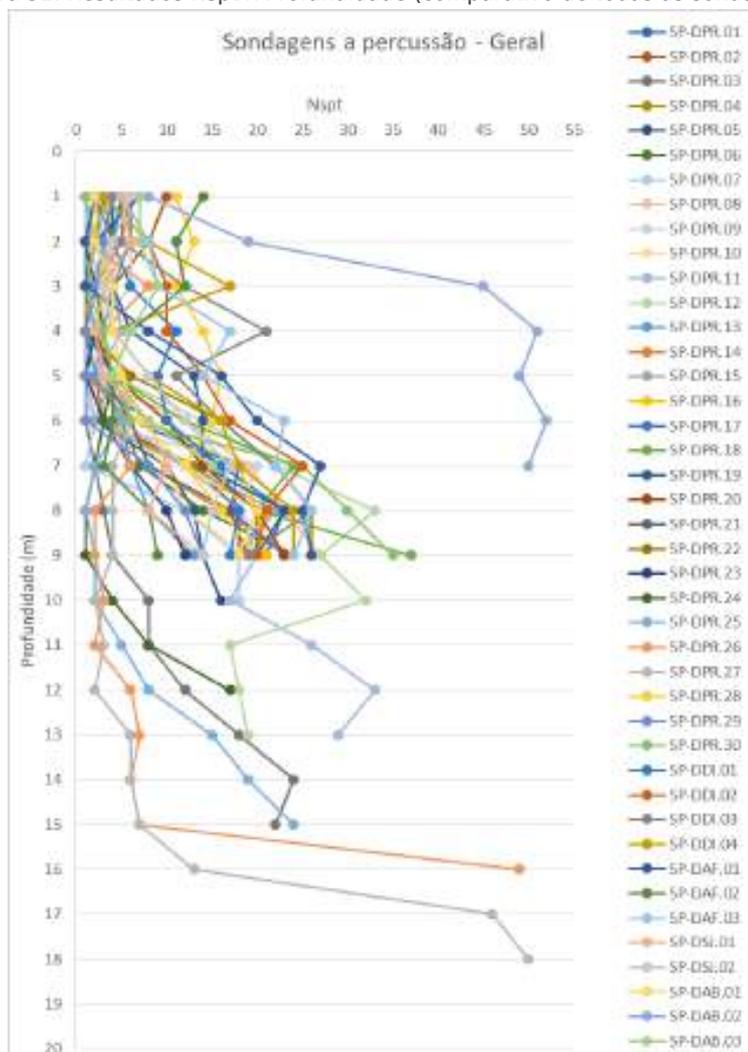




Figura 52. Resultados Nspt x Profundidade (Dique Principal e Dique Distrito Industrial)

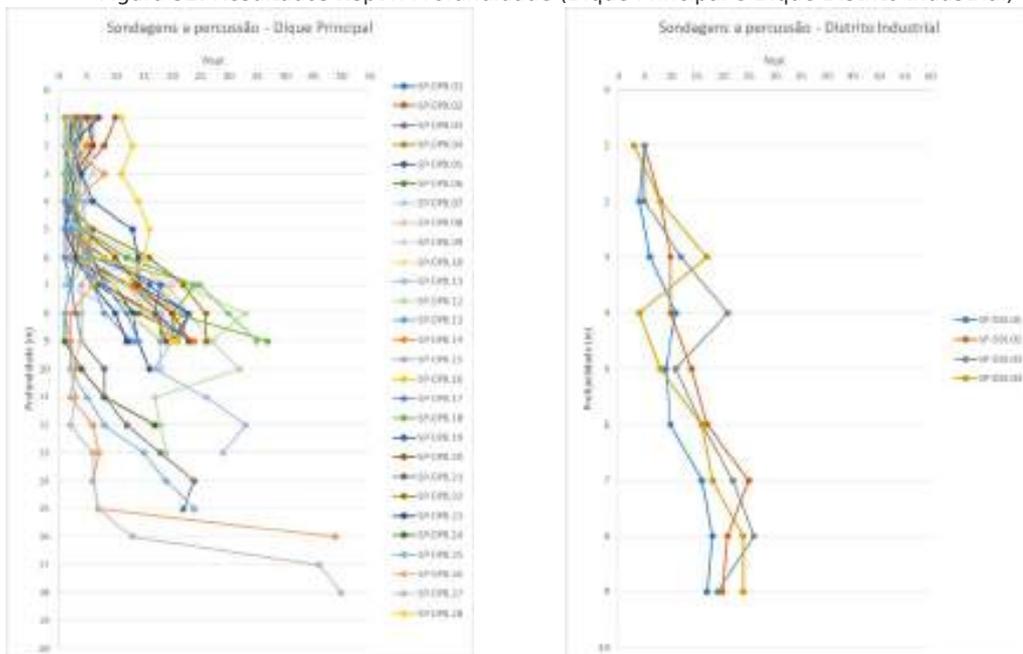
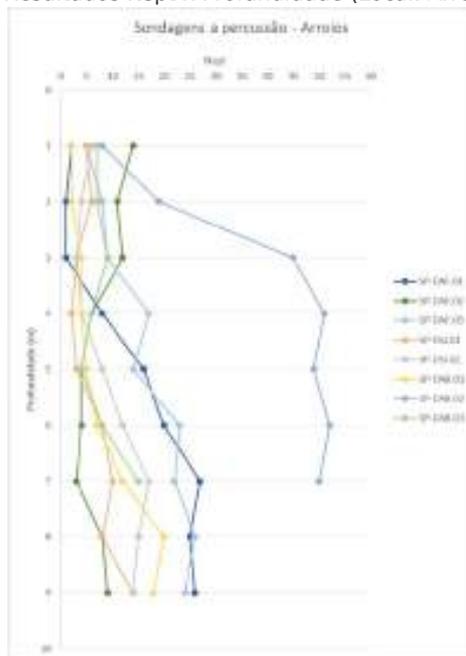


Figura 53. Resultados Nspt x Profundidade (Local: Arroio Internos)



Foram executadas investigações específicas para determinação dos parâmetros de resistência e da condição de estado dos solos moles (compressibilidade), através das sondagens CPTU e Ensaio de Palheta, conforme sintetizado na Figura 54 a Figura 56.

A Figura na sequencia mostra os resultados conjuntos das seis sondagens CPTU em que se comprova ocorrência de camada espessa de solos moles a muito moles ($qc < 1\text{MPa}$) com



profundidades até cerca de 7,0m nos locais prospectados (Dique Principal). Foi detectada presença de camada arenosa entre 7,0m e 10,0m de profundidade em alguns furos, bem como ocorrência de camadas de solos moles subjacentes até o limite perfurado. A Figura 55 mostra os resultados individuais de cada sondagem CPTU, onde se pode evidenciar melhor as características de cada local (resistência de ponta, atrito lateral, variação da poropressão, razão de atrito e a estratigrafia inferida).

Figura 54. Resultados CPTU x Profundidade (Dique Principal e Arroios)

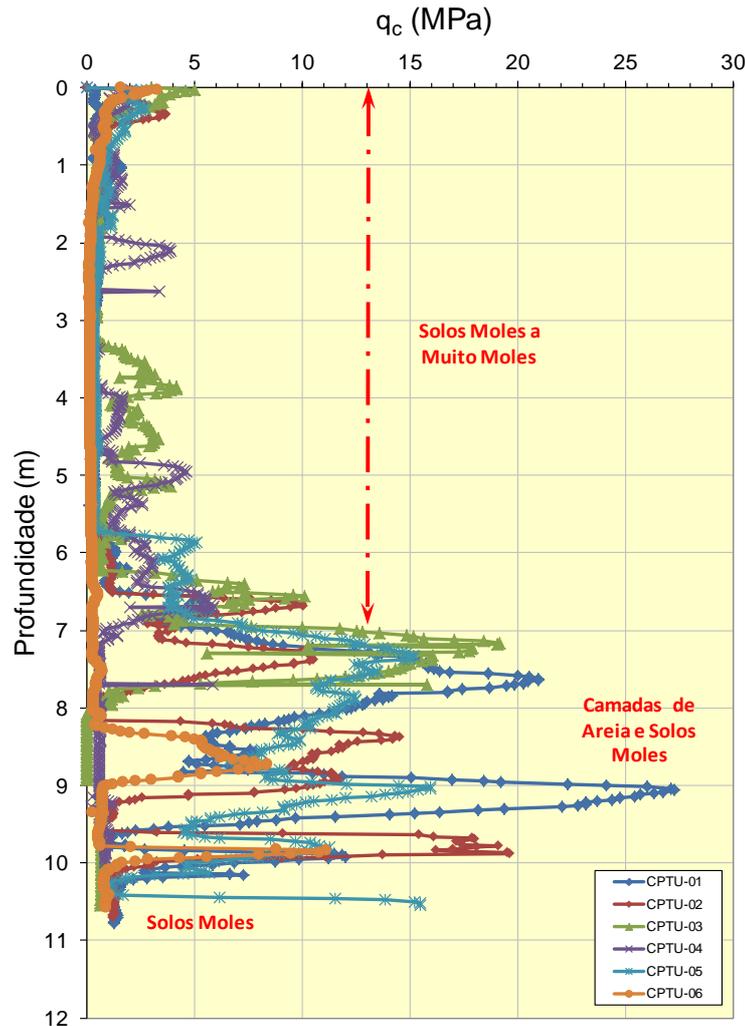
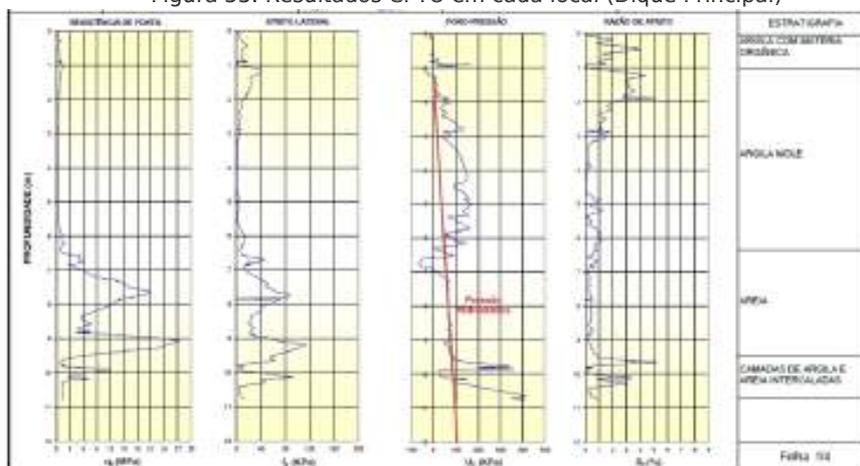
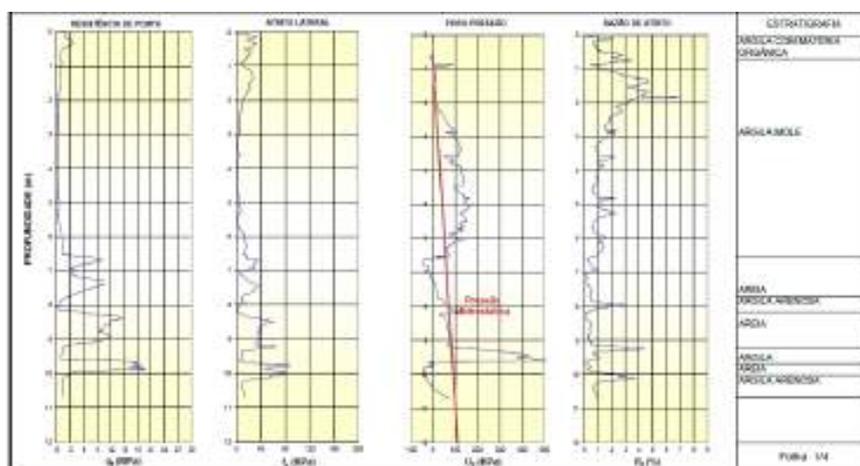




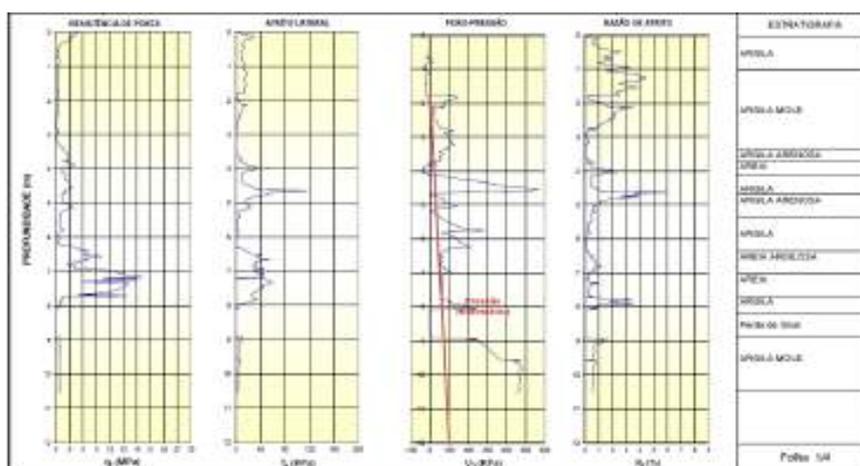
Figura 55. Resultados CPTU em cada local (Dique Principal)



CPTU-01: Dique Principal Estaca 2+520 (margem esquerda Arroio Feijó)

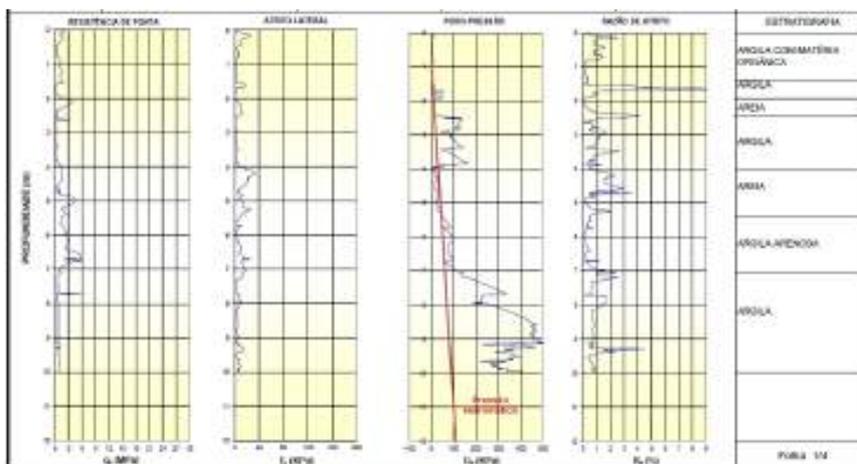


CPTU-02: Dique Principal Estaca 2+560 (margem direita Arroio Feijó)

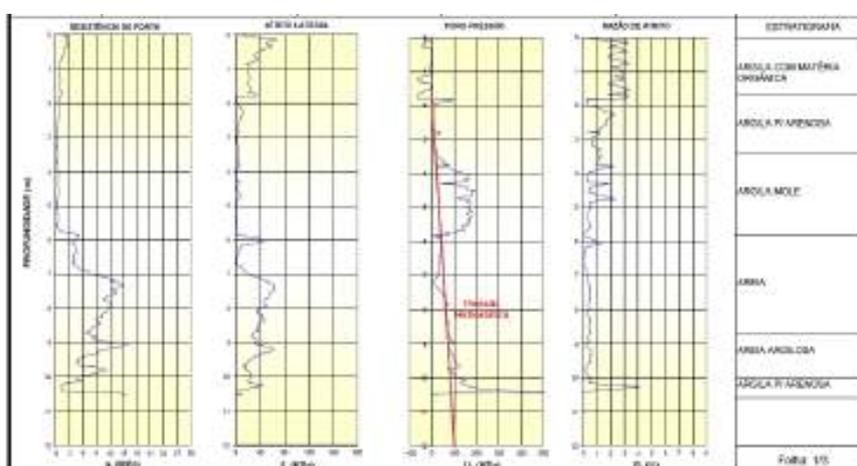


CPTU-03: Dique Principal Estaca 6+580 (margem esquerda Arroio Águas Belas)

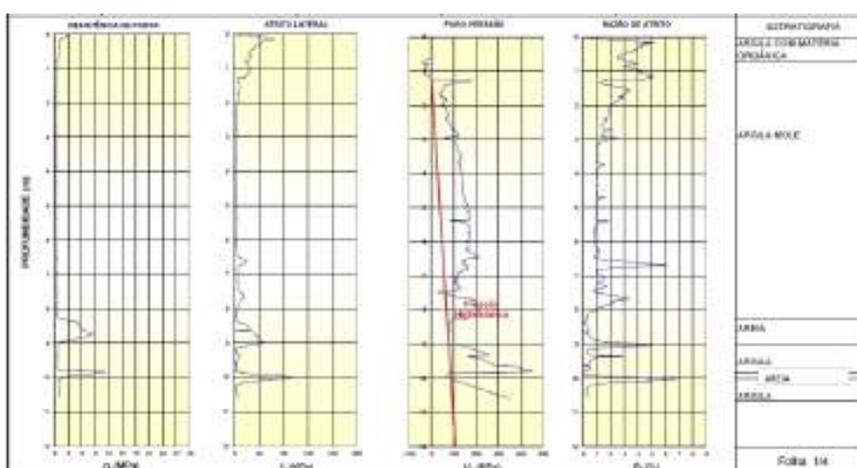




CPTU-04: Dique Principal Estaca 6+520 (margem direita Arroio Águas Belas)



CPTU-05: Dique Principal Estaca 4+520 (margem esquerda Arroio São João)



CPTU-06: Dique Principal Estaca 1+460 (várzea Gravataí)

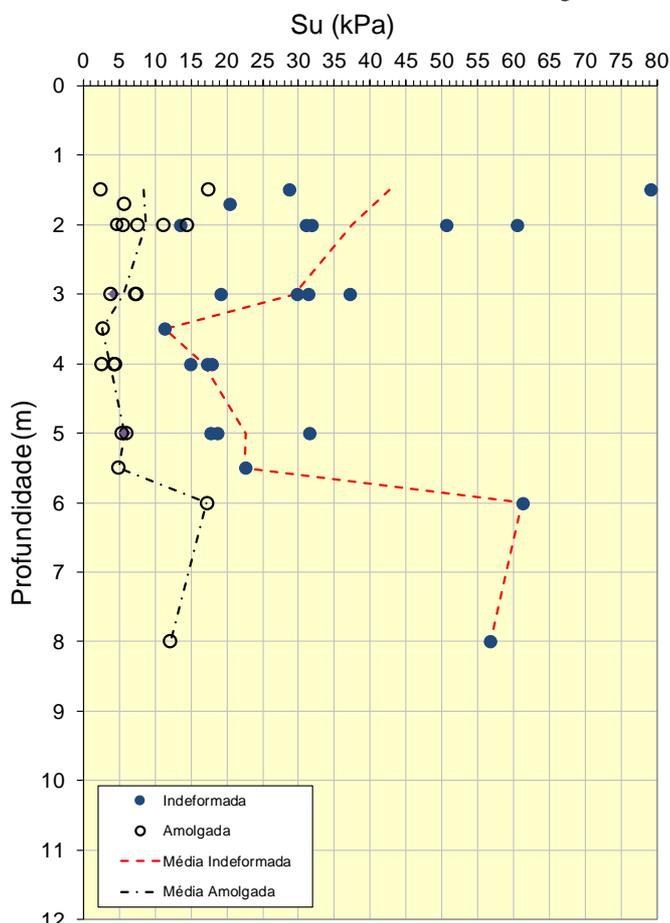
Nos mesmos locais de execução dos CPTU foram executados Ensaios de Palheta (Vane Test), com o objetivo de determinação direta da Resistência Não Drenada (S_u) ao longo dos perfis de profundidade. O resumo dos resultados dos ensaios é mostrado na Figura 56, com





comparativo da resistência da amostra indeformada e amolgada. Observa-se baixa resistência ao cisalhamento em cerca de 36% dos ensaios com solo indeformado (com $10 \leq Su \leq 20 \text{ kPa}$), sendo que a média geral de resultados foi de 31,93kPa.

Figura 56. Resultados Ensaio de Palheta (Indeformada/Amolgada) x Profundidade



Nos perfis geológico-geotécnicos longitudinais, conforme apresentado no Relatório dos Levantamentos Geotécnicos, são apresentadas em detalhe as variações das camadas de solos (com ênfase à identificação de solos moles) ao longo dos Diques. Estes perfis forneceram os elementos necessários à definição das possíveis alternativas de concepção geotécnica para os maciços dos diques e também das margens dos arroios.

Para o Dique Principal, por exemplo, foram identificados pelo menos 10 perfis típicos de fundação, conforme sintetizado esquematicamente a seguir em continuação. Para cada perfil típico, indica-se a sondagem de referência e respectivos parâmetros geotécnicos médios. Por ocasião do desenvolvimento dos anteprojetos, estes perfis (em conjunto com os parâmetros de resistência obtidos dos CPTU e Ensaio de Palheta) possibilitarão o estudo preliminar da estabilidade dos taludes e fundações. No Quadro 36, a seguir, apresenta-se o resumo das extensões de cada segmento ou perfil típico. Os perfis 03 e 07, respectivamente com 8,0m e 6,0m de espessura de solos moles, ocorrem em cerca de 2.860m, ou seja, em aproximadamente 43% da extensão do Dique Principal. As situações mais críticas (maior





espessura de solos moles) foram encontradas nos perfis 9 e 10 (margens do arroio Águas Belas), com espessuras de até 12,0m. Ao longo do Dique Principal só não foram encontrados solos moles no perfil 10, já no final do traçado.

Quadro 36. Resumo de Perfis Típicos da Fundação do Dique Principal

Segmento ou Perfil Típico	Estacas		Extensão (m)	Elevações (m)		Espessuras Camadas (m)		Furo Representativo	Características Fundação
	Início	Fim		CC	Terreno	Aterro	Solo Mole		
01	0+000	0+620	620	6,70	5,00	1,70	5,00	SP-DPR.02	Tipo 1
02	0+620	0+950	330	6,70	2,50	1,00	7,00	SP-DPR.04	Tipo 2
03	0+950	1+850	1060	7,40	2,00	0,00	8,00	SP-DPR.07	Tipo 3
	2+440	2+600						SP-DPR.11	
04	1+850	2+050	950	7,40	3,00	0,00	6,00	SP-DPR.08	Tipo 4
	3+000	3+750						SP-DPR.15	
05	2+050	2+440	790	7,40	4,00	0,00	7,00	SP-DPR.09	Tipo 5
	2+600	3+000						SP-DPR.13	
06	3+750	4+100	350	7,70	1,00	0,00	7,00	SP-DPR.17	Tipo 6
07	4+100	5+900	1800	7,70	1,80	0,00	6,00	SP-DPR.18	Tipo 7
08	5+900	6+540	640	7,90	2,50	0,00	10,00	SP-DPR.24	Tipo 8
09	6+540	6+640	100	7,90	3,00	0,00	12,00	SP-DPR.27	Tipo 9
10	6+640	6+700	60	7,90	5,00	0,00	0,00	SP-DPR.28	Tipo 10

CC - cota de coroamento (m)

5.4.4.2 Alternativas de Maciços

Considerando as ocorrências de solos moles encontradas ao longo do traçado dos diques, em especial no Dique Principal, a utilização de maciços de terra com seção transversal trapezoidal (solução convencional de terraplenagem) mostra-se inviável na quase totalidade da extensão dos diques, visto que não há condições de estabilidade.

Na caracterização geotécnica das camadas de solos moles, tomando-se por referência os resultados dos Ensaios de Palheta (confirmados pelos ensaios CPTU), em que mais de 1/3 dos resultados evidenciaram $10 < S_u(kPa) < 20$ na camada superficial, pode-se adotar como representativo um valor de $S_u = 12kPa$. Para estas condições, a estimativa da altura crítica (H_c) de um aterro com solo compactado (com $\gamma_{aterro} = 18kN/m^3$) pode ser dada pela expressão:

$$H_c(m) = \frac{5,14 \times S_u}{\gamma_{aterro}}$$

Ou seja:

$$H_c(m) = \frac{5,14 \times 12}{18} = 3,43m$$

O cálculo expedito acima corresponde a uma situação limite (crítica), para Fator de Segurança (FS) unitário. Estabelecendo-se FS=1,50 (mínimo), então a máxima altura de aterro para uma estabilidade minimamente satisfatória sem que haja ruptura de fundação resulta em:

$$H_{máxima}(m) = \frac{H_c}{FS} = \frac{3,43}{1,50} = 2,28m$$

Assim, em linhas gerais, se verifica que as alturas de aterro a executar diretamente sobre as fundações existentes não poderão ser superiores a 2,28m, exceto se houver a prévia

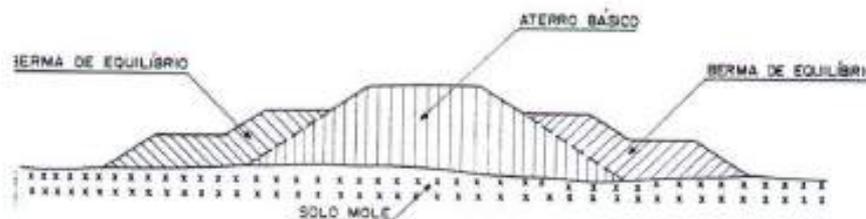




adoção de medidas preventivas de estabilização e/ou de melhoria da resistência da camada mole.

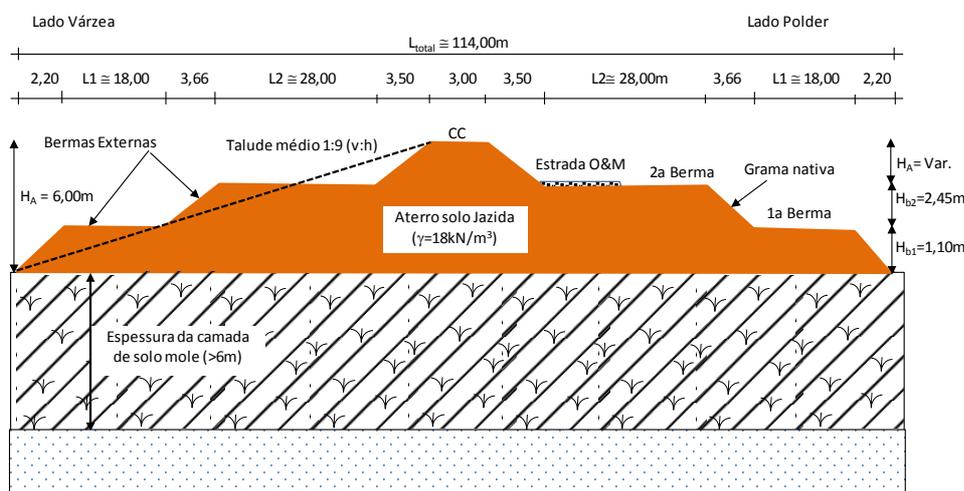
Uma alternativa de terraplenagem, que sempre se apresenta como opção inicial para aterros mais altos sobre solos moles, se refere a construção de aterros utilizando bermas de equilíbrio laterais, que auxiliam na estabilização dos momentos (contrapesos), tal como mostrado na Figura a seguir.

Figura 57. Bermas de Equilíbrio



Todavia, os cálculos preliminares utilizando os ábacos de JAKOBSON (1948)⁵ e levando em consideração uma altura de aterro dos diques da ordem de 6,0m, sobre solos moles, resultaram na necessidade de pelo menos dois níveis de bermas de equilíbrio, tal como mostrado na Figura a seguir. Observa-se que a largura total da base dos aterros resultaria superior a 100,00m, o que representaria uma grande movimentação de terras, de elevado custo e demanda por grandes áreas de jazidas, além do conflito com as áreas adjacentes do dique. Observa-se também que a inclinação do talude médio resultante seria da ordem de 1:9 (v:h).

Figura 58. Bermas de Equilíbrio – Dique Principal



Outro aspecto a ressaltar, no caso de adoção de aterros com bermas laterais de equilíbrio, é que recalques por adensamento ocorrem a longo prazo, não sendo eliminados ou

⁵ JAKOBSON, B. (1948), The Design of Embankments on Soft Clays, Géotéchnique, v.1, n.2, p.80-89.

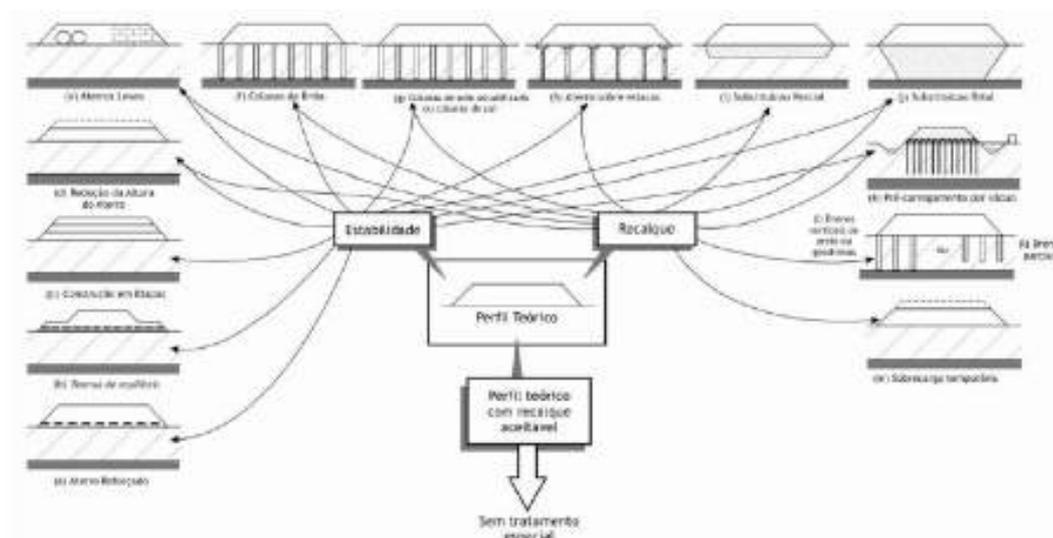




minimizados nesta alternativa. Por estas razões, a utilização de soluções convencionais somente com bermas de equilíbrio foi inicialmente descartada.

Em realidade, quando o problema das fundações de maciços de terra está relacionado à presença de camadas de solos moles, diversas são as alternativas de estabilização e/ou tratamento, conforme resumido na Figura a seguir.

Figura 59. Alternativas de métodos construtivos de aterros sobre solos moles



Fonte: DNER-PRO 381/98 e Almeida e Marques, 2010, adaptado de Leroueil, 1997

Entre as possíveis alternativas de concepção e de estabilização dos maciços terrosos dos Diques⁶, que poderiam ser adotadas para construção sobre fundação argilosa mole e sua aplicabilidade ao presente projeto, citam-se:

- Substituição total da camada mole: como ocorrem camadas espessas de solo mole, superiores a 3,50m, remoções e trocas de solo são inviáveis do ponto de vista ambiental e econômico;
- Bermas laterais de equilíbrio: foram descartadas pois resultariam em taludes médios de aproximadamente 1:9 (v:h), com grande largura de base, sem eliminação de recalques por adensamento;
- Construção por etapas: alternativa de baixo custo; porém, seriam necessários muitos anos para sua execução devido à necessidade de espera (com monitoramento geotécnico) da estabilização de recalques de um aterro inicial (com altura da ordem de 2,50m), para prosseguimento do alteamento em estágios até se obter a cota de coroamento final. Assim, pela incompatibilidade executiva com o cronograma de obras, esta concepção foi eliminada;
- Aterros leves: embora muito vantajosa do ponto de vista da esbelteza da seção, com utilização de blocos leves tipo EPS (“isopor”, muito resistentes), esta concepção mostra-se inviável devido à possibilidade de flutuação e/ou efeitos de subpressão

⁶ DNER-PRO 381/98, Projeto de Aterro sobre Solos Moles para Obras Viárias





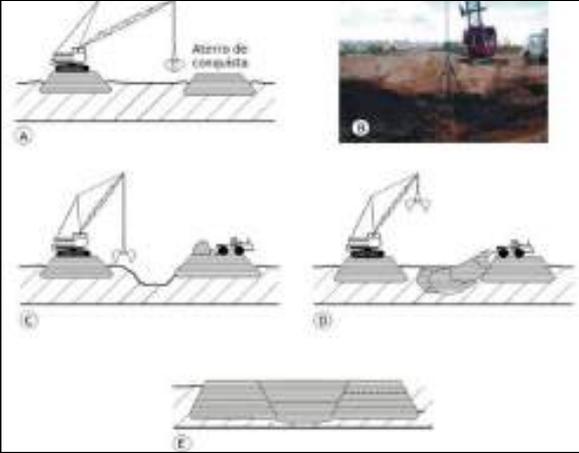
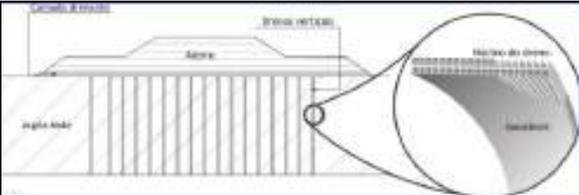
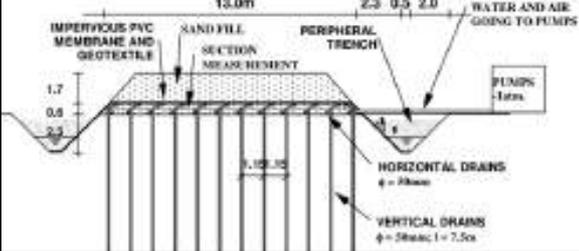
hidrostática, o que implicaria em medidas complementares de fixação e estabilização da estrutura, além da proteção ao dano do EPS;

- Pré-carregamento ou sobrecarga temporária: se trata de concepção como uma variante da construção por etapas, mas que também necessita muitos anos para sua execução. Logo, esta alternativa foi descartada;
- Geodrenos e sobrecarga temporária: alternativa muito atraente pois antecipa recalques por adensamento para um prazo normalmente compatível com as necessidades, bem como proporciona melhoria da resistência das fundações devido ao acréscimo de tensões efetivas;
- Aterro reforçado com geossintéticos, com ou sem geodrenos: alternativa que contempla a utilização de reforço com geogrelhas na base dos aterros, para melhoria da estabilidade do conjunto aterro x fundação, porém não elimina recalques. Usualmente é empregada com a técnica de aceleração de recalques pela introdução de geodrenos verticais na camada de solo mole e sobrecarga temporária de aterros. Esta concepção é bastante apropriada às condições locais do presente projeto;
- Geodrenos e consolidação com sucção por vácuo: concepção que emprega o uso combinado de geodrenos na fundação e tubulações internas na base dos aterros (imersas em camada drenante), acopladas num sistema de bombas com aplicação de vácuo que possibilitam a sucção d'água da fundação mole, antecipando os recalques. Devido ao seu alto custo de execução, esta alternativa foi descartada;
- Aterro estaqueado: solução muito eficiente uma vez que carga do aterro é transferida para as estacas (por uma laje de concreto ou geogrelhas com capitéis) que, por sua vez, transmitem as cargas para camadas competentes mais profundas. Embora tenha um custo mais elevado que alternativas de aceleração de recalques, esta concepção proporciona imediata utilização da obra, sem preocupação quanto às deformações diferenciais dos aterros;
- Consolidação Profunda Radial (CPR): consiste na instalação de uma malha intercalada de colunas de argamassa (técnica de expansão de cavidades, em bulbos) e geodrenos na camada de solo mole, proporcionando a minimização de recalques. Apresenta elevado custo de execução e requer equipamento especializado;
- Reforço com estacas de brita, com ou sem camisas de geotêxtil: melhoramento do solo mole com a formação de colunas de brita através da vibro-substituição com material granular (brita), com ou sem utilização de envelopamento por geotêxtil. O elemento geossintético proporciona melhor confinamento da brita e maior eficiência da solução geotécnica. Não elimina totalmente os recalques, mas constitui-se de alternativa de custo ligeiramente inferior ao aterro estaqueado.

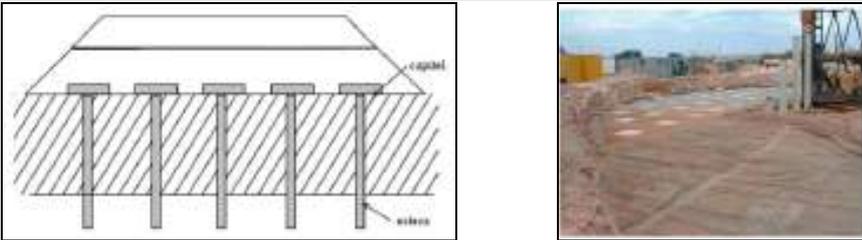
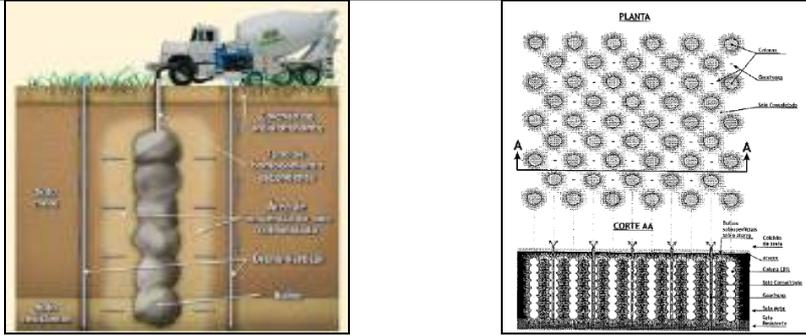
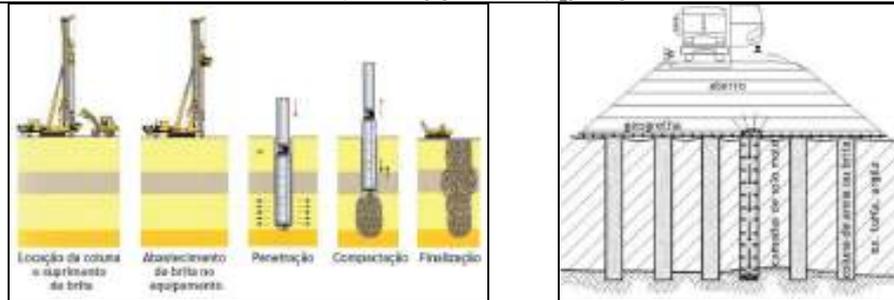
O quadro a seguir ilustra o aspecto típico de algumas dessas concepções e alternativas de maciços, com alguns detalhes de execução das técnicas de estabilização. Em continuação, entre as diversas alternativas, aborda-se sobre a seleção e escolha dos maciços.



Quadro 37. Concepções de alternativas de maciços e detalhes executivos (aterros sobre solos moles)

Concepções	Imagem
<p>Substituição de Solos Moles (viável somente para espessuras até 3,50m)</p>	 <p>Fonte: http://portal.aeerj.com.br/file/eventos/eve-aeerj-georio-marcoialmeida-05-09-11.pdf</p>
<p>Construção por etapas</p>	 <p>Fonte: DNER-PRO 381/98</p>
<p>Aterros Leves - Método executivo de aterro com blocos de EPS/Poliestireno Expandido</p>	 <p>Fonte: http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/22/artigo275118-2.aspx</p>
<p>Aterros sobre geodrenos para aceleração de recalques, com ou sem reforço da base do aterro</p>	 <p>Fonte: DNER-PRO 381/98 e http://portal.aeerj.com.br/file/eventos/eve-aeerj-georio-marcoialmeida-05-09-11.pdf</p>
<p>Geodrenos e consolidação com sucção por vácuo</p>	 <p>Fonte: DNER-PRO 381/98 e http://portal.aeerj.com.br/file/eventos/eve-aeerj-georio-marcoialmeida-05-09-11.pdf</p>



Concepções	Imagem	
<p>Aterro estaqueado (base do aterro com laje ou geogrelhas, com capitéis)</p>	 <p style="text-align: center;">Fonte: DNER-PRO 381/98</p>	
<p>Consolidação Profunda Radial - CPR</p>	 <p style="text-align: center;">Fonte: http://www.engegraut.com.br/cpr_grouting/</p>	
<p>Etapas construtivas de colunas de brita (sem e com camisa de geotêxtil)</p>	 <p style="text-align: center;">Fonte: http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/187/artigo286953-2.aspx</p>	

5.4.4.3 Seleção dos Maciços

A seleção preliminar dos maciços de terra entre as alternativas possíveis levou em consideração as características geotécnicas e espessuras dos solos moles locais, além das premissas da NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações) e as diretrizes da norma DNER-PRO 381/98 (Projeto e Execução de Aterros sobre solos moles para obras viárias).

Para fins de definição da Classe dos Aterros foram adotadas as recomendações da DNER-PRO 381/98 que, no caso em questão, se enquadram em geral como **Classe II**, ou seja: "aterros que não estão próximos de estruturas sensíveis, porém são altos, definindo-se como altos os que têm alturas maiores que 3m." Vale destacar que os aterros Classe I se referem aos aterros junto às estruturas sensíveis ou rígidas (pontes, paredes, oleodutos, etc.) e os aterros Classe III são relativos aos aterros baixos, inferiores e 3m e afastados de estruturas sensíveis. Nas proximidades de Obras de Arte Especiais, obviamente, os projetos dos aterros deverão ser desenvolvidos como **Classe I**.

Para auxiliar na seleção dos maciços terrosos, entre as diversas alternativas de concepção que foram descritas no item 5.4.5.2, foram consideradas as respectivas aplicabilidades





tomando-se por base inicialmente às recomendações da DNER-PRO 381/98 reproduzida no Quadro 38 e na Figura 60.

Quadro 38. Aplicabilidade das alternativas de solução em função da Classe do Aterro e do tipo de solo de fundação (DNER-PRO 381/98)

Alternativas	Classes de aterros			Tipo de solo		
	I	II	III	Silte	Argila	Turfa
Aterros leves						
Substituição total da camada mole						
Bermas de equilíbrio						
Construção por etapas						
Pré-carregamento ou sobrecarga temporária						
Geodrenos e sobrecarga temporária						
Geodrenos e sucção a vácuo						
Aterro estaqueado						
Aterro reforçado com geossintéticos						

No Quadro 38, para aterros Classe II, se verifica que as alternativas de substituição total da camada mole, bermas de equilíbrio e construção por etapas seriam recomendadas. No entanto, foram descartadas por não se enquadrarem nas condicionantes do projeto em tela, conforme já descrito (item 4.4.5.2). Por outro lado, se observa que a utilização de pré-carregamentos ou geodrenos com sobrecarga temporária é medida recomendada, sendo adotada como preferencial; porém, pelas pré-análises realizadas considerando a baixa resistência dos solos encontrados, é provável que seja necessário o reforço da base dos aterros com utilização de elementos geossintéticos (geogrelhas), conforme dimensionamento específico a ser desenvolvido no anteprojeto geotécnico.

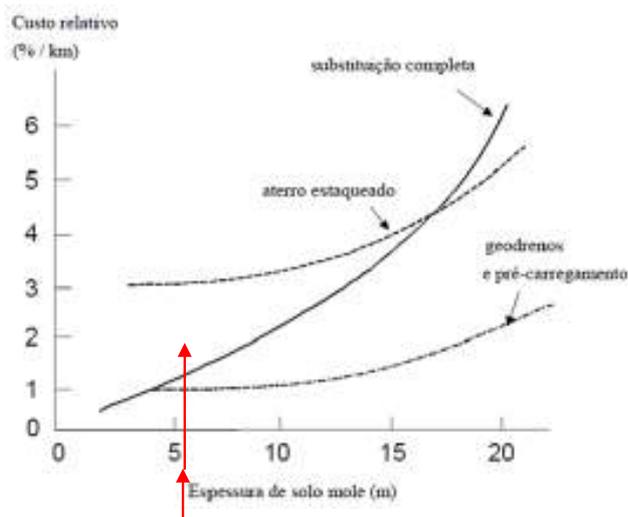
Já para os segmentos de aterros que se estejam próximos de estruturas sensíveis, ou seja, aterros Classe I, a opção escolhida é a utilização de aterros estaqueados, podendo ainda ser cotejada na fase de anteprojeto a utilização de lajes ou camadas de geogrelhas na base dos aterros. No estudo de concepção, foi adotada a utilização de lajes de concreto armado sobre capitéis.

A Figura a seguir mostra um comparativo do custo médio por quilômetro de aterro sobre solos moles (conforme a variação da espessura da camada), no âmbito rodoviário, cotejando alternativas de substituição completa, geodrenos e pré-carregamento, bem como de aterro estaqueado. Tomando-se por base as espessuras médias de solos moles encontradas no traçado dos diques (da ordem de 7m de espessura), se nota que a alternativa de geodrenos e pré-carregamentos resulta numa expectativa de custo bastante inferior à substituição completa. Obviamente, o custo estimativo da alternativa de aterro estaqueado (tendo como referência a DNER-PRO 381/98) é cerca de três vezes superior, mas isto se justifica considerando que tais situações estarão restritas aos segmentos de aterros Classe I.





Figura 60. Comparação entre custos relativos de solução, em %/km (DNER-PRO 381/98)



Do exposto, as Figuras em continuação (Figura 61 a Figura 64) mostram a representação esquemática das alternativas selecionadas para os maciços dos diques, considerando pelo menos quatro situações típicas:

- **Seção Tipo 01 (dique):** maciços a executar sobre aterros de diques existentes, já consolidados, mas que necessitam alargamentos para conformar às geometrias previstas em projeto (exemplo: trecho inicial do Dique Principal nas proximidades da FIERGS);
- **Seção Tipo 02 (dique):** maciços a executar em trechos de solos moles espessos (virgens), com necessidade obrigatória de aceleração de recalques e melhoria da estabilidade com o emprego de geossintéticos como reforço da base dos aterros (aterros Classe II);
- **Seção Tipo 03 (dique):** maciços a executar nas proximidades de estruturas sensíveis ou rígidas, para minimizar recalques diferenciais e/ou de interface (aterros Classe I); e
- **Seção Tipo 04 (dique):** maciços a executar em segmentos sobre fundação sem ocorrência de solos moles (exemplo: trecho final do Dique Principal, após margem direita do arroio Águas Belas)

No Anexo 10 e Anexo 11 pode-se verificar qual as seções indicadas para cada segmento.

Para a Alternativa 1 Solução Diques Internos tem-se aproximadamente 850 m para a Seção Tipo 01, 4610 m para a Seção Tipo 02 e 87 m para a Seção Tipo 03.

Tem-se para a Alternativa do Dique Corta rio (2) o comprimento de 950 m para a Seção Tipo 01, 5460 m para a Seção tipo 02, 350 m para a Seção Tipo 03 e 40 m para a Seção Tipo 04.

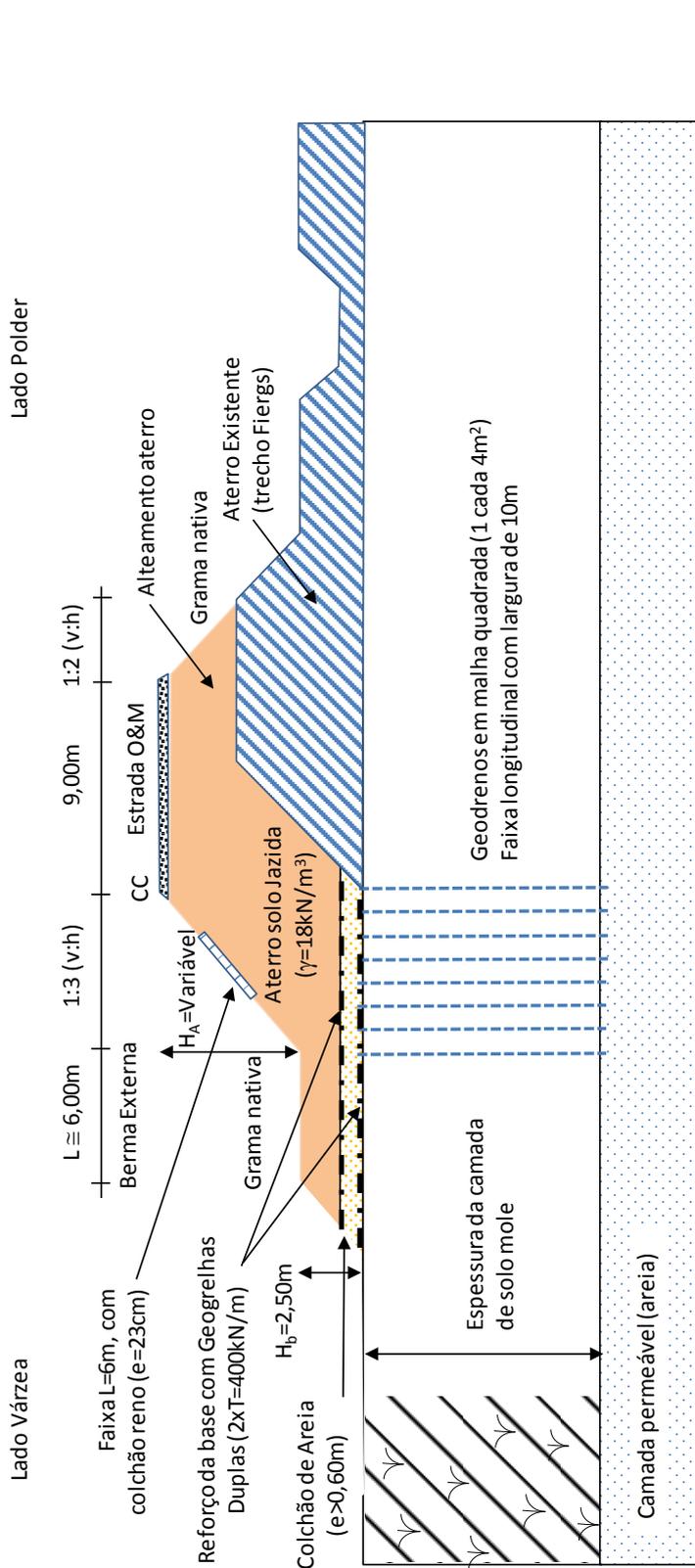
Para os segmentos em que raramente não forem encontradas camadas de solos moles na fundação, tal como constatado no final do Dique Principal (furo SP-DPR-28), os maciços terrosos poderão ser executados sem a necessidade de tratamento e/ou estabilização. Os desenhos de projeto apresentam os detalhes das Seções Tipo, assim como dos segmentos de validade ao longo do traçado dos diques.



O Termo de Referência (item 6.5.4) previa que no estudo de concepção se deveria contemplar um cenário com possibilidade de uma via rodoviária perimetral posicionada ao longo do *coroamento* do Dique Principal. Tendo em vista a ocorrência de solos moles praticamente generalizada ao longo das fundações deste dique, a imposição de uma estrada no coroamento levaria a uma seção transversal de grandes dimensões, visto que a crista necessitaria uma largura não inferior a 9,00m (ideal que fosse de 12,00m, sendo 7,00m de pista simples e acostamento+folga de 2,50m). No entanto no trecho da FIERGS esta via foi prevista para estar sobre a própria crista do Dique Principal. Além disto, como são aterros altos, seria necessária mureta longitudinal contínua em toda a extensão em ambos os lados, o que onera de forma significativa a implantação da via. Assim, para minimizar custos, previu-se uma largura de crista de 3,00m, sendo a estrada posicionada na berma do lado interno.



Figura 61. Seção Tipo 01 (Dique): Aterros com alteamento de diques ou aterros existentes, já consolidados (FIERGS)

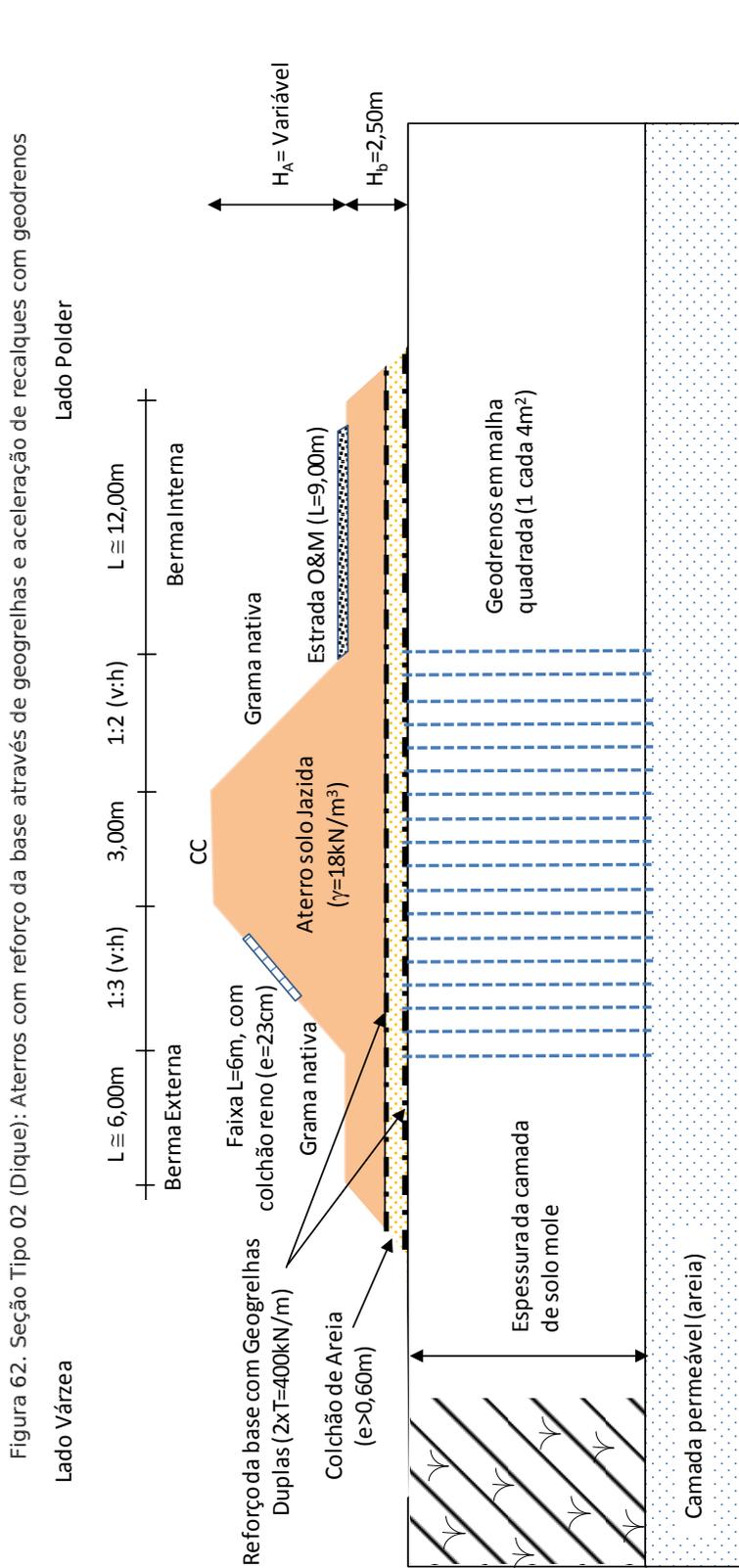


Detalhe Geogrelhas



Observações:

- 1) Considerar aterro temporário durante a fase de obras, com acréscimo de 25% da altura do aterro definitivo, para aceleração recalques;
- 2) Aterro com solo de jazida, compactado com controle tecnológico;
- 3) Colchão de areia executado como aterro de conquista e/ou aterro de ponta, sobre terreno natural;
- 4) Geodrenos executados em toda a espessura da camada de argila mole;
- 5) Geogrelhas aplicadas na base do aterro (acima do forro/topo dos geodrenos e no contato aterro x colchão de areia);
- 6) Considerar acréscimo de 2,00m nas bordas da geogrelha, para ancoragem no aterro;
- 7) Aterro a ser executado como alteamento do aterro existente, com alargamento da plataforma para lado da várzea;

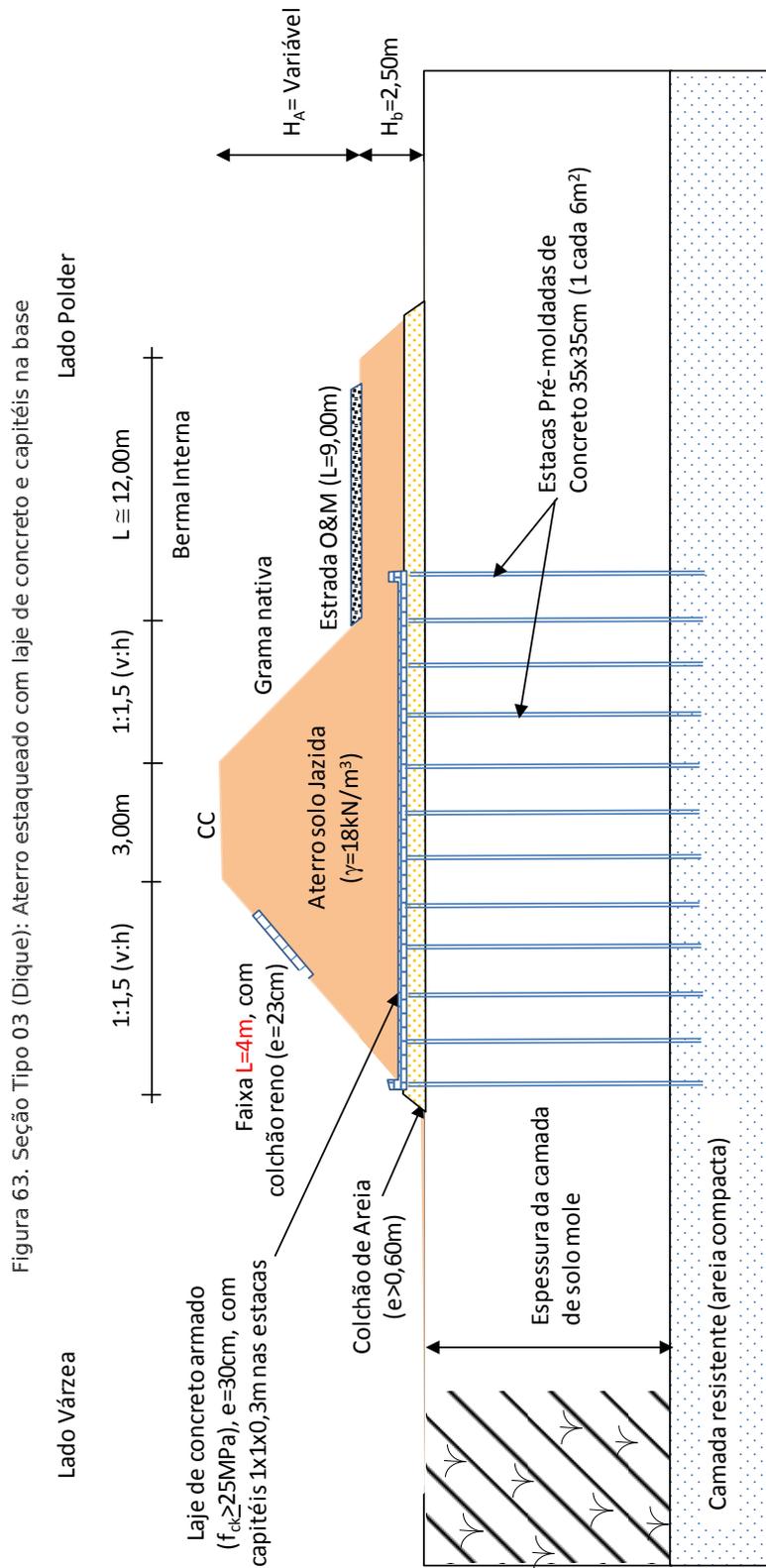


Detalhe Geodrenos



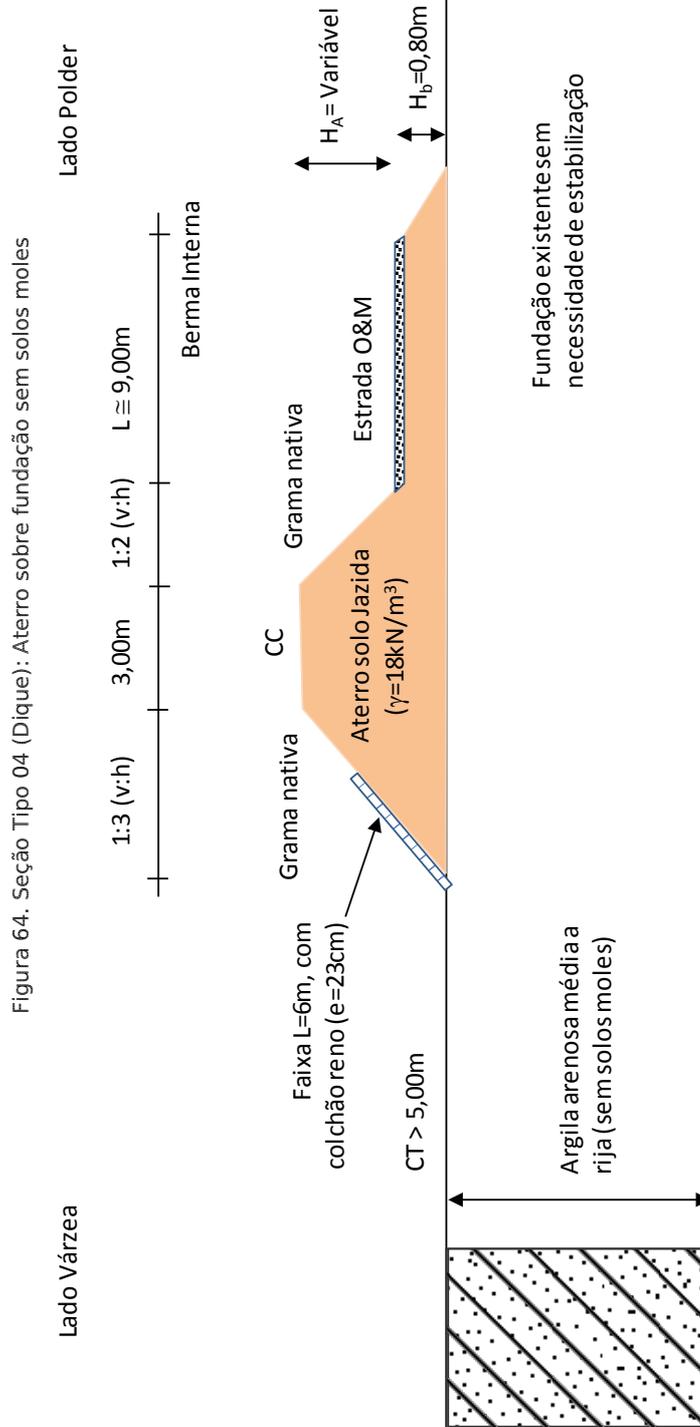
Observações:

- 1) Considerar aterro temporário durante a fase de obras, com acréscimo de 25% da altura do aterro definitivo, para aceleração recalques;
- 2) Aterro com solo de jazida, compactado com controle tecnológico;
- 3) Colchão de areia executado como aterro de conquista e/ou aterro de ponta, sobre terreno natural;
- 4) Geodrenos executados em toda a espessura da camada de argila mole;
- 5) Geogrelhas aplicadas na base do aterro (acima do forro/topo dos geodrenos e no contato aterro x colchão de areia);
- 6) Considerar acréscimo de 2,00m nas bordas da geogrelha, para ancoragem no aterro;



Observações:

- 1) Aterro com solo de jazida, compactado com controle tecnológico;
- 2) Colchão de areia executado como aterro de conquista e/ou aterro de ponta, sobre terreno natural;
- 3) Estacas pré-moldadas de concreto penetrando pelo menos 2,0m em camada resistente;
- 4) Laje de concreto armado executada sobre colchão de areia e/ou camada de regularização, com capitéis nas estacas;
- 5) Alternativa possui possibilidade de substituição da laje de concreto por dupla camada de geogrelhas e camada granular (travamento);



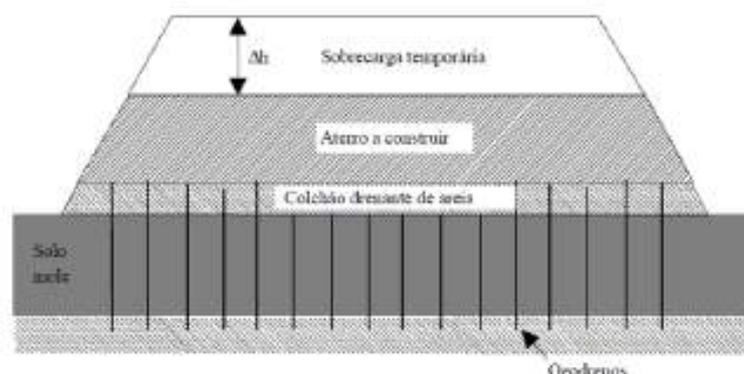


Para os aterros Classe II, conforme a DNER-PRO 381/98, há necessidade de se prever um acréscimo de tensão vertical temporária (aterro provisório) correspondente a 25 a 30% da tensão vertical provocada pelo aterro final projetado, com a finalidade de pré-carregamento. A porcentagem de adensamento (consolidação) a ser obtida antes da remoção da sobrecarga temporária deverá atingir no mínimo 90% do adensamento total previsto em projeto, sendo o restante passível de tratamento através de pequenas manutenções corretivas de médio e longo prazo. Já para os aterros Classe I (junto às estruturas sensíveis), exige-se no mínimo uma porcentagem de adensamento de 96%.

Outro aspecto relevante deverá ser a definição do cronograma de obras, em relação ao tempo de execução dos aterros sobre solos moles, ou seja, do prazo disponível ou desejado para a dissipação das poropressões. Esta informação é essencial para o dimensionamento do espaçamento dos geodrenos, sendo que quanto menor for o prazo disponível menor será o espaçamento entre geodrenos e, conseqüentemente, maior o custo das obras. No estudo de concepção foi adotado um espaçamento médio entre geodrenos de 1 geodreno a cada 4m² (malha quadrada de 2x2m), a ser confirmado no desenvolvimento do anteprojeto.

A Figura 65 ilustra a configuração básica da técnica de aceleração de recalques com utilização de geodrenos inicialmente cravados em toda a espessura da camada de argila mole. A extremidade superior do geodrenos alivia as águas captadas da fundação em um colchão drenante de areia que deverá se estender por toda a largura da base dos aterros. Desta forma, sob ação da sobrecarga temporária, se antecipa o processo de adensamento dos solos (ou seja, dos recalques, sob efeito de drenagem radial), proporcionando o aumento das tensões efetivas e conseqüentemente a resistência da fundação

Figura 65. Aceleração de recalques com geodrenos e sobrecarga temporária (DNER-PRO 381/98)



Para os segmentos com necessidade de reforço da base dos aterros, foi adotada utilização de geogrelhas (unidirecional) com resistência à tração de no mínimo 200kN/m, cujo pré-dimensionamento deverá ser oportunamente verificado na fase de anteprojeto. A geogrelha de reforço inferior deverá estar posicionada, em princípio, no topo do colchão de areia, ou conforme dimensionamento específico. A ancoragem das extremidades será no próprio aterro através de envelopamento na camada compactada superior (estimou-se pelo menos 2m de ancoragem em cada borda do aterro).





A proteção das superfícies dos aterros contra as intempéries e as erosões (chuvas e ação de ondas) foi pré-concebida através dos seguintes revestimentos:

- Talude de montante: proteção contínua com gabiões tipo manta (“colchão reno”), espessura não inferior a 23cm (0,23m), com manta de geotêxtil não tecido (RT 10) colocada na interface *gabiões x aterro*, com a finalidade de evitar arrancamento de finos do aterro. A camada de colchão reno será aplicada na faixa de variação das cheias cujas ondas poderiam causar erosões nos aterros. Foi pré-definida uma faixa de 4 a 6m ao longo dos taludes, para aplicação dos gabiões. Para as demais áreas do talude de montante e superfícies de bermas foi prevista colocação de grama nativa adaptada às condições locais;
- Crista dos diques: com exceção de segmentos de dique que tenham previsão de estrada junto à crista (trecho FIERGS, por exemplo), a proteção da superfície poderá ser com grama nativa;
- Talude de jusante: proteção com grama nativa e/ou vegetação arbustiva sem raízes pivotantes, com espécies adaptadas ao clima regional.

Ao longo de toda a extensão dos diques será necessária a execução de uma via de acesso para serviços de manutenção e de operação do sistema (corte periódico da vegetação, acesso aos dispositivos de controle do dique, manutenção de bombas, etc). Conforme já salientado, esta via foi prevista para estar posicionada sobre a berma de aterro compactado no lado interno do dique, exceto no trecho da FIERGS em que estará sobre a própria crista do Dique Principal. Inicialmente, o revestimento superficial desta via foi previsto com camada de saibro compactado, espessura não inferior a 20cm, sendo anualmente submetido à manutenção rotineira. Futuramente, quando houver a plena consolidação do solo de fundação, a via poderá vir a ser pavimentada.

Importante observar que deverá ser observado o desempenho dos aterros quanto a recalques e quanto à evolução do processo de adensamento durante a fase construtiva e pós-construtiva. Para tanto, diversas seções de instrumentação geotécnica deverão ser obrigatoriamente implantadas, contemplando no mínimo o monitoramento de placas de recalque, inclinômetros e piezômetros. As seções a serem instrumentadas deverão estar posicionadas em zonas mais críticas (maior espessura de solos moles) e/ou proximidades de interfaces dos aterros com estruturas sensíveis.

5.4.4.4 Revestimentos e Estabilização das Margens

Os estudos hidráulicos e de simulação de cheias que foram desenvolvidos apontam para a necessidade de retificações das calhas dos arroios existentes. Estas retificações implicam em alargamentos e aprofundamento das seções transversais atualmente existentes nos cursos d’água, o que significa dizer intervenções nas margens e fundo, muitas delas com impacto em populações ribeirinhas que atualmente vivem em áreas de risco.

Para assegurar uma estabilidade mínima das margens e fundo dos arroios retificados, bem como minimizar a necessidade de remoções de famílias, foram cogitadas diversas alternativas de escavação, revestimentos e de estabilização das margens dos arroios. A



existência de solos argilosos moles na fundação é um fator condicionante na escolha destas alternativas.

Entre as diversas alternativas de revestimento (e estabilização) das margens dos arroios a serem retificados, foram cogitadas as seguintes:

- Gabiões tipo colchão reno e manta geotêxtil, para proteção contra erosões, aplicados diretamente sobre taludes escavados em solo e/ou terraplenos compactados. Nesta concepção, o lançamento dos gabiões pode ser efetuado inclusive em condições submersas, ou seja, em presença d'água, o que minimiza a necessidade de construção de ensecadeiras e esgotamento d'água em cavas. Os painéis de gabiões podem ser montados em terra, sendo içados e posicionados sobre os taludes submersos com auxílio de guindastes. Trechos acima do nível d'água podem ser executados convencionalmente, ou seja, manualmente;
- Geocélulas preenchidas com concreto ou RCD (Resíduos da Construção e Demolições) ou solo+vegetação, utilizadas para proteção contra erosão. As geocélulas são elementos geossintéticos (PEAD) com uma configuração tridimensional na forma de colmeia, que são dispostos sobre o talude escavado e preenchidos com material diverso conforme as velocidades de fluxo (concreto simples, RCD ou vegetação). Sob a camada, eventualmente, assim como na alternativa de gabiões tipo colchão, pode ser necessária aplicação de manta geotêxtil. A execução desta concepção requer o prévio ensecamento da área a revestir, para possibilitar a construção a seco e posterior inundações;
- Cortina de estacas prancha metálicas, com perfis justapostos cravados verticalmente no solo, sendo uma excelente alternativa para trechos com restrição de espaço ou junto à interface com estruturas sensíveis. Os esforços transversais e de momentos fletores são absorvidos pelo comprimento de ficha e/ou ancoragens na parte superior da estrutura. Os perfis usuais são em aço ou em PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro), quando em ambientes mais agressivos. A desvantagem desta alternativa recai sobre o elevado custo de implantação;
- Cortina de parede diafragma, que consiste na execução de um muro vertical em concreto armado constituído de painéis justapostos aptos a receber empuxos e carregamentos horizontais, similar à cortina de estacas prancha. É uma solução de custo elevado, porém bastante atraente para situações de seções de canal estreitas e/ou junto às estruturas sensíveis;
- Muros em concreto pré-moldado apoiado em estacas, a executar na calha menor dos arroios e diques de terra (aterro compactado) sobre as margens, para contenção dos picos das cheias. Esta concepção requer o uso de ensecadeiras e/ou desvios do fluxo d'água dos arroios;

A seguir ilustra-se o esboço das concepções e alternativas para o revestimento e estabilização das margens.



Quadro 39. Concepções de alternativas de revestimentos e estabilização das margens

Concepções	Imagem	
Gabiões tipo colchão reno		
Geocélulas preenchidas com concreto ou RCD ou solo + vegetação		
Cortina de estacas prancha		
Cortina com parede diafragma		
Muros de concreto em "L" e diques de terra (exemplo do arroio Cavalhada, em Porto Alegre/RS)		

No estudo de concepção, considerando o atendimento às questões técnicas e os menores custos de execução, foram adotadas as seções tipo de revestimento e de estabilização apresentadas nas Figuras a seguir.





Figura 66. Seção Tipo 01 (Arroios): Segmentos em zona rural ou sem edificações nas margens

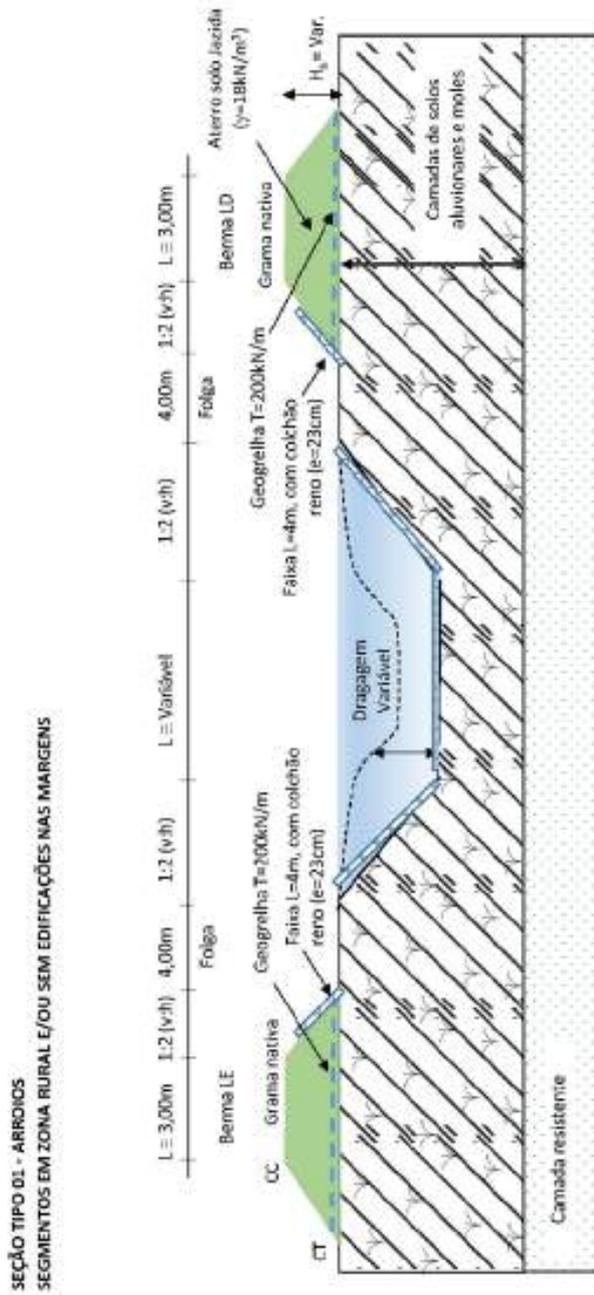




Figura 67. Seção Tipo 02 (Arroios): Segmentos com edificações/ocupações numa só margem

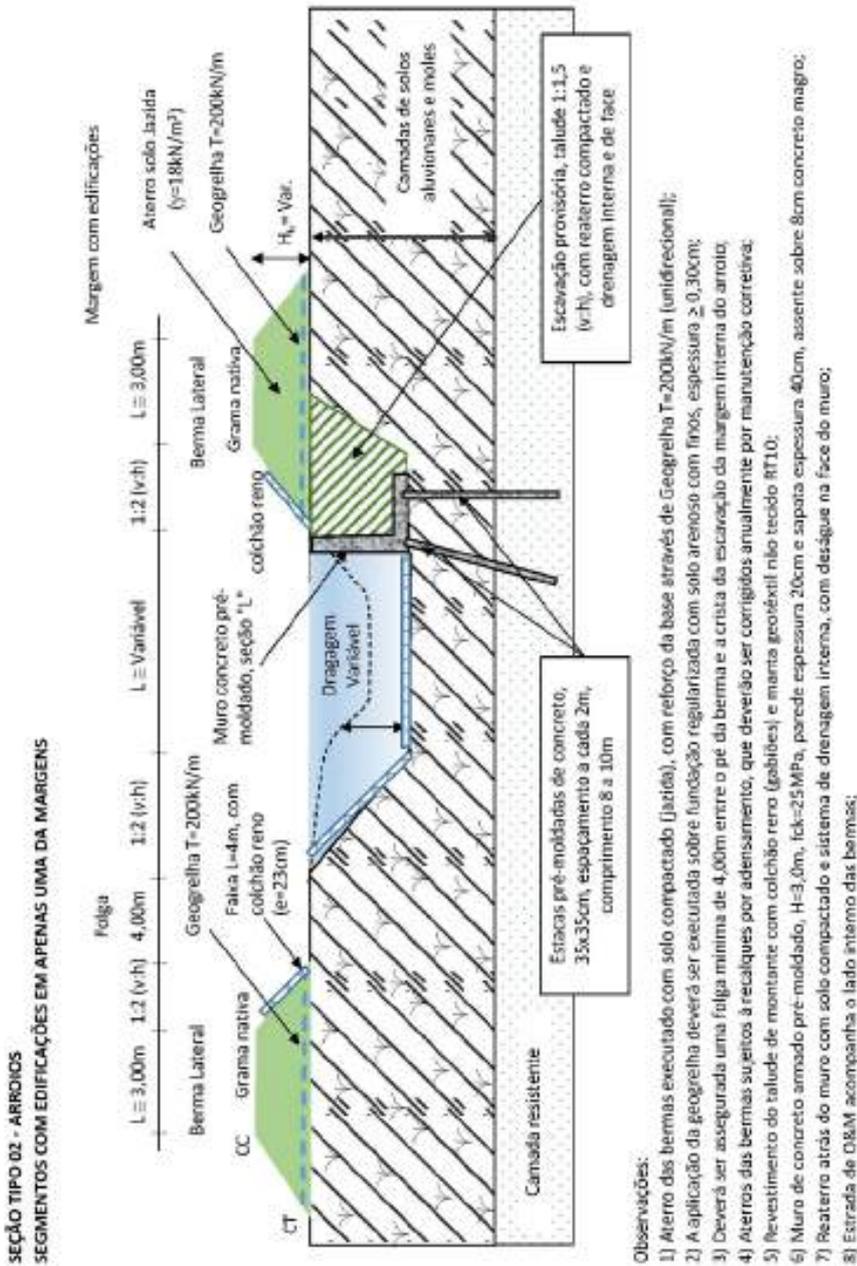
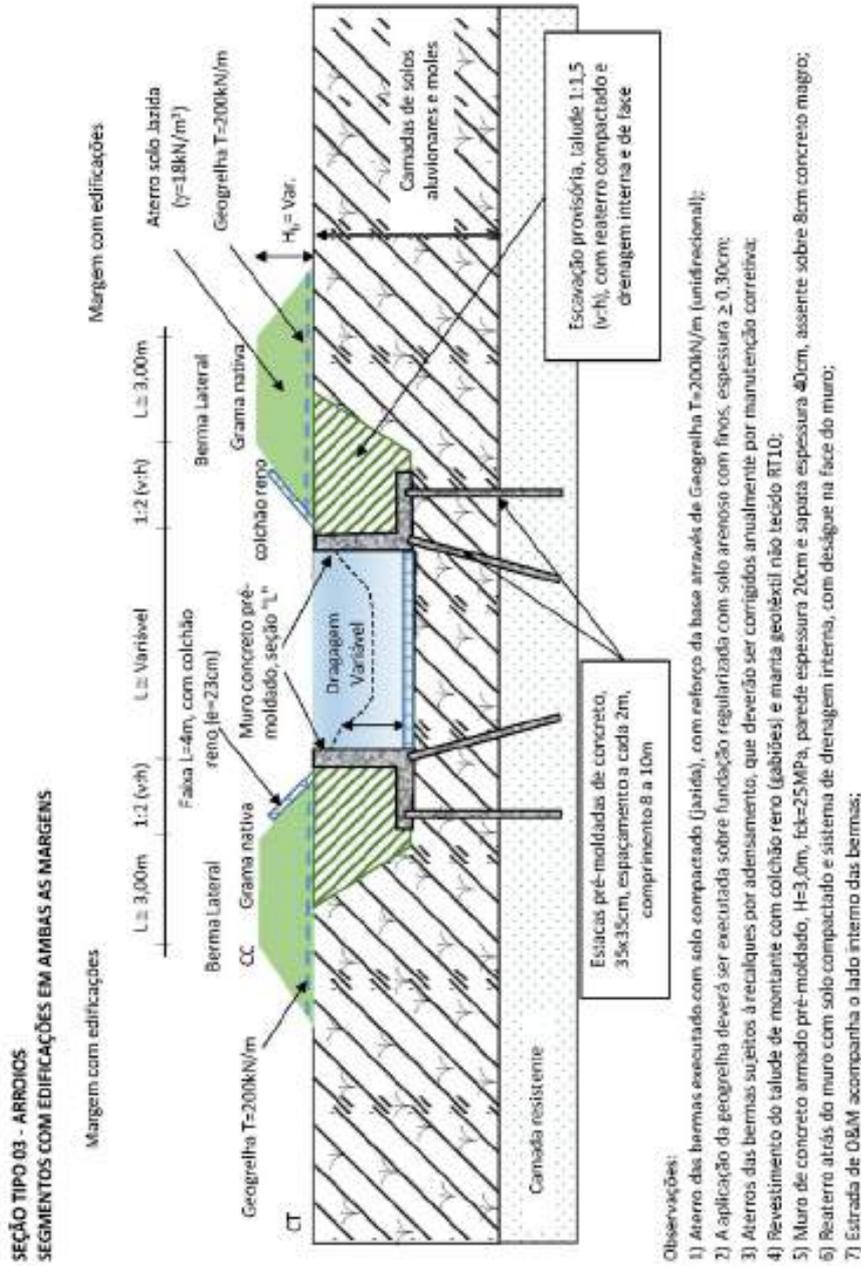




Figura 68. Seção Tipo 03 (Arroios): Segmentos com edificações/ocupações em ambas as margens





Algumas particularidades da execução dessas concepções são descritas a seguir.

- Trechos em “zona rural” ou sem a presença de edificações nas margens (populações ribeirinhas): escavações dos taludes e fundo mediante operações de dragagens, com utilização de escavadeiras hidráulicas e/ou guindastes de lança, conforme a natureza dos solos locais. Em princípio, como ocorrem solos argilosos, não se previu a necessidade de revestimentos nos taludes submersos a serem escavados, o que deverá ser confirmado na fase de anteprojetos. Caso necessário, poderá ser adotado revestimento com gabiões tipo colchão reno. Na parte superior, execução de dique de terra, com aterro compactado e reforço da base com emprego de geogrelhas;
- Trechos com presença de ocupações e/ou populações ribeirinhas em uma só margem: nestas situações, para minimizar os custos de implantação, as intervenções de estabilização com muros verticais poderão ser executadas somente na margem ocupada, sendo a margem oposta conformada apenas com operações de terraplenagem. A execução dos muros foi pré-concebida com peças pré-moldadas de concreto armado, em formato de “L”, altura mínima de 3,0m, apoiadas sobre paliteiro longitudinal de estacas pré-moldadas de concreto (verticais e inclinadas). Na parte superior, execução de aterro compactado configurando diques para confinamento das cheias excepcionais. Na base dos diques foi especificada utilização de geogrelha unidirecional, para reforço e minimização dos recalques diferenciais;
- Trechos com ambas as margens ocupadas: utilização de muros de concreto pré-moldado sobre estacas, na calha menor dos arroios, e dique de terra na parte superior (mesma solução acima)

A proteção dos maciços de terra (diques) contra erosões, no talude de montante, foi considerada com emprego de gabiões tipo colchão (espessura 23cm) e manta geotêxtil. A crista (com largura mínima de 3,00m) e talude de jusante (lado polder) foi admitida com proteção apenas com grama nativa. Paralelamente, no lado interno dos diques laterais, foi considerada execução de uma estrada de operação e manutenção, revestida com 20cm de saibro compactado (revestimento primário), devendo estar posicionada em aterro em relação ao terreno natural para evitar alagamentos.

No Anexo 11 consta para a Alternativa Diques Internos qual a Seção Tipo utilizada. Tem-se o total de 4.390m para a Seção Tipo 01 Diques Internos, 1945 m para a Seção Tipo 02 Diques Internos e 5915 m para a seção Tipo 03 Diques Internos.

5.4.5 Quantitativos e Orçamentação das Obras Estruturais

Para esse estudo todas as obras foram caracterizadas em nível conceitual, permitindo o orçamento individualizado de serviço para cada cenário de intervenção. Foram utilizados a simplificação e parametrização para a composição de custos, assim como indicadores de outras obras similares poderão ser utilizados na composição do orçamento. A data base utilizada foi outubro de 2016.

A partir das seções tipo definidas no item 5.4.5 deste estudo, foi elaborado um projeto a nível conceitual, onde foi possível determinar com base na topobatimetria local, seções a cada 20 metros que permitiram a cubagem dos volumes de materiais dos diques e dragagem dos canais. As seções transversais encontram-se no Anexo 12.



A orçamentação foi dividida por alternativa e por arroios, isto é:

- Custos do Dique principal na solução diques internos (DI), iguais na Alternativa 1 e 3;
- Custos do Dique principal na solução corta rio (CR), Alternativa 2;
- Custos dos Diques Internos empregados na Alternativas 1, separados para cada arroio estudado: DI Feijó, DI Santo Agostinho, DI São João e DI Águas Belas;
- Custos da Solução Corta Rio, Alternativa 2, separada por arroio: CR Feijó, CR Santo Agostinho, CR São João e CR Águas Belas;
- Custos dos Diques Internos empregando bacias de amortecimentos (BA), Alternativa 3, separados para cada arroio estudado: DI Feijó BA, DI Santo Agostinho BA, DI São João BA e DI Águas Belas BA;

A motivação da separação no orçamento por arroios justifica-se para facilitar os diferentes agrupamentos de soluções, e, permitir a licitação da obra em partes, devido ao valor envolvido. A solução mista, alternativa 4, se beneficiou, diretamente, dessa segmentação. Do ponto de vista dos estudos hidrológicos, a soluções foram divididas por bacias hidrográficas, e, dessa forma, flexibilizou combinações entre os pontos positivos e econômicos de cada alternativa.

5.4.5.1 Memorial Descritivo

No Quadro 40 são apresentados os serviços previstos nas soluções/alternativas estudadas a nível conceitual que serviram de base orçamentária das referidas obras.

Quadro 40. Serviços e descrição/origem dos serviços levantadas para dimensionamento das obras das alternativas cotejadas no estudo de concepção.

Item	Serviços	Descrição e Origem
1	Dragagem	Dragagem dos arroios internos em seções mínimas de escoamento para proteção Tr 25 anos condição futura de uso e ocupação do solo, obtidas nas modelagens hidrodinâmicas e descritas no item 5.4.2. Todas as alternativas terão esse serviço.
2	Transporte Material Dragagem para Bota-fora (DMT 15km)	Onde houver dragagem haverá transporte de material para bota-fora. As jazidas dos aterros serão utilizadas com local para bota-fora.
3	Aterro compactado na pista com solo importado (DMT até 10km)	Os diques serão aterros compactados e as jazidas foram localizadas no relatório específico. Foi considerado fator de empolamento de 30% para argila na estimativa do volume a ser transportado.
4	Enleivamento	Proteção no aterro do dique livre do contato com a água. Na solução Corta Rio, no arroio Águas Belas o enleivamento vai no talude de jusante das barragens destinadas a amortecimento de cheias internas das águas pluviais.
5	Lastro de areia media	Utilizada para os drenos dos aterros dos diques, bem como, filtros de transições necessários nas obras previstas e mostradas no item 5.4.4.
6	Base de brita graduada, inclusive compactação	Utilizada para as estradas de operação e manutenção (O&M) nas obras previstas e mostradas no item 5.4.4
7	Transporte Material Jazida	Transporte do material de construção
7.1	Transporte Material Jazida Areia (DMT 10 km)	Para os filtros
7.2	Brita graduada (DMT 30 km)	Para as estradas
7.3	Pedra de Mão (DMT 30 km)	Para os gabiões tipo colchão que serão revestimentos dos canais e diques em contato com a água.
8	Concreto	Todas as obras de concreto
8.1	Lastro de concreto magro fck=15MPa	Nivelamento de laje de concreto do dique
8.2	Concreto Estrutural fck 25 MPa	Laje de concreto do dique (Figura 59) e muro de contenção dos canais exemplificados na Figura 67 e na Figura 68.
9	Formas Planas	Para convecção das obras de concreto
10	Armadura CA 50	



Item	Serviços	Descrição e Origem
11	Execução de estaca pré-moldada de concreto 35 x 35cm	Solução de Dique e contenção dos canais em trechos de ocupação urbana acentuada.
12	Geogrelhas	Diques para reforço para a fundação.
13	Execução de geodrenos em malha quadrada	Solução de diques sobre solo moles.
14	Colchão Reno e=23cm	Revestimento do dique principal na parte em contato com a água no rio Gravataí e diques internos na parte interna. Os canais serão também revestidos com colchão Reno e=23 cm.
15	Bombeamento para construção	Drenagem dos leitos para construção de fundações e escavação dos reservatórios de amortecimento de águas pluviais.
16	Pontes	
16.1	Dique Principal	Construção de pontes sobre a crista do dique para acesso da estrada de O&M e se for o caso rodovia local
16.2	Arroios	Reconstrução das pontes existentes em função da Alternativa de Diques Internos
17	Rede interceptora de drenagem pluvial ϕ 1 m	Com a implantação dos diques internos será necessário a construção de interceptores de águas pluviais para condução desse escoamento para as casas de bombas. Foi selecionado um diâmetro médio de rede para fins de estudo de concepção.
18	Rede interceptora de esgotamento cloacal ϕ 1 m	Com a Implantação dos diques internos será necessário a construção de interceptores de esgoto cloacal para condução para as casas de bombas de esgoto. Essa rede é independente do esgotamento pluvial. Foi selecionado um diâmetro médio de rede para fins de estudo de concepção.
19	Estações de Bombeamento	Haverá dois tipos para drenagem pluvial e outra para esgoto cloacal
19.1	Drenagem Pluvial	Ambas situações foi empregado valores de obras similares realizadas no ano de 2016. O m ³ /s bombeado foi orçado em um milhão de reais.
19.2	Esgoto Sanitário	
20	Comportas	O esgotamento das águas pluviais será realizado em sua maioria do tempo por gravidade. As comportas serão empregadas para evitar o refluxo das águas do rio Gravataí e arroios no momento que eles estiverem elevados.
21	Reservatórios	Existem dois tipos: (a) <i>in line</i>, isto é, o escoamento deverá entrar e sair necessariamente do reservatório. O esgotamento será feito por gravidade; (b) <i>off line</i>, o escoamento é derivado para o reservatório no momento da cheia e seu esvaziamento é dado por bombeamento.
21.1	Dragagem <i>in line</i>	Escavação do volume necessário
21.2	Dragagem <i>off line</i>	
21.3	Aterro Compactado	Nos reservatórios AB-01 e AB-02 haverá barramentos, e, portanto, aterros compactados. Serão maciços de argila e terão enleivamento e colchão Reno.
21.4	Concreto Massa fck 15 MPa	O vertedouros das barragens AB-01 e AB-02 serão em concreto massa.
22	Relocação	Relocação de famílias na regiões das obras
23	Indenização	Indenização das propriedades sem ocupação urbana utilizadas nos reservatórios, diques e canais.

5.4.5.2 Diques Externo junto ao Gravataí

Os quantitativos do dique Principal junto a margem esquerda do rio Gravataí foram obtidos pela cubagem do volume de material a ser empregado na construção do mesmo. Foram quantificados transportes dos materiais de construção, obras de concreto, fundações, revestimentos de proteção do talude com colchão Reno e outros, conforme será apresentado nas planilhas resumo.

As seções transversais do dique principal foram determinadas a cada 20 metros com base na topobatimetria disponível e restituição aerofotogramétrica com curvas de níveis de metro a metro, será realizado o detalhamento após a escolha da alternativa.

5.4.5.3 Diques Internos

Os quantitativos do dique internos foram separados por arroios estudados. A cubagem do volume de material a ser empregado na construção dos mesmos foi determinada a cada 20 metros, com base na topobatimetria disponível e restituição aerofotogramétrica com curvas de níveis de metro a metro.



A seleção da seção tipo empregada em cada trecho dos diques internos, considerou o efeito da urbanização, de maneira a minimizar relocações de famílias decorrente a implantação das obras.

5.4.5.4 Bacias de amortização/ barragens

Os volumes das bacias de amortecimento *off line* da solução corta rio estão descritos no item 5.4.2.

Os volumes de aterro e de concreto do vertedouro nos reservatórios *in line* estão descritos nas planilhas do Anexo 1. Os locais de bota-fora estão no item 5.4.5.7

5.4.5.5 Casas de Bombas

Para orçamento das casas de bombas foram utilizados preços globais de obras similares ocorridas em 2016 em Porto Alegre e Pelotas.

Os valores de cada estação de bombeamento ficaram estabelecidos com base na vazão total.

5.4.5.6 Pontes

Para orçar o valor da reconstrução das pontes foi utilizado o Custo Médio Gerencial do DNIT, o último valor de referência emitido pelo órgão foi de R\$ 4.500,00/m² referente a julho de 2014. Aplicando o índice de reajustamento para a data base utilizada para esse estudo tem-se o valor de R\$ 4.928,3/m².

O Quadro a seguir mostra o quantitativo de pontes a serem construídas por arroio, a área bem como o valor.

Quadro 41. Custo de implantação e substituição das Pontes

Arrolo	Nº de pontes	Área total de Pontes (m ²)	Valor (R\$)
Águas Belas	10	22.664	111.694.578,4
Feijó	3	7.006	34.526.404,5
Santo Agostinho	5	8.230	40.558.716,8
São João	5	9.520	46.916.668,9
Total	23	47.419	233.696.366,7

5.4.5.7 Dragagens dos Arroios e Conformação das Margens

Os volumes de dragagem dos arroios foram obtidos pela cubagem a cada 20 m das seção tipo prevista no item 5.4.2. Em ambas as soluções existem dragagem, sendo que para a solução corta rio, faz-se necessário um aprofundamento adicional em virtude da cheia Tr 25 anos empregada para dimensionamento.

Em virtude das velocidades do escoamento, previu-se o revestimento das margens com colchão reno em toda a extensão de dragagem.





A Figura a seguir apresenta as regiões de bota-fora pré-selecionadas no estudo de concepção.

Figura 69. Locais sugeridos para bota-fora



5.4.5.8 Readequação da Macrodrenagem Interna

A readequação da drenagem interna é composta pela rede pluvial e cloacal na solução diques internos. Foi considerado um interceptor em cada lado do dique sob as estradas vicinais de acesso e manutenção dos referidas obras. O diâmetro dos interceptores adotado foi de 1 metro de diâmetro e escavações com profundidade média de 2 metros.

5.4.5.9 Realocações

Para quantificar o valor a ser gasto, foram consideradas as estimativas de custos de 2016 do reassentamento das famílias da obra da Ponte do Guaíba. Serão construídos três loteamentos, que abrangem casas, comércios e apartamentos. O valor considerado inclui gastos com desapropriação, infraestrutura e edificações, totalizando 1052 unidades, com um custo total de R\$ 199.293.687,00, obtendo-se um valor médio de R\$ 189.442,67 por unidade.

Justifica-se o valor considerado para a referida obra pois ambas as áreas a serem reassentadas estão localizadas na região Metropolitana de Porto Alegre. Deve-se ressaltar que os valores considerados de área e infraestrutura variam para cada loteamento, dependendo da localização e das diretrizes municipais. Por exemplo, em um dos loteamentos é necessário um aterro de aproximadamente 3m, além de estação de



tratamento de esgotos, bombeamento, escolas, centro de saúde, igreja, ou seja, no valor médio das habitações já está incluso todas estas benfeitorias.

Ressalta-se que de acordo com o IBGE a média de renda das famílias é um salário mínimo e a totalidade das famílias possui renda inferior a três salários mínimos mensais, por isso foi considerado somente realocação.

Já para a estimativa dos serviços de demolição para uma área edificada considerou-se a produção de 3,5 m³/m² de entulho, sendo necessária a previsão de carga e transporte do material demolido. A seguir a previsão de orçamento para a demolição, carga e transporte para cada alternativa.

O Quadro a seguir mostra os valores para reassentamento, demolição, carga e transporte.

O Anexo 12 mostra as edificações que devem ser reassentadas para as Alternativas e o quantitativo está descrito no Quadro a seguir.

Quadro 42. Valor do reassentamento

Alternativa	Nº de edificações	Custo unitário reassentamento (R\$/m ²)	Valor total do reassentamento (R\$)	Área edificada (m ²)	Custo unitário (R\$/m ²)	Valor total da demolição, carga e transporte (R\$)	Valor total (R\$)
Solução corta rio	1.340	189.442,67	253.853.177,8	111.488	111,68	12.450.979,84	266.304.157,64
Solução dique interno	1.263	189.442,67	239.266.092,2	103.097	111,68	11.513.872,04	250.779.964,24

5.4.5.10 Indenização

Conforme pesquisa de mercado realizada o preço unitário para a desapropriação da área é de R\$ 20,00/m². O Quadro a seguir mostra os valores de desapropriação para cada uma das alternativas.

Para a solução corta rio foram consideradas as áreas do dique principal e dos reservatórios, já para a solução com dique internos foi considera a área total do dique principal. O Quadro a seguir mostra o valor total a ser desapropriado por alternativa e o Anexo 13 mostram o perímetro a ser considerado para a desapropriação.

Quadro 43. Valor da desapropriação

Alternativa	Área a ser desapropriada (m ²)	Custo unitário (R\$/m ²)	Valor total (R\$)
Solução corta rio	5.705.071	20,00	114.101.411,60
Solução diques internos	436.740	20,00	8.144.735,186

5.4.5.11 Custos de Projetos, EIA e Programas Ambientais e Sociais

De acordo com o Custo Médios Gerenciais do DNIT, disponível no endereço eletrônico do Departamento os custos com os Estudos Ambientais e Implementação de Programas Ambientais o valor a ser considerado é de 5,25% do valor do empreendimento. O custo de projeto deve ser considerado 2,5% do valor do empreendimento.

5.4.5.12 Custos das Alternativas Estruturais Estudadas

A seguir o Quadro 44 ao Quadro 47 apresenta o resumo das principais obras individualizadas por alternativa. Os orçamentos individualizados com a precificação, o quantitativo e o critério adotado encontra-se nos Anexo 11 e Anexo 12.



Quadro 44. Orçamento da Alternativa 1 - Solução Diques Internos

Serviço	Item	Descrição	Alternativa 1 - Solução Dique Interno (DI)				
			Dique Principal DI	DI Santo Agostinho	DI Feijó	DI São João	DI Águas Belas
Obras	1	Dragagem	-	R\$ 509.530,56	R\$ 1.136.325,12	R\$ 748.749,12	R\$ 3.377.700,48
Obras	2	Transporte Material Dragagem para Bota-fora (DMT 15km)	-	R\$ 1.173.740,04	R\$ 2.617.606,08	R\$ 1.724.797,08	R\$ 7.780.774,32
Obras	3	Aterro compactado na pista com solo importado (DMT até 10km)	R\$ 19.378.844,06	R\$ 10.490.529,40	R\$ 4.243.436,08	R\$ 13.473.006,82	R\$ 5.175.605,47
Obras	4	Enliviamento	R\$ 4.791.921,75	R\$ 273.487,50	R\$ 619.650,00	R\$ 461.008,13	R\$ 730.192,50
Obras	5	Lastro de areia media	R\$ 20.237.588,80	-	-	-	-
Obras	6	Base de brita graduada, inclusive compactação	R\$ 1.045.228,14	R\$ 348.251,80	R\$ 551.530,00	R\$ 378.192,00	R\$ 606.683,00
Obras	7	Transporte Material jazida	-	-	-	-	-
Obras	7.1	Transporte Material Jazida Areia (DMT 10 km)	R\$ 3.403.680,05	-	-	-	-
Obras	7.2	Brita graduada (DMT 30 km)	R\$ 756.480,38	R\$ 229.132,80	R\$ 362.880,00	R\$ 248.832,00	R\$ 399.168,00
Obras	7.3	Pedra de Mão (DMT 30 km)	R\$ 1.245.857,82	R\$ 1.444.638,76	R\$ 2.358.426,62	R\$ 1.601.056,13	R\$ 3.382.746,53
Obras	8	Concreto	-	-	-	-	-
Obras	8.1	Lastro de concreto magro fck=15MPa	-	R\$ 210.752,26	R\$ 312.443,90	R\$ 255.702,91	R\$ 330.350,48
Obras	8.2	Concreto Estrutural fck 25 MPa	R\$ 699.607,39	R\$ 2.786.426,50	R\$ 4.130.926,00	R\$ 3.380.734,25	R\$ 4.367.674,83
Obras	9	Formas Planas	R\$ 31.559,00	R\$ 902.587,40	R\$ 1.338.101,60	R\$ 1.095.097,30	R\$ 1.414.789,97
Obras	10	Armadura CA 50	R\$ 966.822,91	R\$ 3.500.640,00	R\$ 5.189.760,00	R\$ 4.247.280,00	R\$ 5.487.192,00
Obras	11	Execução de estaca pré-moldada de concreto 35 x 35cm	R\$ 785.669,28	R\$ 2.253.022,20	R\$ 3.340.144,80	R\$ 5.485.767,69	R\$ 3.531.572,91
Obras	12	Geogrelhas	R\$ 38.520.209,75	R\$ 2.028.169,00	R\$ 4.595.292,00	-	R\$ 5.415.069,40
Obras	13	Execução de geodrenos em malha quadrada	R\$ 2.375.450,00	-	-	R\$ 875.140,00	-
Obras	14	Colchão Reno e=23cm	R\$ 13.004.217,60	R\$ 16.586.994,24	R\$ 27.078.886,40	R\$ 10.695.689,60	R\$ 38.839.880,80
Obras	15	Bombeamento para construção	-	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60
Obras	16	Pontes	-	-	-	-	-
Obras	16.1	Dique Principal	R\$ 6.899.620,00	-	-	-	-
Obras	16.2	Arroios	-	R\$ 40.559.909,00	R\$ 34.527.669,80	R\$ 46.917.416,00	R\$ 111.694.991,20
Obras	17	Rede interceptora de drenagem pluvial φ 1 m	-	R\$ 1.501.551,48	R\$ 3.402.116,64	R\$ 2.531.111,78	R\$ 4.009.037,45
Obras	18	Rede interceptora de esgotamento cloacal φ 1 m	-	R\$ 1.501.551,48	R\$ 3.402.116,64	R\$ 2.531.111,78	R\$ 4.009.037,45
Obras	19	Estações de Bombeamento	-	-	-	-	-
Obras	19.1	Drenagem Pluvial	-	R\$ 33.804.336,56	R\$ 143.425.427,96	R\$ 26.568.264,52	R\$ 143.425.427,96
Obras	19.2	Esgoto Sanitário	-	R\$ 42.015,32	R\$ 216.840,91	R\$ 50.483,90	R\$ 126.139,78
Obras	20	Comportas	-	R\$ 544.000,00	R\$ 1.088.000,00	R\$ 761.600,00	R\$ 870.400,00
Obras	21	Reservatórios	-	-	-	-	-
Obras	21.1	Dragagem in line	-	-	-	-	-
Obras	21.2	Dragagem off line	-	-	-	-	-
Obras	21.3	Aterro Compactado	-	-	-	-	-
Obras	21.4	Concreto Massa fck 15 MPa	-	-	-	-	-
Obras	22	Relocação	R\$ 198.649,30	R\$ 56.813.698,51	R\$ 43.305.546,41	R\$ 55.820.452,03	R\$ 94.755.713,94
Obras	23	Indenização	R\$ 8.734.800,74	-	-	-	-
Obras	24	Canteiro de Obras (1%)	R\$ 1.230.762,07	-	-	-	-
	25	Custo total da solução (R\$)	R\$ 124.306.969,04	R\$ 179.336.285,18	R\$ 290.171.828,97	R\$ 181.706.278,69	R\$ 444.183.720,68
		BDI (21,24%)	R\$ 26.402.800,22	R\$ 38.091.026,97	R\$ 61.632.496,47	R\$ 38.594.413,59	R\$ 94.344.622,27
		Custo total da solução com BDI (R\$)	R\$ 150.709.769,26	R\$ 217.427.312,16	R\$ 351.804.325,44	R\$ 220.300.692,29	R\$ 538.528.342,96
Projetos e Estudos	29	Custos de Projetos, EIA e Programas Ambientais e Social (5%)	R\$ 6.215.348,45	R\$ 8.966.814,26	R\$ 14.508.591,45	R\$ 9.085.313,93	R\$ 22.209.186,03



Serviço	Item	Descrição	Alternativa 1 - Solução Dique Interno (DI)			
			Dique Principal DI	DI Santo Agostinho	DI Feijó	DI São João
Custo total da solução com BDI e item 29 (R\$)			R\$ 156.925.117,72	R\$ 226.394.126,42	R\$ 366.312.916,89	R\$ 229.386.006,22
Custo total da Alternativa (R\$)			R\$ 1.539.755.696,24			
Quadro 45. Orçamento da Alternativa 2 - Solução Corta Rio						
Serviço	Item	Descrição	Alternativa 2 - Solução Corta Rio (CR)			
			Dique Principal CR	CR Santo Agostinho	CR Feijó	CR São João
Obras	1	Dragagem	-	R\$ 7.462.180,12	R\$ 1.811.994,24	R\$ 2.030.353,92
Obras	2	Transporte Material Dragagem para Bota-fora (DMT 15km)	-	R\$ 2.691.956,52	R\$ 4.174.058,16	R\$ 4.677.065,28
Obras	3	Aterro compactado na pista com solo importado (DMT até 10km)	R\$ 17.617.130,96	R\$ 3.803.279,48	R\$ 3.512.577,12	R\$ 3.244.201,22
Obras	4	Enleivamento	R\$ 4.356.292,50	-	-	-
Obras	5	Lastro de areia média	R\$ 18.397.808,00	-	-	-
Obras	6	Base de brita graduada, inclusive compactação	R\$ 950.207,40	R\$ 348.251,80	R\$ 551.530,00	R\$ 378.192,00
Obras	7	Transporte Material jazida	-	-	-	-
Obras	7.1	Transporte Material Jazida Areia (DMT 10 km)	R\$ 2.812.958,72	-	-	-
Obras	7.2	Brita graduada (DMT 30 km)	R\$ 625.190,40	-	-	-
Obras	7.3	Pedra de Mão (DMT 30 km)	R\$ 1.029.634,56	R\$ 638.155,72	R\$ 2.483.481,12	R\$ 624.183,94
Obras	8	Concreto	-	-	-	-
Obras	8.1	Lastro de concreto magro fck=15MPa	-	R\$ 210.752,26	R\$ 312.443,90	R\$ 255.702,91
Obras	8.2	Concreto Estrutural fck 25 MPa	R\$ 636.006,72	R\$ 2.786.426,50	R\$ 4.130.926,00	R\$ 3.380.734,25
Obras	9	Formas Planas	R\$ 28.690,00	R\$ 902.587,40	R\$ 1.338.101,60	R\$ 1.095.097,30
Obras	10	Armadura CA 50	R\$ 799.027,20	R\$ 3.500.640,00	R\$ 5.189.760,00	R\$ 4.247.280,00
Obras	11	Execução de estaca pré-moldada de concreto 35 x 35cm	R\$ 714.244,80	R\$ 2.253.022,20	R\$ 3.340.144,80	R\$ 2.733.561,90
Obras	12	Geogrelhas	R\$ 35.018.372,50	-	-	-
Obras	13	Execução de geofrenos em malha quadrada	R\$ 2.159.500,00	-	-	-
Obras	14	Colchão Reno e=23cm	R\$ 11.822.016,00	R\$ 7.327.150,24	R\$ 28.514.732,00	R\$ 7.166.729,60
Obras	15	Bombeamento para construção	-	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60
Obras	16	Pontes	-	-	-	-
Obras	16.1	Dique Principal	R\$ 6.899.620,00	-	-	-
Obras	16.2	Arrolós	-	-	-	-
Obras	17	Rede interceptora de drenagem pluvial φ 1 m	-	-	-	-
Obras	18	Rede interceptora de esgotamento cloacal φ 1 m	-	-	-	-
Obras	19	Estações de Bombeamento	-	-	-	-
Obras	19.1	Drenagem Pluvial	-	R\$ 54.000.537,63	R\$ 216.002.150,54	R\$ 75.600.752,69
Obras	19.2	Esgoto Sanitário	-	-	-	-
Obras	20	Comportas	-	R\$ 2.284.800,00	R\$ 2.284.800,00	R\$ 2.284.800,00
Obras	21	Reservatórios	-	-	-	-
Obras	21.1	Dragagem In line	-	-	R\$ 4.810.001,75	-



Serviço	Item	Descrição	Alternativa 2 - Solução Corta Rio (CR)				
			Dique Principal CR	CR Santo Agostinho	CR Feijó	CR São João	CR Águas Belas
Obras	21.2	Dragagem off line	-	R\$ 7.462.180,12	R\$ 17.751.980,10	R\$ 3.836.744,81	R\$ 1.935.360,00
Obras	21.3	Aterro Compactado	-	-	-	-	R\$ 11.314.691,88
Obras	21.4	Concreto Massa fck 15 MPa	-	-	-	-	R\$ 3.213.845,25
Obras	22	Relocação	-	R\$ 61.183.983,01	R\$ 28.406.849,25	R\$ 63.170.475,96	R\$ 113.428.747,72
Obras	23	Indenização	R\$ 8.144.735,19	R\$ 7.971.778,41	R\$ 18.766.782,72	R\$ 6.394.008,39	R\$ 72.824.106,87
Obras	24	Canteiro de Obras (1%)	R\$ 1.120.114,35	R\$ 1.648.833,95	R\$ 3.434.380,27	R\$ 1.811.755,98	R\$ 5.544.187,18
	25	Custo total da solução (R\$)	R\$ 113.131.549,30	R\$ 166.532.228,94	R\$ 346.872.407,17	R\$ 182.987.353,74	R\$ 559.962.904,96
		BDI (21,24%)	R\$ 24.029.141,07	R\$ 35.371.445,43	R\$ 73.675.699,28	R\$ 38.866.513,93	R\$ 118.936.121,01
		Custo total da solução com BDI (R\$)	R\$ 137.160.690,37	R\$ 201.903.674,37	R\$ 420.548.106,46	R\$ 221.853.867,67	R\$ 678.899.025,97
Projetos e Estudos	29	Custos de Projetos, EIA e Programas Ambientais e Social (5%)	R\$ 5.656.577,46	R\$ 8.326.611,45	R\$ 17.343.620,36	R\$ 9.149.367,69	R\$ 27.998.145,25
		Custo total da solução com BDI e item 29 (R\$)	R\$ 142.817.267,83	R\$ 210.230.285,82	R\$ 437.891.726,81	R\$ 231.003.235,36	R\$ 706.897.171,22
		Custo total da Alternativa (R\$)	R\$ 1.728.839.687,04				

Quadro 46. Orçamento da Alternativa 3 - Solução Dique Interna com Reservatórios de Amortecimento

Serviço	Item	Descrição	Alternativa 3 - Solução Dique Interna com Reservatórios de Amortecimento				
			Dique Principal CR	CR Santo Agostinho	CR Feijó	CR São João	CR Águas Belas
Obras	1	Dragagem	-	R\$ 509.530,56	R\$ 1.136.325,12	R\$ 748.749,12	R\$ 3.377.700,48
Obras	2	Transporte Material Dragagem para Bota-fora (DMT 15km)	-	R\$ 3.495.740,04	R\$ 13.298.806,08	R\$ 5.130.397,08	R\$ 9.638.374,32
Obras	3	Aterro compactado na pista com solo importado (DMT até 10km)	R\$ 19.378.844,06	R\$ 10.490.529,40	R\$ 4.243.436,08	R\$ 13.473.006,82	R\$ 5.175.605,47
Obras	4	Enleivamento	R\$ 4.791.921,75	R\$ 293.239,72	R\$ 658.154,16	R\$ 484.929,25	R\$ 742.684,90
Obras	5	Lastro de areia media	R\$ 20.237.588,80	-	-	-	-
Obras	6	Base de brita graduada, inclusive compactação	R\$ 1.045.228,14	R\$ 348.251,80	R\$ 551.530,00	R\$ 378.192,00	R\$ 606.683,00
Obras	7	Transporte Material jazida	-	-	-	-	-
Obras	7.1	Transporte Material Jazida Areia (DMT 10 km)	R\$ 3.403.680,05	-	-	-	-
Obras	7.2	Brita graduada (DMT 30 km)	R\$ 756.480,38	R\$ 229.132,80	R\$ 362.880,00	R\$ 248.832,00	R\$ 399.168,00
Obras	7.3	Pedra de Mão (DMT 30 km)	R\$ 1.245.857,82	R\$ 1.444.638,76	R\$ 2.358.426,62	R\$ 1.601.056,13	R\$ 3.382.746,53
Obras	8	Concreto	-	-	-	-	-
Obras	8.1	Lastro de concreto magro fck=15MPa	-	R\$ 210.752,26	R\$ 312.443,90	R\$ 255.702,91	R\$ 350.350,48
Obras	8.2	Concreto Estrutural fck 25 MPa	R\$ 699.607,39	R\$ 2.786.426,50	R\$ 4.130.926,00	R\$ 3.380.734,25	R\$ 4.367.674,83
Obras	9	Formas Planas	R\$ 31.559,00	R\$ 902.587,40	R\$ 1.338.101,60	R\$ 1.095.097,30	R\$ 1.414.789,97
Obras	10	Armadura CA 50	R\$ 966.822,91	R\$ 3.500.640,00	R\$ 5.189.760,00	R\$ 4.247.280,00	R\$ 5.487.192,00
Obras	11	Execução de estaca pré-moldada de concreto 35 x 35cm	R\$ 785.669,28	R\$ 2.253.022,20	R\$ 3.340.144,80	R\$ 5.485.767,69	R\$ 3.531.572,91
Obras	12	Georelhas	R\$ 38.520.209,75	R\$ 2.028.169,00	R\$ 4.595.292,00	-	R\$ 5.415.069,40
Obras	13	Execução de geodrenos em malha quadrada	R\$ 2.375.450,00	-	-	R\$ 875.140,00	-
Obras	14	Colchão Reno e=23cm	R\$ 13.004.217,60	R\$ 16.586.994,24	R\$ 27.078.886,40	R\$ 10.695.689,60	R\$ 38.839.880,80
Obras	15	Bombeamento para construção	-	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60



Serviço	Item	Descrição	Alternativa 3 - Solução Dique Interna com Reservatórios de Amortecimento				
			Dique Principal CR	CR Santo Agostinho	CR Feijó	CR São João	CR Águas Belas
Obras	16	Pontes	-	-	-	-	-
Obras	16.1	Dique Principal	R\$ 6.899.620,00	-	-	-	-
Obras	16.2	Arroios	-	R\$ 40.559.909,00	R\$ 34.527.669,80	R\$ 46.917.416,00	R\$ 111.694.991,20
Obras	17	Rede interceptora de drenagem pluvial □ 1 m	-	R\$ 1.501.551,48	R\$ 4.977.170,64	R\$ 3.056.129,78	R\$ 4.009.037,45
Obras	18	Rede interceptora de esgotamento cloacal □ 1	-	R\$ 2.026.569,48	R\$ 3.402.116,64	R\$ 2.531.111,78	R\$ 4.009.037,45
Obras	19	Estações de Bombeamento	-	-	-	-	-
Obras	19.1	Drenagem Pluvial	-	R\$ 15.109.738,32	R\$ 27.000.268,82	R\$ 17.280.172,04	R\$ 46.332.461,29
Obras	19.2	Esgoto Sanitário	-	R\$ 42.015,32	R\$ 216.840,91	R\$ 50.483,90	R\$ 126.139,78
Obras	20	Compartas	-	R\$ 326.400,00	R\$ 544.000,00	R\$ 435.200,00	R\$ 761.600,00
Obras	21	Reservatórios	-	-	-	-	-
Obras	21.1	Dragagem In line	-	-	-	-	-
Obras	21.2	Dragagem off line	-	R\$ 1.008.000,00	R\$ 4.636.800,00	R\$ 1.478.400,00	R\$ 806.400,00
Obras	21.3	Aterro Compactado	-	-	-	-	-
Obras	21.4	Concreto Massa fck 15 MPa	-	R\$ 56.813.698,51	R\$ 43.305.546,41	R\$ 55.820.452,03	R\$ 94.755.713,94
Obras	22	Relocação	R\$ 198.649,30	R\$ 3.000.000,00	R\$ 11.400.000,00	R\$ 4.400.000,00	R\$ 1.200.000,00
Obras	23	Indenização	R\$ 8.734.800,74	R\$ 1.655.232,50	R\$ 1.986.612,40	R\$ 1.801.256,53	R\$ 3.464.605,88
Obras	24	Canteiro de Obras (1%)	R\$ 1.230.762,07	R\$ 1.655.232,50	R\$ 1.986.612,40	R\$ 1.801.256,53	R\$ 3.464.605,88
	25	Custo total da solução (R\$)	R\$ 124.306.969,04	R\$ 167.178.482,88	R\$ 200.647.851,98	R\$ 181.926.909,81	R\$ 349.925.193,67
		BDI (21,24%)	R\$ 26.402.800,22	R\$ 35.508.709,76	R\$ 42.617.603,76	R\$ 38.641.275,64	R\$ 74.324.111,14
Projetos e Estudos	29	Custos de Projetos, EIA e Programas Ambientais e Social (5%)	R\$ 150.709.769,26	R\$ 202.687.192,64	R\$ 243.265.455,74	R\$ 220.568.185,45	R\$ 424.249.304,81
		Custo total da solução com BDI e item 29 (R\$)	R\$ 6.215.348,45	R\$ 8.358.924,14	R\$ 10.032.392,60	R\$ 9.096.345,49	R\$ 17.496.259,68
		Custo total da Alternativa (R\$)	R\$ 156.925.117,72	R\$ 211.046.116,79	R\$ 253.297.848,34	R\$ 229.664.530,94	R\$ 441.745.564,49
							R\$ 1.292.679.176,27

Quadro 47. Orçamento da Alternativa 4 - Solução Mista

Serviço	Item	Descrição	Alternativa 4 - Solução Mista				
			Dique Principal CR	CR Santo Agostinho	CR Feijó	CR São João	CR Águas Belas
Obras	1	Dragagem	-	R\$ 7.462.180,12	R\$ 1.136.325,12	R\$ 748.749,12	R\$ 3.377.700,48
Obras	2	Transporte Material Dragagem para Bota-fora (DMT 15km)	-	R\$ 2.691.956,52	R\$ 13.298.806,08	R\$ 1.724.797,08	R\$ 9.638.374,32
Obras	3	Aterro compactado na pista com solo importado (DMT até 10km)	R\$ 19.378.844,06	R\$ 3.803.279,48	R\$ 4.243.436,08	R\$ 13.473.006,82	R\$ 5.175.605,47
Obras	4	Enlhecimento	R\$ 4.791.921,75	-	R\$ 658.154,16	R\$ 461.008,13	R\$ 742.684,90
Obras	5	Lastro de areia média	R\$ 20.237.588,80	-	-	-	-
Obras	6	Base de brita graduada, inclusive compactação	R\$ 1.045.228,14	R\$ 348.251,80	R\$ 551.530,00	R\$ 378.192,00	R\$ 606.683,00
Obras	7	Transporte Material Jazida	-	-	-	-	-
Obras	7.1	Transporte Material Jazida Areia (DMT 10 km)	R\$ 3.403.680,05	-	-	-	-
Obras	7.2	Brita graduada (DMT 30 km)	R\$ 756.480,38	-	R\$ 362.880,00	R\$ 248.832,00	R\$ 399.168,00



Serviço	Item	Descrição	Alternativa 4 - Solução Mista(R)				
			Dique Principal CR	CR Santo Agostinho	CR Feijó	CR São João	CR Águas Belas
Obras	7.3	Pedra de Mão (DMT 30 km)	R\$ 1.245.857,82	R\$ 638.155,72	R\$ 2.358.426,62	R\$ 1.601.056,13	R\$ 3.382.746,53
Obras	8	Concreto	-	-	-	-	-
Obras	8.1	Lastro de concreto magro fck=15MPa	-	R\$ 210.752,26	R\$ 312.443,90	R\$ 255.702,91	R\$ 330.350,48
Obras	8.2	Concreto Estrutural fck 25 MPa	R\$ 699.607,39	R\$ 2.786.426,50	R\$ 4.130.926,00	R\$ 3.380.734,25	R\$ 4.367.674,83
Obras	9	Formas Planas	R\$ 31.559,00	R\$ 902.587,40	R\$ 1.338.101,60	R\$ 1.095.097,30	R\$ 1.414.789,97
Obras	10	Armadura CA 50	R\$ 966.822,91	R\$ 3.500.640,00	R\$ 5.189.760,00	R\$ 4.247.280,00	R\$ 5.487.192,00
Obras	11	Execução de estaca pré-moldada de concreto 35 x 35cm	R\$ 785.669,28	R\$ 2.253.022,20	R\$ 3.340.144,80	R\$ 5.485.767,69	R\$ 3.531.572,91
Obras	12	Geogrelhas	R\$ 38.520.209,75	-	R\$ 4.595.292,00	-	R\$ 5.415.069,40
Obras	13	Execução de geodrenos em malha quadrada	R\$ 2.375.450,00	-	-	R\$ 875.140,00	-
Obras	14	Colchão Reno e=23cm	R\$ 13.004.217,60	R\$ 7.327.150,24	R\$ 27.078.886,40	R\$ 10.695.689,60	R\$ 38.839.880,80
Obras	15	Bombearmento para construção	-	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60	R\$ 55.713,60
Obras	16	Pontes	-	-	-	-	-
Obras	16.1	Dique Principal	R\$ 6.899.620,00	-	-	-	-
Obras	16.2	Arroios	-	-	R\$ 34.527.669,80	R\$ 46.917.416,00	R\$ 111.694.991,20
Obras	17	Rede interceptora de drenagem pluvial φ 1 m	-	-	R\$ 4.977.170,64	R\$ 2.531.111,78	R\$ 4.009.037,45
Obras	18	Rede interceptora de esgotamento cloacal φ 1 m	-	-	R\$ 3.402.116,64	R\$ 2.531.111,78	R\$ 4.009.037,45
Obras	19	Estações de Bombearmento	-	-	-	-	-
Obras	19.1	Drenagem Pluvial	-	R\$ 54.000.537,63	R\$ 27.000.268,82	R\$ 26.568.264,52	R\$ 46.332.461,29
Obras	19.2	Esgoto Sanitário	-	-	R\$ 216.840,91	R\$ 50.483,90	R\$ 126.139,78
Obras	20	Comportas	-	R\$ 2.284.800,00	R\$ 544.000,00	R\$ 761.600,00	R\$ 761.600,00
Obras	21	Reservatórios	-	-	-	-	-
Obras	21.1	Dragagem In line	-	-	-	-	-
Obras	21.2	Dragagem off line	-	R\$ 7.462.180,12	R\$ 4.636.800,00	-	R\$ 806.400,00
Obras	21.3	Aterro Compactado	-	-	-	-	-
Obras	21.4	Concreto Massa fck 15 MPa	-	-	-	-	-
Obras	22	Relecação	R\$ 198.649,30	R\$ 61.183.983,01	R\$ 43.305.546,41	R\$ 55.820.452,03	R\$ 94.755.713,94
Obras	23	Indenização	R\$ 8.734.800,74	R\$ 7.971.778,41	R\$ 11.400.000,00	-	R\$ 1.200.000,00
Obras	24	Canteiro de Obras (1%)	R\$ 1.230.762,07	R\$ 1.648.833,95	R\$ 1.986.612,40	R\$ 1.799.072,07	R\$ 3.464.605,88
	25	Custo total da solução (R\$)	R\$ 124.306.969,04	R\$ 166.532.228,94	R\$ 200.647.851,98	R\$ 181.706.278,69	R\$ 349.925.193,67
		BDI (21,24%)	R\$ 26.402.800,22	R\$ 35.371.445,43	R\$ 42.617.603,76	R\$ 38.594.413,59	R\$ 74.324.111,14
		Custo total da solução com BDI (R\$)	R\$ 150.709.769,26	R\$ 201.903.674,37	R\$ 243.265.455,74	R\$ 220.300.692,29	R\$ 424.249.304,81
Projetos e Estudos	29	Custos de Projetos, EIA e Programas Ambientais e Social (5%)	R\$ 6.215.348,45	R\$ 8.326.611,45	R\$ 10.032.392,60	R\$ 9.085.313,93	R\$ 17.496.259,68
		Custo total da solução com BDI e item 29 (R\$)	R\$ 142.817.267,83	R\$ 210.230.285,82	R\$ 156.925.117,72	R\$ 210.230.285,82	R\$ 253.297.848,34
		Custo total da Alternativa (R\$)			R\$ 1.291.584.822,58		



5.4.5.13 Custos de Operação e Manutenção

Os custos de operação e manutenção foram divididos da seguinte forma:

- Custo de Operação Anual:
 - Energia para Bombeamento orçado com base na potência específica do conjunto motor-bomba, igual a 70 kW/(m³/s);
 - Operação do Sistema (1,5%) composto por despesas de empregados (0,1%), materiais de operação (1%) e despesas administrativas geral (0,4%);
- Custos de Manutenção (1%)
 - Obras civis e estações de Bombas (1%)
 - Estradas (10%)

Os custos acima descritos foram aplicados sobre o custo das obras sem BDI.



Quadro 48. Orçamento da Alternativa 1 - Solução Diques Internos (operação e manutenção)

Serviço	Item	Descrição	Alternativa 1 - Solução Dique Interno (DI)			
			Dique Principal DI	DI Santo Agostinho	DI Feijó	DI São João
		Custo total da solução (R\$)	R\$ 1.243.306,969,04	R\$ 179.336,285,18	R\$ 290.171,828,97	R\$ 181.706,278,69
		Custo total da solução com BDI (R\$)	R\$ 1.507.709,769,26	R\$ 217.427,312,16	R\$ 351.804,325,44	R\$ 220.300,692,29
O&M	26	Energia para Bombeamento (R\$/ano)	-	R\$ 24.324,57/ano	R\$ 103.204,57/ano	R\$ 19.117,71/ano
O&M	27	Operação do Sistema (1,5%) (R\$/ano)	R\$ 1.864.604,54/ano	R\$ 2.690.044,28/ano	R\$ 4.352.577,43/ano	R\$ 2.725.594,18/ano
O&M	28	Manutenção (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.243.069,69/ano	R\$ 1.793.362,85/ano	R\$ 2.901.718,29/ano	R\$ 1.817.062,79/ano
O&M	28.1	Obras civis e estações de Bombas (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.243.069,69/ano	R\$ 1.793.362,85/ano	R\$ 2.901.718,29/ano	R\$ 1.817.062,79/ano
O&M	28.2	Estrada (10%) (R\$/ano)	R\$ 104.522,81/ano	R\$ 34.825,18/ano	R\$ 55.153,00/ano	R\$ 37.819,20/ano
		Custo total de O&M (R\$/ano)	R\$ 4.455.266,73/ano	R\$ 6.395.919,73/ano	R\$ 10.314.371,59/ano	R\$ 6.416.656,67/ano
		Custo total O&M por Alternativa (R\$/ano)		R\$ 43.179.361,24/ano		

Quadro 49. Orçamento da Alternativa 2 - Solução Corta Rio (operação e manutenção)

Serviço	Item	Descrição	Alternativa 2 - Solução Corta Rio (CR)	
			Dique Principal CR	CR Feijó
O&M	26	Energia para Bombeamento (R\$/ano)	-	R\$ 288.000,00/ano
O&M	27	Operação do Sistema (1,5%) (R\$/ano)	R\$ 1.696.973,24/ano	R\$ 5.203.086,11/ano
O&M	28	Manutenção (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.131.315,49/ano	R\$ 3.468.724,07/ano
O&M	28.1	Obras civis e estações de Bombas (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.131.315,49/ano	R\$ 3.468.724,07/ano
O&M	28.2	Estrada (10%) (R\$/ano)	R\$ 95.020,74/ano	R\$ 55.153,00/ano
		Custo total de O&M (R\$/ano)	R\$ 4.054.624,97/ano	R\$ 12.483.687,25/ano
		Custo total O&M por Alternativa (R\$/ano)		R\$ 49.828.311,96/ano

Quadro 50. Orçamento da Alternativa 3 - Solução Dique Interna com Reservatórios de Amortecimento (operação e manutenção)

Serviço	Item	Descrição	Alternativa 3	
			Dique Principal CR	CR Feijó
O&M	26	Energia para Bombeamento (R\$/ano)	-	R\$ 19.428,57/ano
O&M	27	Operação do Sistema (1,5%) (R\$/ano)	R\$ 1.864.604,54/ano	R\$ 3.009.717,78/ano
O&M	28	Manutenção (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.243.069,69/ano	R\$ 2.006.478,52/ano
O&M	28.1	Obras civis e estações de Bombas (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.243.069,69/ano	R\$ 2.006.478,52/ano
O&M	28.2	Estrada (10%) (R\$/ano)	R\$ 104.522,81/ano	R\$ 55.153,00/ano
		Custo total de O&M (R\$/ano)	R\$ 4.455.266,73/ano	R\$ 7.097.256,39/ano
		Custo total O&M por Alternativa (R\$/ano)		R\$ 36.208.552,55/ano

Quadro 51. Orçamento da Alternativa 4 - Solução Mista (operação e manutenção)

Serviço	Item	Descrição	Alternativa 4 Solução Mista	
			Dique Principal CR	CR Feijó
O&M	26	Energia para Bombeamento (R\$/ano)	R\$ 1.864.604,54/ano	R\$ 3.009.717,78/ano
O&M	27	Operação do Sistema (1,5%) (R\$/ano)	R\$ 1.243.069,69/ano	R\$ 1.665.322,29/ano
O&M	28	Manutenção (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.243.069,69/ano	R\$ 1.665.322,29/ano
O&M	28.1	Obras civis e estações de Bombas (1%) (R\$/ano)	R\$ 1.243.069,69/ano	R\$ 1.665.322,29/ano
O&M	28.2	Estrada (10%) (R\$/ano)	R\$ 104.522,81/ano	R\$ 55.153,00/ano
		Custo total de O&M (R\$/ano)	R\$ 4.455.266,73/ano	R\$ 7.097.256,39/ano
		Custo total O&M por Alternativa (R\$/ano)		R\$ 36.327.622,49/ano



6 CONCLUSÕES

O estudo de concepção do projeto de defesa contra cheias de Alvorada e Porto Alegre foi elaborado considerando a influência das cheias provenientes do rio Gravataí e das bacias hidrográficas adjacentes dos arroios Feijó, Santo Agostinho, São João e Águas Belas, verificando a influência do Lago Guaíba sobre as futuras obras.

Devido aos inúmeros fatores que podem provocar essas cheias no rio Gravataí e seus afluentes em Alvorada e Porto Alegre, o estudo de concepção realizou diversas modelagens hidrológicas, empregando um modelo que transforma chuva-vazão para determinar as vazões de cheias nos arroios Feijó, Santo Agostinho, São João e Águas Belas (HEC-HMS), e, outro modelo hidrodinâmico em regime não permanente para propagar as cheias nos cursos de águas e rio Gravataí (HEC-RAS). Do ponto de vista dos estudos hidrológicos, as soluções foram estrategicamente divididas por bacias hidrográficas, e, dessa forma, flexibilizou misturar soluções de cada alternativa.

Visto o efeito simultâneo dos fatores de cheias, de difícil reprodução, os modelos hidrológicos permitiram isolar as cheias de cada arroio, tendo claramente, as consequências e manchas de inundações para diferentes tempos de retorno (Tr 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos e 50 anos). No rio Gravataí, as cheias simuladas foram Tr 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos e 50 anos, 100 anos e 200 anos, sem efeito de remanso do Lago Guaíba, bem como, também foi verificado o efeito da cheia de julho de 2015 (Tr 259 anos) no dimensionamento das obras dos diques de proteção. As obras foram dimensionadas para um grau de proteção da cheia Tr 200 anos do rio Gravataí e Tr 25 anos dos arroios internos.

As alternativas estruturais elencadas para proteção das cheias do rio Gravataí são composta por sistema de diques, tendo um dique principal, na margem esquerda do rio Gravataí. A elevação do coroamento do dique principal é igual para todas as alternativas. Em função da entrada ou não do dique principal para os arroios, haverá alterações do traçado do mesmo, e, por conseguinte, custos de implantação diferentes.

Em todas as soluções, o dique principal protege a ETE Alvorada de inundações futuras oriundas das cheias do rio Gravataí e o arroio Santo Agostinho deixa de ser um afluente do arroio Feijó e será desviado diretamente para o rio Gravataí.

O dique principal se estende desde a av. Assis Brasil até o arroio Águas Belas. No trecho final do dique principal junto ao arroio Águas Belas, região sujeita a remanso do próprio arroio Águas Belas/rio Gravataí, a proteção dos empreendimentos localizados no final da rua 117, perto da pista de corrida de cavalos (pradinho), consistiu num fechamento de menor extensão numa elevação de coroamento adequada a proteção da cheia Tr 200 anos do rio Gravataí. Quanto à rua Henrique Dias, atualmente suscetível a inundações, considerou inviável economicamente a construção de um dique para proteger algumas propriedades, sendo, portanto, uma área sujeita a remoção das residências e/ou convívio das cheias. As manchas de inundações delimitadas neste estudo indicou zonas de suscetibilidade à inundações e risco às perdas de vidas humanas.



Com anuência da Fiscalização, considerou a utilização do dique principal como via rodoviária perimetral com a previsão de três pontes, uma sobre o arroio Feijó, São João e outra sobre o arroio Águas Belas. Logo, essa perimetral se estenderá da av. Assis Brasil até a pista de corrida de cavalos (pradinho). No estudo de concepção não se aprofundou numa ligação viária até a RS-118, passando pelo distrito industrial de Alvorada, por questões econômicas e ambientais de minimização do comprimento do dique, e, desnecessidade de proteção de áreas desocupadas e factíveis de possibilitarem o amortecimento das cheias do rio Gravataí. Essa região deverá ser incluída no plano de restrição a ocupação urbana por razões já óbvias.

As obras foram concebidas de maneira a permitir sua implantação gradual e graus de proteção elevado mesmo em fases intermediárias de construção.

As interferências dos projetos com outros serviços públicos, uso e ocupação do solo e com o meio ambiente na área de influência foram amplamente discutidos e avaliados junto a Fiscalização, principalmente, a localização e emprego de reservatórios de amortecimentos das águas pluviais internas, e, traçado do dique principal. Essa última definição foi debatida diversas vezes, que culminou na incorporação e proteção da ETE Alvorada, e, desvio dos diques internos para preservação das linhas de transmissão novas da CEEE, hoje, em processos de licitação para construção. As principais interferências com o traçado com os diques foram identificadas e foram contabilizadas nos custos inerentes a implantação das obras.

Por fim, é relevante mencionar que todas as soluções de implantação do dique avaliaram os efeitos de aumento do nível d'água a montante e na margem direita do rio Gravataí (principalmente nos municípios de Cachoeirinha e Gravataí). Segundo os resultados da modelagem hidrodinâmica, os níveis de águas não sofreram alterações significativas com a implantação do dique para as cheias estudadas.

Resumindo, foram estudadas cinco alternativas, a saber:

- Solução Dique Interno, onde os Diques Internos avançam do dique principal para montante dos arroios Santo Agostinho, Feijó, São João e Águas Belas. Essa alternativa priorizou o escoamento das cheias dos arroios direto para o rio Gravataí;
- Solução Corta Rio, onde cria de um *polder* único protegido somente pelo dique principal localizado às margens do rio Gravataí. Como o próprio nome da Solução diz, nesta alternativa haverá em cada saída dos arroios, junto ao dique principal, comportas que interromperão os fluxos dos arroios no momento da elevação perigosa do N.A. do rio Gravataí fora da calha. Os arroios serão bombeadas integralmente para cheias até Tr 25 anos. Reservatórios de amortecimentos foram empregados para minimizar os bombeamentos;
- Solução Dique Interno com Reservatórios de Amortecimento das Cheias Internas oriundas dos arroios Feijó, Santo Agostinho, São João e Águas Belas. Esta solução apresenta características similares da alternativa 1 com a inserção de bacias de amortecimentos selecionados para Alternativa 2;
- Solução de Mista de Menor Custo de Implantação.



Para cada arroio investigou as quatro alternativas. Essa separação permitiu agrupar distintas soluções modeladas que culminou na alternativa 4 de menor custo. Os custos totais das Alternativas e seus respectivos custos de O&M estão no Quadro 52. A diferença dos custos entre a Alternativa 4 e a Alternativa 3 pode ser considerada insignificante. A escolha dentre essas soluções, caso seja verificadas suas viabilidades, passa apenas por um critério de operacionalidade técnica, inclinando para a adoção da Alternativa 3.

Quadro 52. Custo total das Alternativas e seus respectivos custos de O&M

Alternativa	Custo total da Alternativa (R\$)	Custo total O&M por Alternativa (R\$/ano)
Alternativa 1. Solução Dique Interno	R\$ 1.539.755.696,24	R\$ 43.179.361,24
Alternativa 2. Solução Corta Rio	R\$ 1.728.839.687,04	R\$ 49.828.311,96
Alternativa 3. Solução Dique Interno com Reservatórios de Amortecimento das Cheias Internas oriundas dos arroios Feijó, Santo Agostinho, São João e Águas Belas	R\$ 1.292.679.178,27	R\$ 36.208.552,55
Alternativa 4. Solução de Mista de Menor Custo de Implantação	R\$ 1.291.584.822,58	R\$ 36.327.622,49



7 EQUIPE TÉCNICA

A Consultora utilizou no presente trabalho uma equipe técnica qualificada e compatível com os serviços programados, conforme previsto contratualmente. Para tanto, foram mobilizados diversos grupos de trabalho, integrados por especialistas e consultores, orientados e coordenados por uma equipe central. Foram privilegiados os consultores com experiência em trabalhos similares, bem como aqueles com experiência direta na área de estudo.

Quadro 53. Equipe Técnica

	Nome	Formação	Nº do Registro profissional
EQUIPE TÉCNICA	Adriano Peixoto Panazzolo	Eng. Civil	RS 064125
	Athos Roberto Albernaz Cordeiro	Eng. Civil	RS 031064
	Daniel Irigoyen Bolsoni	Eng. Civil	RS 065329
	João Paulo Abreu Lima da Rosa	Eng. Civil	RS 053445
	Roberto Lins Portella Nunes	Arquiteto	A4519-5
	Jaime Gomes	Eng. Civil	MG 72016
	Alexandre Roberto Mangoni Galves	Geólogo	RS219289
	Chaiana Teixeira da Silva	Geógrafa	RS 148333
	Daniela Viegas	Geógrafa	RS 150227
	Glauber Candia Silveira	Eng. Civil	RS069355
	Letícia Coradini Frantz	Eng. Civil	RS 128158



8 CRONOGRAMA

Para o desenvolvimento dos trabalhos, o prazo de atendimento será de 180 (cento e oitenta) dias a contar da emissão da ordem de serviço. Destaca-se que para a execução do trabalho neste período deve respeitar as etapas predecessoras. É apresentado a seguir o Cronograma físico-financeiro do Projeto com os aditivos de prazo solicitados pela consultora.



9 REFERÊNCIAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>. Acessado em: 29/05/2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de Dados Geográfico**. Marco Casanova (PUC-Rio), Gilberto Câmara (INPE), Clodoveu Davis (PUC Minas), Lúbia Vinhas (INPE), Gilberto Ribeiro de Queiroz (INPE). São José dos Campos, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, maio de 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/cap1.pdf>. Acessado em 29/05/2015.

WISEU, T. (2006) Segurança dos vales a jusante de barragens. Metodologias de apoio à gestão do risco, Tese de doutoramento, IST, Lisboa, 1- 377. Disponível em: http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/bitstream/123456789/15575/1/Tpi54_Print.pdf

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 240 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1). 1995.



10 ANEXOS

Anexo 1. Memórias de cálculo

Anexo 2. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio Águas Belas

Anexo 3. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário futuro arroio Águas Belas

Anexo 4. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio Feijó

Anexo 5. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário futuro arroio Feijó

Anexo 6. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio São João

Anexo 7. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário futuro arroio São João

Anexo 8. Mapa áreas de risco edificações

Anexo 9. Mapa áreas de risco pessoas

Anexo 10. Seções tipo selecionadas para a Alternativa do Corta Rio

Anexo 11. Seções tipo selecionadas para a Alternativa dos Diques Internos

Anexo 12. Seções transversais

Anexo 13. Mapas da residências a serem reassentadas

Anexo 14. Mapas das áreas a serem indenizadas



Anexo 1. Memórias de cálculo

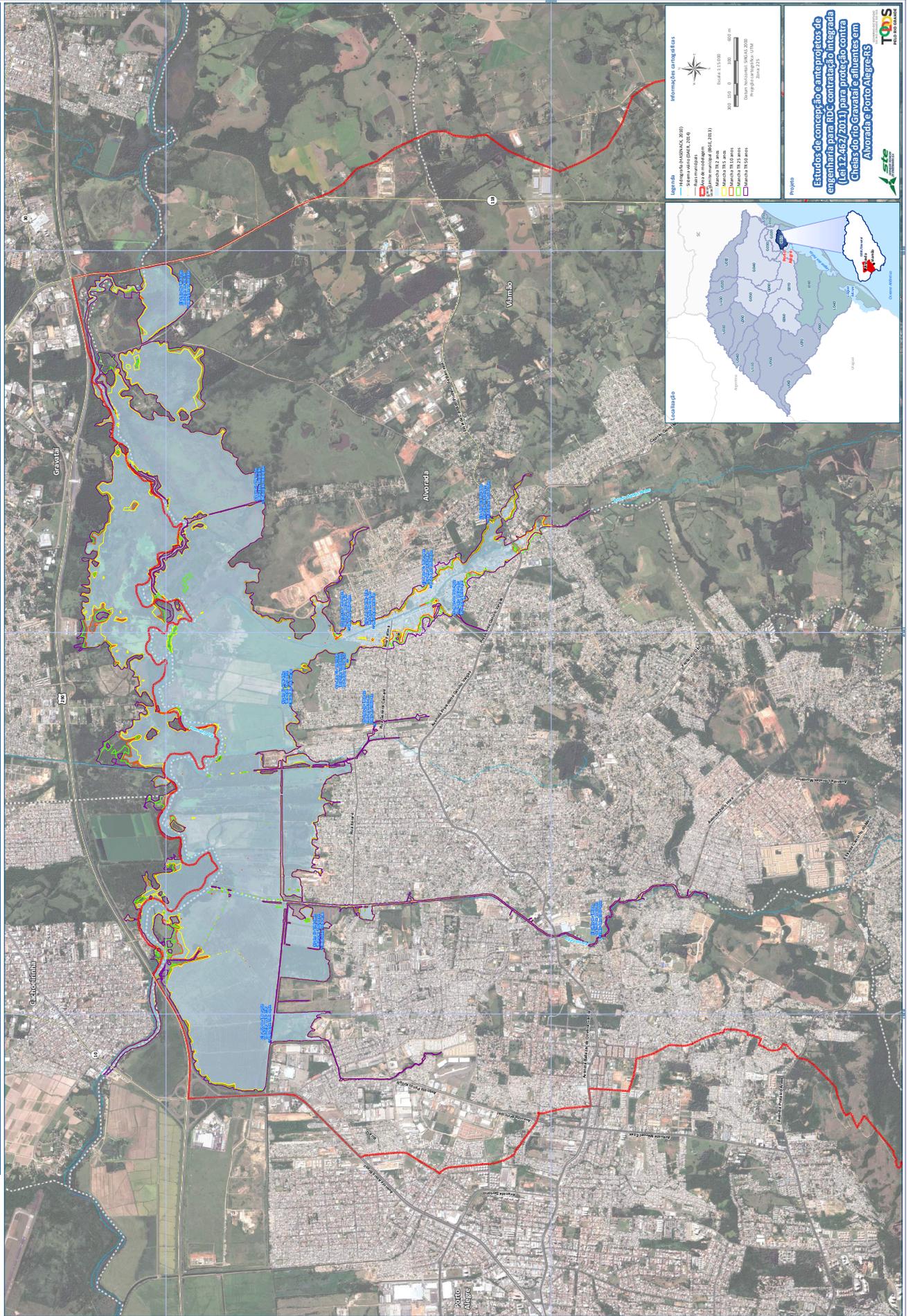
Anexo em meio digital



Anexo 2. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio Águas Belas



Mapa das Manchas de Inundação Individuais dos Arroios - Modelagem do Cenário Atual Arroio Águas Belas



Informações cartográficas

- Imagem (Aerofotoc, 2010)
 - Escala (1:10,000)
 - Datum (SAD 56)
 - Sistema de projeção (UTM)
 - Zona (18S)
 - Datum (SAD 56)
 - Escala (1:10,000)
 - Datum (SAD 56)
 - Escala (1:10,000)
 - Datum (SAD 56)

Localização

- Município: Alvorada
 - Estado: RJ
 - País: Brasil

Projeto

Estudo de concepção e anteprojeto de engenharia para RDC, contrato de integração (Lei 12.462/2011) para proteção contra cheias do rio Gravata e Arroio Águas Belas em Alvorada e Porto Alegre-RS.

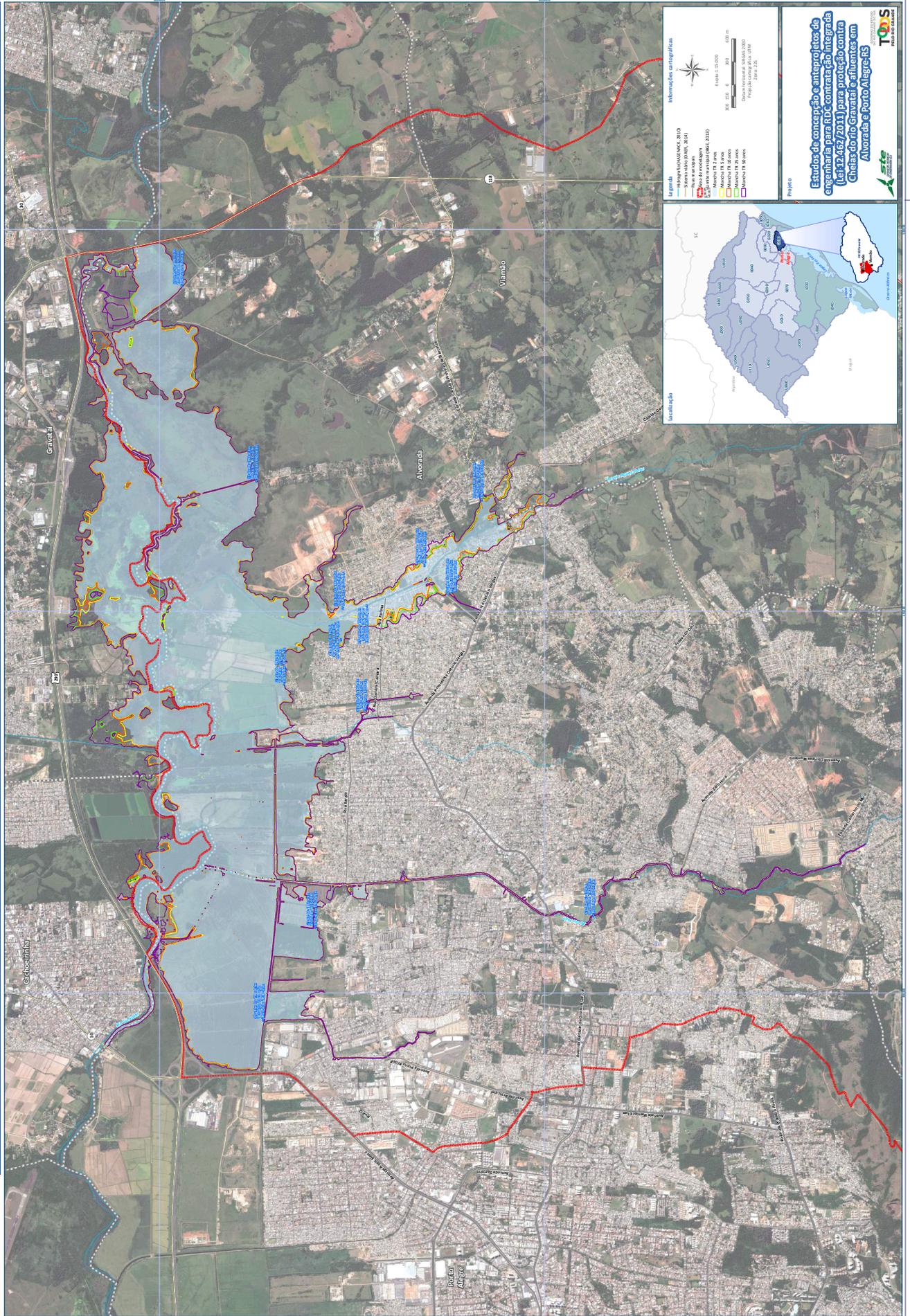
TOS
 TOS Engenharia e Projetos



Anexo 3. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário futuro arroio Águas Belas



Mapa das Manchas de Inundação Individuais dos Arroios - Modelagem do Cenário Futuro Arroio Águas Belas



Informações cartográficas

Legenda

- Áreas de inundação: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100
- Manchas de inundação: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100
- Manchas de inundação: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100
- Manchas de inundação: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100
- Manchas de inundação: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100

Escala: 1:10.000

Projeto: Estudos de concepção e anteprojetos de engenharia para RDC contratada integrada (Lei 12.442/2011) para proteção contra Cheias do Gravataí e afluentes em Alvorada e Porto Alegre.

TOUS TOUS CONSULTORIA

EST ESTUDO

Projeto

Estudos de concepção e anteprojetos de engenharia para RDC contratada integrada (Lei 12.442/2011) para proteção contra Cheias do Gravataí e afluentes em Alvorada e Porto Alegre.

TOUS TOUS CONSULTORIA

EST ESTUDO



Anexo 4. Mapa das manchas de inundação individuais dos arroios – Modelagem do cenário atual arroio Feijó

