



INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO  
CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROFº PARIGOT DE SOUZA



**PROJETO HG-203**

**ANÁLISE HIDRÁULICA DE  
ALTERNATIVAS ESTRUTURAIS PARA  
CONTROLE DE ENCHENTES NO RIO  
IGUAÇU EM UNIÃO DA VITÓRIA / PORTO  
UNIÃO**

**RELATÓRIO TÉCNICO**

**ABRIL/2005**



**TIPO DE DOCUMENTO:** Relatório Técnico

Título: PROJETO HG-203

**ANÁLISE HIDRÁULICA DE ALTERNATIVAS ESTRUTURAIS PARA  
CONTROLE DE ENCHENTES NO RIO IGUAÇU EM UNIÃO DA  
VITÓRIA / PORTO UNIÃO**

**AUTOR:** Giancarlo Castanharo Pesquisador (CREA 69.103/D – PR)

**COLABORADORES:** Henrique Luiz Scremin Técnico Administrativo  
Cynthia Lopez Pereira Estagiária  
Roberto Caldeira da Silva Estagiário  
Hylltton Wyktor Bazan Estagiário

**OBJETIVO:** A finalidade deste projeto é reavaliar os benefícios hidráulicos de algumas antigas propostas de soluções estruturais para as cheias nas cidades de União da Vitória (PR) e Porto União (SC). Além desta reavaliação, este estudo tem como objetivo a inclusão de novas soluções estruturais, no trecho do rio Iguaçu entre os municípios de Porto Vitória e União da Vitória, a fim de sanar as dúvidas existentes nas comunidades destas cidades, atingidas pelas cheias do rio Iguaçu, quanto à possibilidade de redução dos níveis naturais de cheia.

**RESUMO:** Apresenta-se inicialmente neste relatório as antigas propostas de soluções estruturais para a questão das cheias em União da Vitória / Porto União, seguida de uma análise das variáveis do escoamento do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória. Dentre as análises realizadas neste estudo, com o uso de um modelo de escoamento em regime permanente, apresentam-se os resultados dos efeitos das estruturas das quatro pontes existentes neste trecho do rio sobre os níveis de cheia. Em seguida apresentam-se os efeitos de escavações e alargamentos na calha principal do rio Iguaçu. Além destas hipóteses investigaram-se também algumas possibilidades de duplicação de alguns trechos do rio Iguaçu a jusante de União da Vitória. O estudo termina com a simulação de combinações das soluções estruturais analisadas, nas quais foram calculados os efeitos combinados das soluções estruturais antes simuladas isoladamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** enchentes em União da Vitória, cheias no rio Iguaçu, alternativas estruturais, controle de enchentes.

**OBSERVAÇÕES:**

**TIPO DE EDIÇÃO:**

PRELIMINAR       FINAL       REVISÃO

## SUMÁRIO

1.	<i>INTRODUÇÃO</i>	1
2.	<i>ANTIGAS PROPOSTAS DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA AS CHEIAS DO RIO IGUAÇU NA REGIÃO DE UNIÃO DA VITÓRIA / PORTO UNIÃO</i>	4
2.1	O conjunto de diques proposto pela MILDNER-KAISER ENGENHARIA	4
2.2	Os estudos de proteção contra cheias da MAGNA ENGENHARIA	6
2.3	As avaliações da JICA (1995)	8
2.4	O Estudo de Tucci & Villanueva (1997)	10
3.	<i>ANÁLISE DO ESCOAMENTO DO RIO IGUAÇU NO TRECHO ENTRE UNIÃO DA VITÓRIA E PORTO VITÓRIA</i>	15
3.1	Descrição da bacia hidrográfica do rio Iguaçu	15
3.2	As características do trecho do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória	17
3.3	As relações de descarga das estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória	19
3.4	Variação longitudinal das principais variáveis do escoamento no trecho União da Vitória–Porto Vitória	23
3.5	A influência do controle natural das corredeiras de Porto Vitória sobre os níveis de escoamento em União da Vitória	28
4.	<i>O AJUSTE DO MODELO DE ESCOAMENTO PERMANENTE AO RIO IGUAÇU</i>	29
4.1	O modelo HEC-RAS	29
4.2	Modelagem do trecho em análise	30
4.3	Curvas de calibração	32
5.	<i>O EFEITO DA ESTRUTURA DAS PONTES SOBRE OS NÍVEIS DE CHEIA EM UNIÃO DA VITÓRIA E PORTO UNIÃO</i>	35
5.1	Os levantamentos de campo realizados nas pontes em análise	35
5.2	Métodos de modelagem do efeito de pontes	36
5.3	Determinação dos acréscimos de nível na régua de União da Vitória devido à existência das pontes no rio Iguaçu	41
5.3.1	Análise do efeito das pontes	42
5.3.2	Análise do efeito da retirada do aterro da “Ponte do Arco”	45
6.	<i>ESCAVAÇÕES NA CALHA PRINCIPAL DO RIO IGUAÇU</i>	47
6.1	Os benefícios da extração de areia na calha do rio Iguaçu a jusante de União da Vitória	47
6.2	Escavações na calha principal entre a curva da Ressaca e Porto Vitória	49
6.3	Simulação das escavações propostas pela JICA em 1995	50
6.4	Considerações sobre o rebaixamento das corredeiras de Porto Vitória	53
7.	<i>ALARGAMENTO DA CALHA PRINCIPAL NO TRECHO UNIÃO DA VITÓRIA – PORTO VITÓRIA</i>	55
7.1	Alargamento de seções transversais entre União da Vitória e Porto Vitória	55
7.2	Alargamento da curva da Ressaca	57

8.	<i>DUPLICAÇÕES DA CALHA PRINCIPAL DO RIO IGUAÇU NO TRECHO ENTRE UNIÃO DA VITÓRIA – PORTO VITÓRIA</i>	59
8.1	Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme TUCCI & VILLANUEVA (1997)	61
8.2	Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme o CEHPAR (2005)	62
8.3	Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta da comunidade	65
8.4	Duplicação da calha principal na região da Colônia Coronel Amazonas	67
8.5	Duplicação da calha principal entre a curva da Ressaca e Porto Vitória	70
9.	<i>COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS</i>	73
9.1	Combinação da duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR com a escavação do trecho Ponte Nova – Curva da Ressaca	73
9.2	Combinação da duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR com a escavação do trecho Ponte Férrea – Curva da Fazenda Brasil	75
9.3	Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR combinada com a duplicação na região da Colônia Coronel Amazonas	77
9.4	Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR combinada com a duplicação no trecho M3-UV7	78
9.5	Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR combinada com a duplicação na região da Colônia Coronel Amazonas e com a duplicação no trecho M3-UV7	80
9.6	Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR, combinada com a duplicação na região da Colônia Coronel Amazonas e no trecho M3-UV7, e com a escavação entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca	82
10.	<i>SINTESE DAS SOLUÇÕES ESTRUTURAIS ANALISADAS</i>	83
10.1	Análise comparativa das alternativas estruturais simuladas	83
10.1.1	Efeito da estrutura das pontes	83
10.1.2	Extração de areia na calha principal e escavações no trecho Ressaca- Porto Vitória	84
10.1.3	Avaliação das soluções propostas pela JICA e análise da retirada das corredeiras de Porto Vitória	85
10.1.4	Alargamentos da calha principal	87
10.1.5	Duplicações da calha principal	88
10.1.6	Combinações de soluções estruturais	89
10.1.7	Amortecimento de cheias a montante	90
10.2	Estimativa de custos e resultados da pré-viabilidade econômica das soluções estruturais propostas	90
11.	<i>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS</i>	97
12.	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	101

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 – Diques de proteção para as cidades de Porto União (SC) e União da Vitória (PR) propostos em 1975 pela MILDER KAISER ENGENHARIA</i>	5
<i>Figura 2.2 – Proposta de desvio do rio Vermelho e do rio Iguaçu por sua margem esquerda</i>	7
<i>Figura 2.3 – Relação entre perdas prováveis e a cota de inundação em União da Vitória e Porto União</i>	10
<i>Figura 2.4 – Traçado do canal de duplicação na “curva da Fazenda Brasil”</i>	12
<i>Figura 2.5 – Comparação de perfis da superfície livre para duplicação da calha do rio Iguaçu na “curva da Fazenda Brasil”</i>	13
<i>Figura 3.1 – Localização da bacia do rio Iguaçu</i>	15
<i>Figura 3.2 – Hipsometria da bacia do rio Iguaçu</i>	16
<i>Figura 3.3 – Mapa topográfico da região da bacia do rio Iguaçu no trecho do rio entre União da Vitória e Porto Vitória</i>	18
<i>Figura 3.4 – Curvas de descarga das estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória</i>	20
<i>Figura 3.5 – Relações de declividade e desnível no rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória</i>	20
<i>Figura 3.6 – Seção transversal da estação fluviométrica de União da Vitória com marcas de cheia</i>	21
<i>Figura 3.7 – Perfil longitudinal esquemático do trecho União da Vitória – Porto Vitória</i>	22
<i>Figura 3.8 – Variação longitudinal da declividade da linha de energia</i>	24
<i>Figura 3.9 – Variação longitudinal da declividade da linha de energia e da tensão tangencial</i>	25
<i>Figura 3.10 – Variação longitudinal da conveyance das seções transversais</i>	25
<i>Figura 3.11 – Variação longitudinal do raio hidráulico das seções transversais</i>	26
<i>Figura 3.12 – Variação longitudinal da área de escoamento para vazão de 5.000 m<sup>3</sup>/s</i>	27
<i>Figura 3.13 – Variação longitudinal da velocidade média do escoamento na calha principal</i>	27
<i>Figura 3.14 – Análise do controle de Porto Vitória sobre os níveis de União da Vitória</i>	28
<i>Figura 4.1 – Localização das seções transversais no trecho entre União da Vitória e Porto Vitória</i>	31
<i>Figura 4.2 – Representação da modelagem do trecho União da Vitória – Porto Vitória</i>	32
<i>Figura 4.3 – Curvas de calibração obtidas para o trecho União da Vitória – Porto Vitória</i>	34
<i>Figura 5.1 – Percorso realizado com ADCP na região da “Ponte Nova”</i>	36
<i>Figura 5.2 – Ilustração do efeito de contração e expansão do fluxo pelos aterros da ponte</i>	37
<i>Figura 5.3 – Localização das pontes no rio Iguaçu</i>	38
<i>Figura 5.4 – Vista longitudinal esquemática da ponte férrea</i>	39
<i>Figura 5.5 – Vista longitudinal esquemática da “ponte nova” – Domicio Scaramella</i>	39
<i>Figura 5.6 – Vista longitudinal esquemática da “ponte do Arco” – Ponte Manoel Ribas</i>	40
<i>Figura 5.7 – Vista longitudinal esquemática da ponte da BR-153 e da ponte “Banhado do Iguaçu”</i>	41
<i>Figura 5.8 – Análise do efeito da antiga ponte férrea</i>	42
<i>Figura 5.9 – Análise do efeito da ponte Nova</i>	43
<i>Figura 5.10 – Análise do efeito da “ponte do Arco”</i>	43
<i>Figura 5.11 – Análise do efeito da ponte da BR-153</i>	44
<i>Figura 5.12 – Modelagem da “ponte do Arco” considerando a retirada de parte do aterro de aproximação</i>	45
<i>Figura 5.13 – Efeito da retirada de parte do aterro de aproximação da ponte do Arco</i>	46

<i>Figura 6.1 – Diminuição do nível do escoamento em União da Vitória considerando rebaixamentos na cota do fundo do rio Iguazu</i>	47
<i>Figura 6.2 – Perfil original da seção transversal M4 e perfil da calha principal após rebaixamento de 2 metros</i>	48
<i>Figura 6.3 – Diminuição de níveis em União da Vitória devido ao rebaixamento da calha principal entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória</i>	49
<i>Figura 6.4 – Perfis de escavação na seção das corredeiras de Porto Vitória</i>	50
<i>Figura 6.5 – Perfis de escavação de uma seção na região de União da Vitória</i>	51
<i>Figura 6.6 – Rebaixamentos de nível das cheias em União da Vitória para os cenários de escavação da JICA</i>	52
<i>Figura 6.7 – Perfil longitudinal do rio Iguazu calculado para hipótese de retirada das corredeiras</i>	53
<i>Figura 6.8 – Rebaixamento de níveis em União da Vitória para combinação de retirada das corredeiras e escavações da JICA(1995)</i>	54
<i>Figura 7.1 – Exemplo do alargamento da calha principal da seção transversal “UV8”</i>	55
<i>Figura 7.2 – Rebaixamentos de nível de cheia para alargamentos no trecho União da Vitória – Porto Vitória</i>	56
<i>Figura 7.3 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória com o alargamento da curva da Ressaca</i>	58
<i>Figura 8.1 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme TUCCI &amp; VILLANUEVA</i>	61
<i>Figura 8.2 – Rebaixamentos de nível em União da Vitória devido à duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta de TUCCI &amp; VILLANUEVA</i>	62
<i>Figura 8.3 – Locação da duplicação da calha principal na curva da Fazenda Brasil conforme a proposta do CEHPAR</i>	63
<i>Figura 8.4 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR</i>	64
<i>Figura 8.5 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta do CEHPAR</i>	64
<i>Figura 8.6 – Locação da retificação da calha principal na curva da Fazenda Brasil conforme a proposta da comunidade</i>	65
<i>Figura 8.7 – Retificação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta da comunidade</i>	66
<i>Figura 8.8 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à retificação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta da comunidade</i>	67
<i>Figura 8.9 – Locação da duplicação da calha principal na região da Colônia Coronel Amazonas</i>	68
<i>Figura 8.10 – Duplicação da calha principal da região da Colônia Coronel Amazonas</i>	69
<i>Figura 8.11 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à duplicação da calha principal na região da Colônia Coronel Amazonas</i>	69
<i>Figura 8.12 – Locação da duplicação da calha principal no trecho entre a curva da Ressaca e Porto Vitória</i>	70
<i>Figura 8.13 – Duplicação da calha principal no trecho entre a curva da Ressaca e Porto Vitória</i>	71
<i>Figura 8.14 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à duplicação da calha principal no trecho entre as seções transversais M3-UV7</i>	71
<i>Figura 9.1 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil em associação com um rebaixamento de 2 m na calha principal entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca</i>	74
<i>Figura 9.2 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada a um rebaixamento de 2 m na calha principal entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca</i>	75
<i>Figura 9.3 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil em associação com um rebaixamento de 3 m na calha principal entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação</i>	76
<i>Figura 9.4 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada a um rebaixamento de 3 m na calha principal entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação</i>	76

<i>Figura 9.5 – Combinação das duplicações da curva da Fazenda Brasil com a duplicação no trecho da Colônia Coronel Amazonas</i>	77
<i>Figura 9.6 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada à duplicação da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas</i>	78
<i>Figura 9.7 – Combinação das duplicações da curva da Fazenda Brasil com a duplicação no trecho “M3-UV7”</i>	79
<i>Figura 9.8 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada a duplicação da calha principal no trecho “M3-UV7”</i>	79
<i>Figura 9.9 – Combinação das duplicações da curva da Fazenda Brasil com as duplicações nos trechos da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7”</i>	81
<i>Figura 9.10 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada à duplicação da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7”</i>	81
<i>Figura 9.11 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada à duplicação da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7”, e com a escavação de 3 m no trecho entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação da curva da Fazenda Brasil</i>	82
<i>Figura 10.1 – Efeito das pontes sobre os níveis de enchente em União da Vitória e Porto União</i>	83
<i>Figura 10.2 – Resumo dos rebaixamentos de níveis obtidos em União da Vitória para extração de areia a jusante das cidades e escavações entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória</i>	85
<i>Figura 10.3 – Resumo das simulações realizadas considerando escavação em todo o trecho União da Vitória – Porto Vitória e retirada das corredeiras de Porto Vitória</i>	86
<i>Figura 10.4 – Resumo dos rebaixamentos obtidos em União da Vitória e Porto União considerando alargamentos da calha principal do rio Iguaçu no trecho União da Vitória – Porto Vitória</i>	87
<i>Figura 10.5 – Resumo dos benefícios obtidos com a duplicação da calha principal na curva da Fazenda Brasil, região da Colônia Coronel Amazonas e trecho Curva da Ressaca – Porto Vitória</i>	88
<i>Figura 10.6 – Comparação dos rebaixamentos obtidos com a combinação de soluções estruturais propostas no nono capítulo</i>	89
<i>Figura 10.7 – Relação Benefício / Custo em função da taxa de juros para as 25 alternativas analisadas</i>	95

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 – Cenários de medidas de contenção de cheias contemplados pela JICA</i> _____	9
<i>Tabela 4.1 - Calibração do modelo HEC-RAS no trecho entre UV e PV</i> _____	33
<i>Tabela 5.1 – Efeito da estrutura das pontes no nível da cheia de 1983 (em cm)</i> _____	44
<i>Tabela 10.1 – Custos unitários básicos utilizados no orçamento preliminar</i> _____	91
<i>Tabela 10.2 – Estimativa preliminar dos custos de execução das alternativas estruturais analisadas</i> _____	92
<i>Tabela 10.3 – Resumo do estudo de pré-viabilidade econômica das soluções estruturais propostas</i> _____	94

## 1. INTRODUÇÃO

O Projeto HG-203 – *Análise Hidráulica de Alternativas Estruturais para Controle de Enchentes no Rio Iguaçu em União da Vitória / Porto União* foi desenvolvido pelo Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza – CEHPAR, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, para a Companhia Paranaense de Energia – COPEL. O objetivo deste estudo é responder a questões das comunidades das cidades de União da Vitória (PR) e Porto União (SC) quanto ao benefício da implantação de soluções estruturais de controle de enchentes que visem diminuir os níveis de cheia nestas cidades.

Observando-se a série histórica de vazões do posto fluviométrico de União da Vitória, instalado em 1930, encontram-se vários anos consecutivos de vazões baixas neste trecho do rio Iguaçu. Do início da década de 1940 até o final da década de 1970 observam-se cheias sempre inferiores a  $2.700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Durante a década de 1960 a maior vazão registrada foi de  $1570 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este longo período, sem a existência de grandes cheias na região, favoreceu o crescimento da urbanização dos municípios de Porto União e União da Vitória em direção a calha principal do rio, de forma que a planície de inundação do rio foi ocupada pela expansão destas cidades.

O fenômeno “El Niño” de 1983 provocou a maior cheia já registrada nesta região, durante a qual o rio Iguaçu escoou parte da cheia por suas planícies de inundação, que há algumas décadas não eram utilizadas por este processo natural de escoamento de cheias. Isto ocasionou a inundação de grande parte dos municípios de Porto União e União da Vitória. Menos de 10 anos depois, em 1992, uma nova cheia, menos severa, mas de proporções semelhantes, causou grande inundação nestes municípios.

A intensidade destes fenômenos, aliada a frequência dos mesmos, demonstrou a suscetibilidade destes municípios diante dos processos naturais do rio Iguaçu. Por este motivo, surgiu o interesse da comunidade local, em conhecer e estudar possíveis soluções estruturais ou intervenções no rio Iguaçu, que resultem na diminuição ou eliminação do efeito das cheias na região. Com objetivo de sanar estas dúvidas, e confirmar os resultados de estudos anteriores, foram realizadas neste projeto diversas simulações computacionais com o uso de um modelo de escoamento em regime permanente, ajustado no trecho do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória.

Estudos anteriores a este presente projeto analisaram diversas opções de intervenções no leito principal do rio Iguaçu. A idéia mais antiga remonta à década de 1970, quando a MILDER KAISER ENGENHARIA (1975) e (1976) sugeriu a construção de um dique para proteção das cidades de Porto União e União da Vitória. Após as cheias de 1983 e 1992, outras soluções foram apontadas por TUCCI & VILLANUEVA (1997), em estudo realizado para CORPRERI - Comissão Regional Permanente de Prevenção Contra Enchentes do Rio Iguaçu. Neste estudo foram analisadas soluções estruturais e não-estruturais para questão das cheias nestes municípios. Em 1995, a JICA – Japan International Cooperation Agency, realizou um plano de utilização dos recursos hídricos no estado do Paraná. Este estudo analisou também as questões das cheias em União da Vitória (PR) e Porto União (SC), e foram apontadas soluções estruturais, como implantação de diques e escavações na calha principal, e também soluções não estruturais, como o zoneamento das cidades.

Apesar das conclusões destes estudos anteriores inviabilizarem economicamente as soluções estruturais, a comunidade destes municípios não se convenceu, e permaneceu com dúvidas sobre a real inexistência de uma solução estrutural que elimine as cheias, ou que ao menos rebaixe significativamente as cotas das enchentes. Esta é a razão que motivou a realização de um novo estudo, que novamente explorou a possibilidade de intervenções estruturais no leito do rio Iguaçu para solução da questão de enchentes nestes municípios. Dentre as dúvidas da comunidade, as quais este projeto visa esclarecer, estão: a confirmação dos resultados dos estudos anteriores; o efeito da duplicação e retificação do leito do rio Iguaçu em diversos trechos entre União da Vitória e Porto Vitória; a retirada das pontes existentes a jusante das cidades; e até mesmo a retirada (rebaixamento) das corredeiras de Porto Vitória.

A contratação deste presente estudo é fruto do termo de compromisso assinado em 31 de agosto de 2001, entre a COPEL, a SEC-CORPRERI, e as prefeituras dos municípios de Porto União (SC), Porto Vitória (PR) e União da Vitória (PR). Dentre uma série de compromissos assumidos neste documento, a COPEL se comprometeu, no artigo VII da primeira cláusula, a estudar os benefícios de obras de escavação e retificação do leito do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória.

Na estruturação deste relatório as diversas soluções estruturais analisadas neste projeto estão apresentadas em diferentes capítulos. No segundo capítulo estão apresentados os resultados de antigos projetos que avaliaram soluções estruturais na região das cidades de Porto União /

## União da Vitória.

No terceiro capítulo apresenta-se uma análise do escoamento do rio Iguaçu entre os postos fluviométricos de União da Vitória e Porto Vitória. No capítulo quatro apresenta-se o modelo de escoamento em regime permanente utilizado nas simulações deste projeto, e os procedimentos realizados para calibração do modelo no trecho em estudo.

A avaliação do efeito da estrutura das quatro pontes existentes na região de interesse do rio Iguaçu está apresentada no quinto capítulo. O sexto capítulo trata do efeito de escavação, ou rebaixamento do fundo da calha principal do rio Iguaçu. Nesta análise foram confirmados os resultados da JICA (1995) e analisadas outras hipóteses de rebaixamento do fundo do leito principal, incluindo a retirada das corredeiras de Porto Vitória. O sétimo capítulo apresenta os resultados de simulações que consideraram o alargamento do leito principal do rio Iguaçu em diversos pontos do trecho União da Vitória – Porto Vitória. A duplicação de trechos da calha principal é o assunto do oitavo capítulo, no qual são apresentadas detalhadamente algumas opções estruturais não contempladas em estudos anteriores. O capítulo nove apresenta o resultado de combinações de soluções estruturais simuladas nos capítulos anteriores. Os efeitos individuais de cada solução proposta foram simulados em conjuntos de soluções, para permitir a sobreposição dos efeitos de cada solução, contemplando a não-linearidade dos efeitos individuais de rebaixamento de nível que cada solução possibilita.

No décimo capítulo apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos em cada solução, acompanhada de uma estimativa preliminar dos custos de cada uma das soluções estruturais. No décimo primeiro capítulo apresentam-se as considerações finais e as recomendações deste estudo. No apêndice “A” estão sintetizados em quatro desenhos os levantamentos de dados geométricos realizados em abril de 2004, nas quatro pontes existentes no trecho analisado do rio Iguaçu. O apêndice “B” apresenta um mapa com a localização das soluções estruturais apresentadas.

## **2. ANTIGAS PROPOSTAS DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA AS CHEIAS DO RIO IGUAÇU NA REGIÃO DE UNIÃO DA VITÓRIA / PORTO UNIÃO**

Este capítulo apresenta um resumo dos resultados das soluções estruturais propostas em antigos estudos realizados na região de interesse deste projeto, o trecho do rio Iguaçu entre a cidade de União da Vitória (PR) e a sede do município de Porto Vitória (PR). Desde a década de 1970 foram analisadas algumas soluções estruturais para a questão das enchentes neste trecho do rio Iguaçu. Nos itens deste capítulo apresentam-se cronologicamente estas soluções propostas.

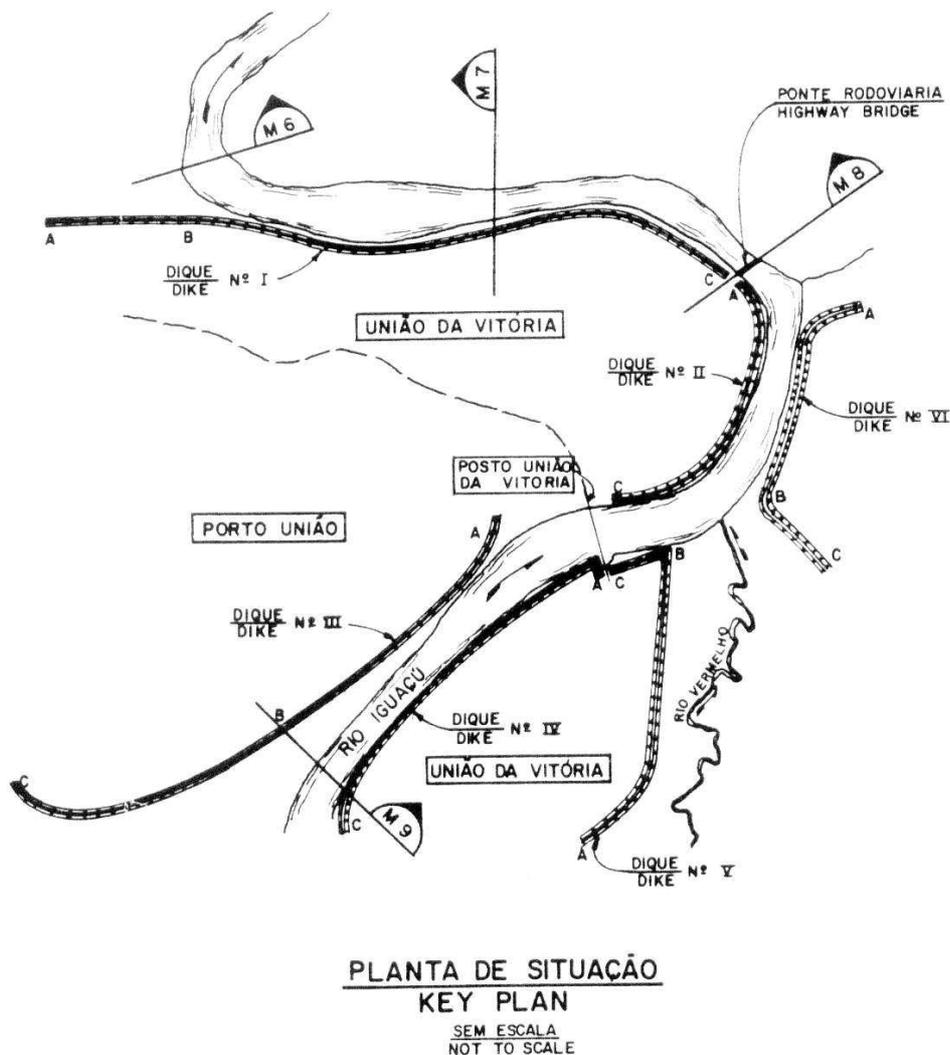
### **2.1 O conjunto de diques proposto pela MILDERS-KAISER ENGENHARIA**

O projeto do aproveitamento hidrelétrico de Foz do Areia, localizado 106 km a jusante das cidades de Porto União (SC) e União da Vitória (PR), previa inicialmente a operação do reservatório na cota 744 m. A cota de desapropriação urbana nas cidades foi estabelecida em 744,50 m, o que exigiu uma atenção especial devido à possibilidade de influência do reservatório nos níveis de cheia destas cidades.

A projetista deste aproveitamento hidrelétrico, a MILDERS KAISER Engenharia, realizou estudos de remanso. Para estes estudos foram selecionadas e levantadas algumas seções transversais entre Foz do Areia e União da Vitória. Naquela época a máxima vazão medida, em União da Vitória, atingia cerca de 1.500 m<sup>3</sup>/s. Para vazões mais altas foi realizada uma extrapolação do ramo superior da curva de descarga do posto instalado na ponte ferroviária sobre o rio Iguaçu. Neste estudo as curvas de remanso indicaram que o nível d'água em União da Vitória é muito pouco afetado pela barragem de Foz do Areia. Este relatório considerou a cheia de 1935 como sendo a maior já registrada, e concluiu que para uma cheia de 10.000 anos, o nível da água em União da Vitória após a construção da barragem em Foz do Areia seria apenas 30 cm mais alto que na condição natural do rio. Neste mesmo relatório a empresa projetista MILDERS KAISER propôs a construção de um conjunto de diques de proteção para os municípios de Porto União e União da Vitória, de forma a possibilitar a operação do reservatório de Foz do Areia na cota 744 m. Remonta então a esta data, a primeira proposta documentada de uma solução estrutural para as cheias de Porto União / União da Vitória.

Na figura 2.1 observa-se o conjunto de seis diques propostos pela MILDERS-KAISER em 1975. A cota de coroamento deste dique era variável entre a altitude 753,00 e 753,90 m. O

comprimento total destes seis diques seria de 18.550 m. Além dos diques foram planejadas seis estações de bombeamento para possibilitar a drenagem das áreas das cidades delimitadas pelos diques.



**Figura 2.1 – Diques de proteção para as cidades de Porto União (SC) e União da Vitória (PR) propostos em 1975 pela MILDER KAISER ENGENHARIA**

Fonte: MILDER KAISER ENGENHARIA (1975)

Em janeiro de 1976, a mesma empresa (MILDER-KAISER, 1976) apresentou um suplemento ao memorando do projeto anterior, tendo incluído no estudo a enchente ocorrida em outubro de 1975. Este estudo conclui que para cheia decamilenar o efeito do reservatório de Foz do Areia, quando na cota 744 m, seria de 79 cm, e não de apenas 30 cm como calculado no estudo anterior.

Este suplemento da MILDNER-KAISER (1976) afirma que tal influência do reservatório somente aconteceria em caso da ocorrência dos seguintes eventos não usuais: cheia decamilenar; casa de força de Foz do Areia fora de operação e toda descarga através do vertedouro; e a operação imprópria das comportas do vertedouro de forma que o nível do reservatório esteja na cota 744 m quando o pico da cheia atingir o reservatório (normalmente o nível do reservatório deveria ser rebaixado antes que o pico da cheia o atingisse). A MILDNER-KAISER concluiu que a ocorrência destes três eventos simultaneamente é improvável, e desta forma a influência da cheia decamilenar é puramente estatística. A proposta de construção do conjunto de diques de proteção foi posteriormente abandonada. Poucos anos mais tarde a proposta de operação deste reservatório na cota 744 m foi descartada devido aos resultados obtidos pela COPEL (1980). A cota de operação do reservatório foi então rebaixada para a cota 742 m. Este relatório recomendou iniciar a operação da usina na cota 740 m e passar lentamente para níveis mais altos até o valor limite 742 m, para confirmar empiricamente os cálculos efetuados. O relatório comenta que estas recomendações *“não serão capazes de evitar as enchentes em União da Vitória, tais como ocorreram no passado, mas apenas impedir um agravamento de suas conseqüências pelo reservatório de Foz do Areia”*.

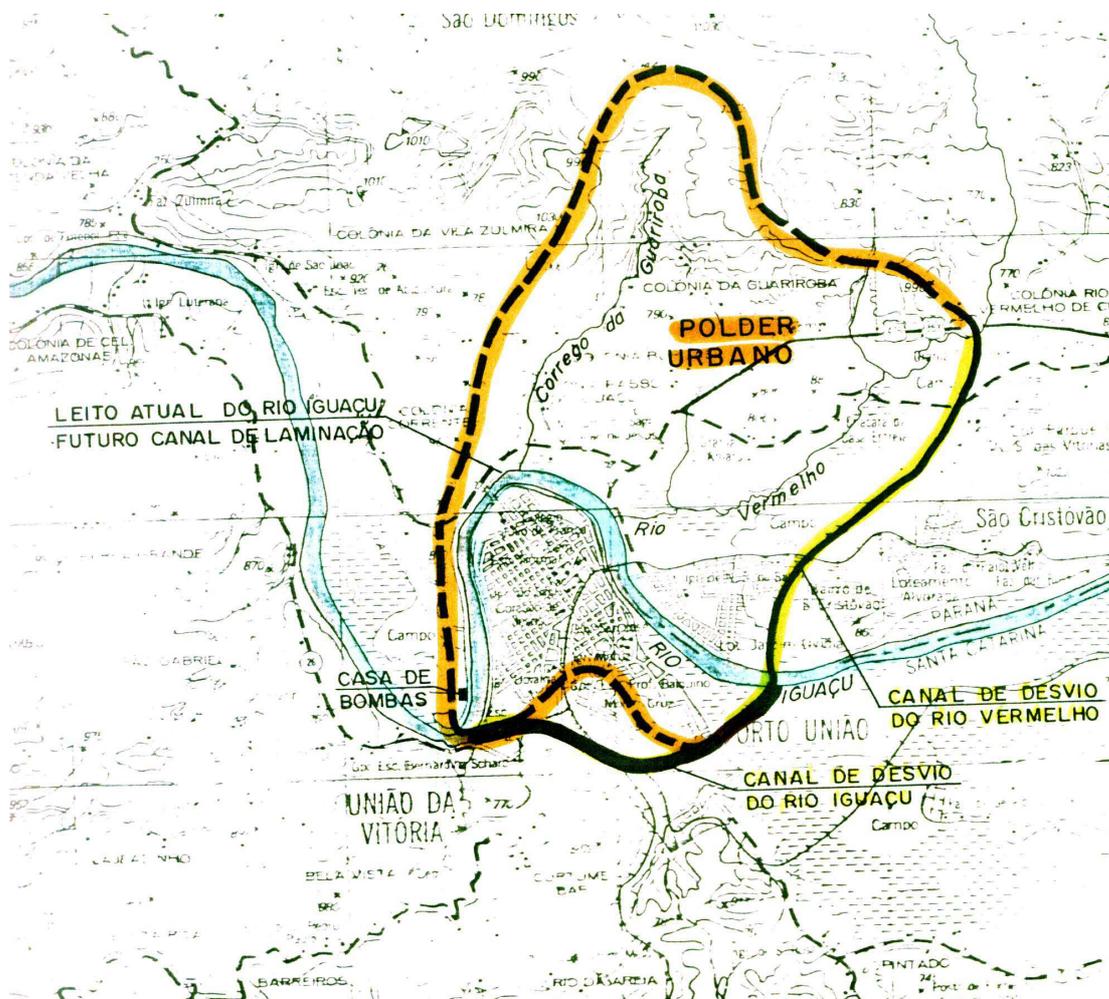
## **2.2 Os estudos de proteção contra cheias da MAGNA ENGENHARIA**

Após a enchente de 1983 o Governo Federal determinou que o Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS abrisse uma licitação para realização de um projeto intitulado “Estudos e Projetos do Sistema de Proteção contra Cheias das Cidades de União da Vitória e Porto União”. A empresa vencedora foi a MAGNA Engenharia Ltda, que entregou em 1984 um estudo básico com soluções estruturais para as cheias em União da Vitória e Porto União.

Neste estudo de 1984 foram estudadas três possíveis soluções estruturais para as cheias em União da Vitória e Porto União:

- a) construção de um sistema de 4 diques em torno das cidades (Alternativa Global 1);
- b) dragagem do leito do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória;
- c) construção de um canal de desvio do rio Iguaçu pelo Bairro São Pedro, em Porto União (SC) – (Alternativa Global 2).

A primeira alternativa proposta, de construir um sistema de diques de proteção para os municípios, é bastante semelhante ao sistema de diques proposto pela MILDOR-KAISER em 1975. A alternativa de dragagem do rio no trecho a jusante das cidades foi descartada logo de início, devido ao altíssimo custo das obras, e a inviabilidade técnica, conforme citado no relatório da MAGNA Engenharia (1984): *“Para esse diferencial de 7 m ser absorvido por redragagem no rio seria necessário uma transformação profunda e tecnicamente inviável na calha fluvial”*. Neste mesmo estudo chegou-se a citar a possibilidade da retirada das corredeiras de Porto Vitória: *“O desrrocamento dessas corredeiras é obra gigantesca do ponto de vista técnico e econômico, além de ser extremamente agressivo para a natureza, introduzindo profundas modificações geomorfológicas no leito fluvial estabilizado do rio Iguazu (navegável entre União da Vitória e Porto Amazonas)”*.



**Figura 2.2 – Proposta de desvio do rio Vermelho e do rio Iguazu por sua margem esquerda**

Fonte: MAGNA Engenharia (1984).

A terceira solução estrutural analisada pela MAGNA (1984) está ilustrada na figura 2.2. Tratava-se da idéia de desviar o leito do rio Iguaçu e do rio Vermelho pelo sul dos municípios de União da Vitória (PR) e Porto União (SC). Simultaneamente a construção de uma linha de dique foi idealizada para isolar a cidade e o antigo leito do rio Iguaçu, do escoamento do leito de desvio.

O estudo econômico realizado pela MAGNA demonstrou que a construção do Canal de Desvio (Alternativa Global 2) seria 4,5 vezes mais cara que a construção do sistema de diques proposto na primeira alternativa (Alternativa Global 1).

### **2.3 As avaliações da JICA (1995)**

No decorrer dos anos de 1994 e 1995 foi desenvolvido um programa de cooperação entre a JICA “Japan International Cooperation Agency” e o Governo do Estado do Paraná. Um estudo foi executado pelas empresas consultoras Yachiyo Engineering Co. e Nippon Koei Co., ambas com sede na cidade de Tóquio, Japão. O resultado foi um Plano Diretor para utilização dos recursos hídricos no Estado do Paraná. Dentre os diversos enfoques do estudo está o problema de enchentes na região de União da Vitória.

No relatório de Controle de Cheias, a JICA (1995) apontou três fatores chaves para as inundações no trecho do rio Iguaçu entre São Mateus do Sul e Porto Vitória:

- a) as vazões são extremamente grandes quando comparadas com a área da calha principal do rio Iguaçu;
- b) a declividade do fundo do canal é muito baixa (1:10.000 – 1:20.000);
- c) a existência de muitas seções de controle.

A JICA avaliou sete cenários com possíveis combinações de medidas estruturais e não-estruturais, conforme resumo da tabela 2.1.

O primeiro cenário considerava a hipótese de realocação de todas as construções existentes abaixo da cota 750 m. Este cenário foi descartado inicialmente, por inviabilidade econômica, pois grande parte dos municípios de União da Vitória (PR) e Porto União (SC) encontra-se abaixo da cota 750 m.

**Tabela 2.1 – Cenários de medidas de contenção de cheias contemplados pela JICA**

<b>Alternativa</b>	<b>Não estrutural</b>	<b>Estrutural</b>
<b>Caso - 1</b>	Zoneamento com reassentamento	-----
<b>Caso - 2</b>	Zoneamento com reassentamento	Escavação do Canal
<b>Caso - 3</b>	Zoneamento com reassentamento	Escavação do Canal + dique
<b>Caso - 4</b>	Zoneamento com reassentamento	Sistema de diques
<b>Caso - 5</b>	-----	Escavação do Canal
<b>Caso - 6</b>	-----	Sistema de diques
<b>Caso - 7</b>	-----	Escavação do Canal + dique

Fonte: JICA (1995)

Os cenários 2, 3, 5 e 7 não são viáveis financeiramente devido ao alto custo das escavações em rocha propostas. As escavações consideravam o rebaixamento da calha principal em 3 e 5 metros, entre União da Vitória e Porto Vitória, resultando respectivamente em escavações de 2 e 7 milhões de m<sup>3</sup>.

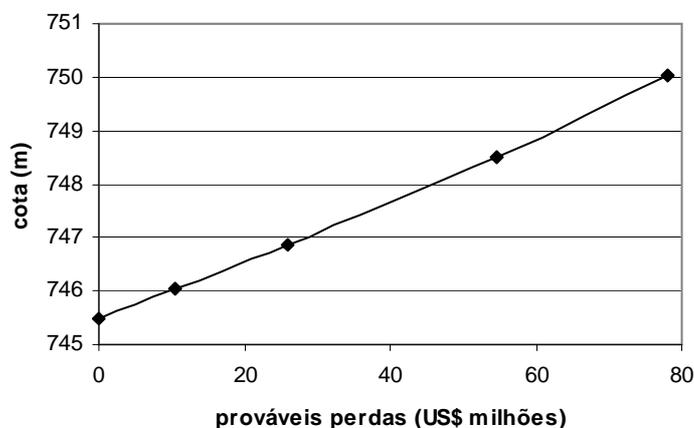
O cenário 6 foi considerado tecnicamente possível, mas considerado de alto risco devido a grande altura necessária para a cota de coroamento do dique. O cenário 4 foi então selecionado como proposta de medida estrutural. Este cenário considera a retirada da urbanização existente abaixo da cota 746,50 m, e a construção de um dique mais baixo a partir desta cota. O custo desta solução foi estimado em US\$ 88 milhões.

A retirada das corredeiras de Porto Vitória foi considerada inviável financeiramente devido ao grande volume de escavação em rocha necessária (vários milhões de m<sup>3</sup>).

Nos cenários que contemplavam escavação do leito do canal principal a JICA considerou duas possibilidades: rebaixamento do fundo do rio em 3 m, e rebaixamento com 5 metros de escavação, em todo o trecho entre União da Vitória e Porto Vitória. Os rebaixamentos de nível obtidos com estas obras, numa cheia equivalente a 1983, seriam de 0,30 m e 0,60 m para as escavações de 3 e 5 metros respectivamente.

A JICA realizou uma extensa pesquisa dos prejuízos causados pelas enchentes em vários locais do estado do Paraná. Esta pesquisa resultou em interessantes resultados como: curvas “cota x prejuízos” para as cidades inundadas e relações entre o risco de cheias e o prejuízo causado. Para o caso de União da Vitória e Porto União, a relação entre a cota da cheia e o

prejuízo estimado está apresentada no gráfico da figura 2.3.



**Figura 2.3 – Relação entre perdas prováveis e a cota de inundação em União da Vitória e Porto União**

Fonte: JICA (1995).

No relatório de Controle de Cheias publicado em 1995 a JICA cita que não existem locais apropriados para construção de barragens ou bacias de retardo a montante de União da Vitória.

## 2.4 O Estudo de Tucci & Villanueva (1997)

O estudo realizado por TUCCI & VILLANUEVA (1997) teve por objetivos:

- a) Avaliar os estudos realizados pelo CEHPAR (CEHPAR, 1996a; CEHPAR, 1996b) para a COPEL sobre o escoamento não permanente entre Fluviópolis e Foz do Areia;
- b) Simular o escoamento no rio Iguaçu para comprovar os resultados da COPEL (COPEL, 1980; COPEL, 1985);
- c) Analisar o efeito de diferentes obstruções ao escoamento no rio Iguaçu respondendo as principais questões da população;
- d) Apresentar o zoneamento de áreas de inundação para as cidades de União da Vitória, Porto União e Porto Vitória.

Dentre as medidas estruturais potenciais para o trecho do rio Iguaçu em análise foram citadas por estes consultores:

- a) reservatório de montante para contenção de cheias;
- b) modificação do leito do rio Iguaçu;
- c) construção de diques de proteção.

A análise do escoamento no trecho do rio Iguaçu na região de União da Vitória e Porto União levou os autores as seguintes considerações sobre o escoamento à jusante de União da Vitória (TUCCI&VILLANUEVA, 1997):

- 1) *Capacidade de descarga das seções de escoamento junto à cidade: ao longo da cidade existem alguns estreitamentos devido a pontes (ferroviária, BR-476) e aterros. As seções de escoamento medidas não contemplam as características destes pontos singulares, mas pode-se observar que a seção M8 (ver figura 2.4), onde se encontra a ponte da BR-476, o rio tem um estrangulamento maior, criando um remanso para os trechos de escoamento de montante. O leito menor (a calha do rio até a cota onde se iniciam as inundações nas margens) têm capacidade limitada. O vale de inundação é, naturalmente utilizado para extravasar o volume excedente;*
- 2) *Capacidade de descarga a jusante de União da Vitória: as cotas de inundação na cidade de União da Vitória, também dependem da capacidade de escoamento no trecho de jusante, principalmente do estrangulamento que ocorre antes da entrada do reservatório de Foz do Areia. No estudo da JICA (1995), foi realizado um estudo em regime permanente mostrando que ocorre redução de nível de 0,30 e 0,60 m (Cheia de 1983), em União da Vitória para duas alternativas de escavação do rio a jusante da cidade. No entanto, o custo da desobstrução é extremamente alto;*
- 3) *Efeito do nível de operação de Foz do Areia sobre os níveis em União da Vitória: os estudos anteriores (COPEL, 1980; TUCCI, 1993; JICA, 1995) discutiram o efeito dos níveis de Foz do Areia sobre as cotas de União da Vitória. No entanto, este processo depende de vários fatores combinados. Quando o nível de Foz do Areia estiver em 742,00 m ou 741,50 m os níveis em União da Vitória são influenciados, desde que estejam abaixo da cota 744,50 m. Para cotas maiores em União da Vitória, segundo os modelos, observa-se que o efeito de inundação depende mais das capacidades das seções em União da Vitória e no seu trecho de jusante, do que da cota do reservatório (mantido em 741,50 m).*

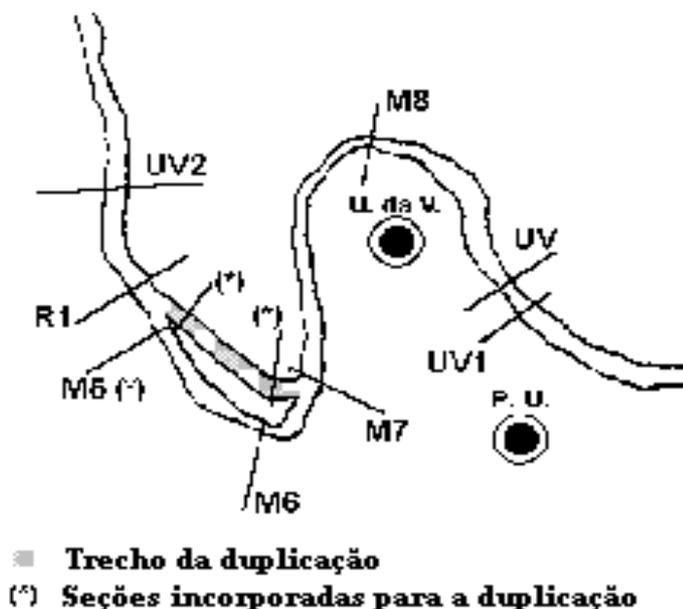
Uma análise do efeito dos pontos críticos do escoamento foi realizada através da simulação das enchentes de 1983 e 1992, considerando a alteração das condições de escoamento, removendo os obstáculos ou modificando o traçado do rio. Foram analisados os efeitos da “Curva da Ressaca”, dos aterros das pontes na cidade, das “Corredeiras de Porto Vitória” e os benefícios de duplicação do canal.

A influência da “Curva da Ressaca” foi avaliada de dois modos: aumento de seção, e aumento de seção e retificação da curva. No primeiro caso foi considerado que a seção UV5A seria alargada até atingir as dimensões da seção M3, que é a seção a jusante da curva. O perfil de

superfície livre calculado, considerando a cheia de 1983, apresentou um decréscimo de nível de 0,08 m na região da curva, e de 0,03 m em União da Vitória. Com a alteração do primeiro caso, e considerando uma retificação de 1.000 m nesta curva, os resultados encontrados apontam para uma redução de nível de 0,21 m na região da curva e de 0,08 m em União da Vitória, efeitos estes considerados desprezíveis pelos autores do estudo.

Os autores analisaram o efeito que os aterros das pontes causam nos níveis de enchente das cidades. Foram simuladas as enchentes de 1983 e 1992 em situações hipotéticas em que não existiriam os ditos aterros. No caso da enchente de 1992 os autores afirmam que a diferença foi praticamente nula. Para a enchente de 1983 foram encontradas diferenças máximas de 0,12 m entre a situação hipotética e a real (existência das pontes).

A hipótese de retirada das corredeiras de Porto Vitória foi inicialmente desconsiderada devido a desfavorável relação custo / benefício, além de grandes riscos de impacto ambiental: *“... a consideração do alto custo de manutenção, o impacto ambiental, e o risco de desencadear processos erosivos incontroláveis, que poderiam provocar sérios danos nas cidades (estabilidade de pontes e margens), fizeram com que esta alternativa fosse descartada.”* (TUCCI&VILLANUEVA,1997).



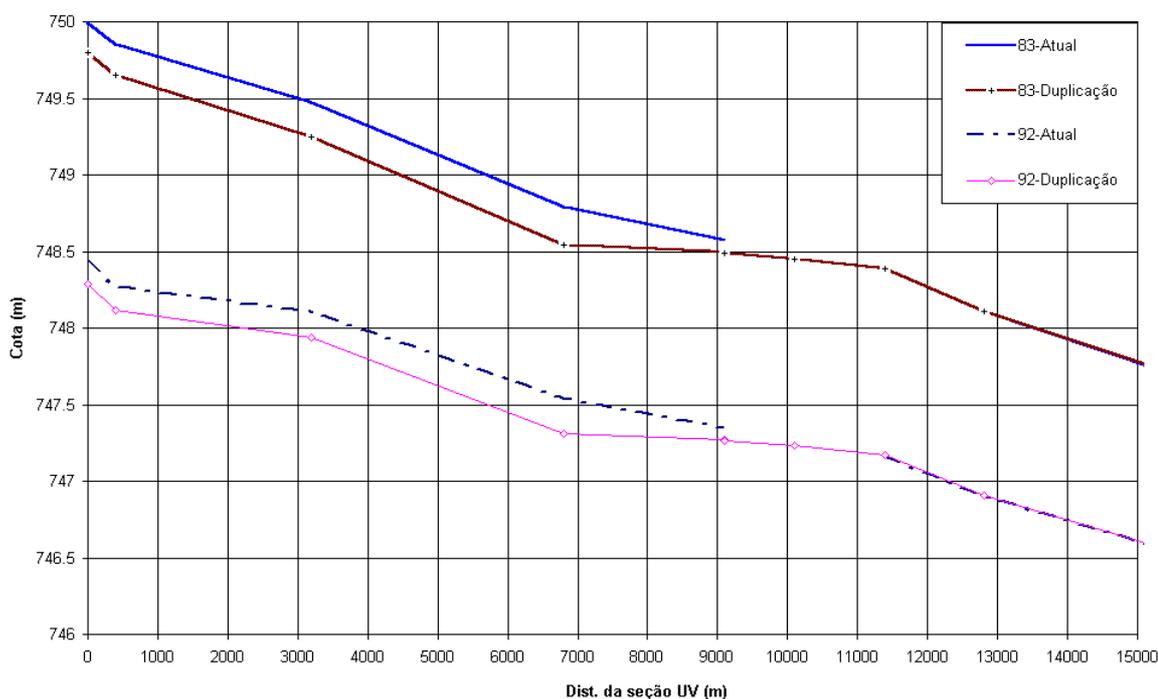
**Figura 2.4 – Traçado do canal de duplicação na “curva da Fazenda Brasil”**

Fonte: TUCCI&VILLANUEVA(1997)

Na análise dos chamados pontos críticos os autores concluíram que embora todos eles contribuam para elevar os níveis de enchente em União da Vitória, nenhum deles é decisivo. Mesmo o efeito somado de todos não é o fator crítico das enchentes na cidade.

Este estudo investigou a influência de uma obra realizada próxima às cidades de União da Vitória / Porto União, devido ao fato de que o pequeno efeito da retirada dos obstáculos descritos anteriormente é fruto da grande distância entre eles e as cidades de União da Vitória e Porto União. Os autores consideraram a alternativa de duplicação de um trecho de rio, na curva chamada “curva da Fazenda Brasil”, situada a jusante de União da Vitória, conforme ilustração da figura 2.4.

Para analisar o efeito dessa alteração foram simuladas as enchentes de 1983 e 1992. Na figura 2.5 apresenta-se o perfil da superfície livre obtido com e sem a duplicação da “Curva da Fazenda Brasil”. No gráfico desta figura pode-se observar que o rebaixamento de níveis em União da Vitória devido à duplicação da “Curva da Fazenda Brasil” foi da ordem de 0,20 m.



**Figura 2.5 – Comparação de perfis da superfície livre para duplicação da calha do rio Iguaçu na “curva da Fazenda Brasil”**

Fonte: TUCCI&VILLANUEVA(1997)

Sobre a possibilidade de construção de um sistema de diques de proteção aos municípios, os autores fazem, em resumo, as seguintes considerações:

- a) A implantação de um sistema de diques exigiria a criação de um departamento municipal responsável pela operação e manutenção dos diques, isto teria um custo que se traduziria para população em forma de imposto;
- b) O custo de um sistema de diques estimado pela JICA (1995) atingiu a cifra dos US\$ 88 milhões, que se considerados juros de 8 % ao ano resultaria em juros anuais de US\$ 7 milhões.
- c) Deverá ser previsto um sistema de alerta de cheias, pois qualquer dique, oferece um risco de falha.
- d) A construção do dique permitiria a proteção de uma extensa área urbanizada na margem esquerda do rio.
- e) A implantação do dique poderá apresentar uma característica estética e ambiental desfavorável para os municípios.

### 3. ANÁLISE DO ESCOAMENTO DO RIO IGUAÇU NO TRECHO ENTRE UNIÃO DA VITÓRIA E PORTO VITÓRIA

Neste capítulo apresenta-se inicialmente uma descrição da bacia hidrográfica do rio Iguaçu. Os demais itens tratam de uma análise geral do escoamento no trecho do rio Iguaçu entre os municípios de União da Vitória (PR) e Porto Vitória (PR).

#### 3.1 Descrição da bacia hidrográfica do rio Iguaçu

O rio Iguaçu é um dos principais afluentes do curso médio do rio Paraná. Desde suas nascentes, próximas a cidade de Curitiba, até sua foz, no rio Paraná, drena uma bacia de 66.800 km<sup>2</sup>. No posto fluviométrico de União da Vitória, a bacia de drenagem apresenta uma área de 24.200 km<sup>2</sup>. O rio Iguaçu é o principal rio do Estado do Paraná e corre essencialmente na direção leste-oeste, a partir de suas nascentes nas proximidades de Curitiba, na frente ocidental da Serra do Mar, até sua foz, no rio Paraná, percorrendo cerca de 1.100 km e vencendo um desnível de mais de 800 m. A bacia situa-se aproximadamente entre as latitudes Sul 24°57' e 26°51' e as longitudes Oeste 48°57' e 54°36', drenando uma área de cerca de 67.483 km<sup>2</sup>.



Figura 3.1 – Localização da bacia do rio Iguaçu



de Porto Amazonas, o curso é novamente repleto de meandros até o rompimento da serra da Boa Esperança ou serra Geral, que forma a escarpa mesozóica do terceiro planalto. A partir deste ponto o rio Iguaçu passa a ter inúmeras cachoeiras e corredeiras, inclusive as cataratas do Iguaçu. Neste local o curso acompanha uma linha tectônica (diáclase). Após uma ampla curva e uma corredeira, a parte principal das cataratas precipita-se lateralmente na profunda fenda de erosão.

Dos inúmeros afluentes da margem direita do rio Iguaçu, sobressaem-se os rios Potinga, Claro, Areia, Jordão, Guarani e Andrade. Pela margem esquerda, são destaques os rios Passa Dois, Negro, Timbó, Iratim e Chopim. O principal afluente do Iguaçu é o rio Negro, com cerca de 240 km de extensão, cujas nascentes se encontram no morro Redondo da serra Araçatuba na serra do Mar, a aproximadamente 1.400 m de altitude.

### **3.2 As características do trecho do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória**

O rio Iguaçu, na seção localizada na antiga ponte ferroviária do município de União da Vitória, drena uma área de aproximadamente 24.200 km<sup>2</sup>. Neste local existe um posto fluviométrico, com registros desde 1930. Em Porto Vitória, aproximadamente 27 km a jusante do posto fluviométrico de União da Vitória, está localizado o posto fluviométrico de Porto Vitória, que encontra-se aproximadamente 1 km a montante das Corredeiras de Porto Vitória. Neste segundo posto a área de drenagem é de 24.900 km<sup>2</sup>. A localização destes pontos pode ser visualizada na figura 3.3, que é aproximadamente uma ampliação do detalhe “Região do Estudo”, apontado na figura 3.2. Os 700 km<sup>2</sup> de área incremental deste trecho deve-se em grande parte a três afluentes: o rio Vermelho e o Ribeirão da Prata, pela margem direita; e o rio Espingarda, pela margem esquerda.

Logo após a cidade de União da Vitória existe uma grande curva, denominada “Curva da Fazenda Brasil”, na qual o leito principal do rio, que a montante escoava em direção Sul, sofre uma deflexão de aproximadamente 150° e passa a escoar em direção Noroeste. Alguns quilômetros a jusante, na Colônia Amazonas, o leito do Iguaçu se estreita consideravelmente, e realiza um percurso curvo conhecido como “Curva da Ressaca”. A 10 km deste ponto encontra-se o município de Porto Vitória. Algumas centenas de metros a jusante de Porto Vitória, estão as Corredeiras de Porto Vitória, onde o rio atravessa o ponto que divide as regiões planas do segundo planalto, da escarpa mesozóica do terceiro planalto, conforme descrição do item 3.1.

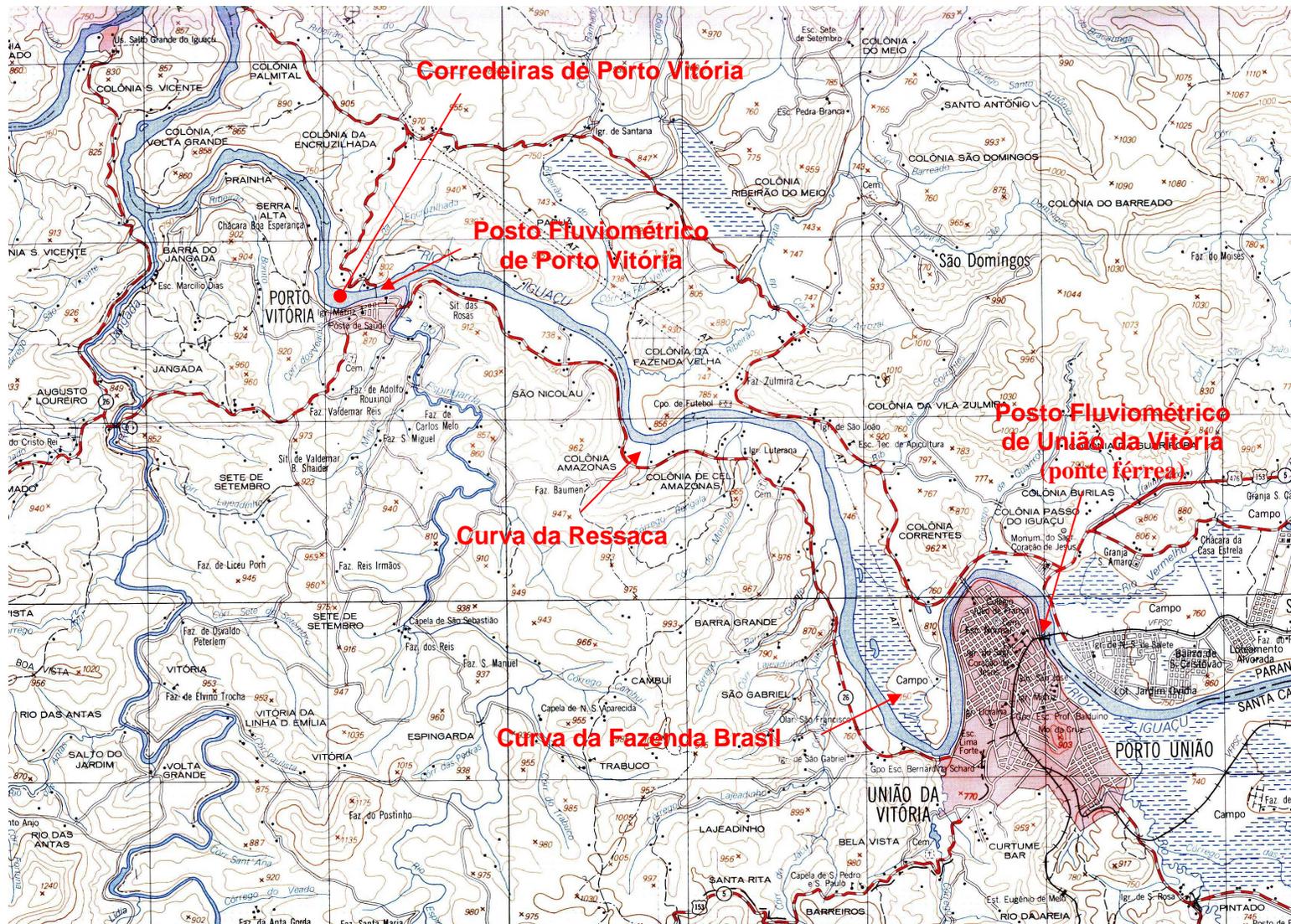


Figura 3.3 – Mapa topográfico da região da bacia do rio Iguazu no trecho do rio entre União da Vitória e Porto Vitória

Fonte: IBGE(1974)

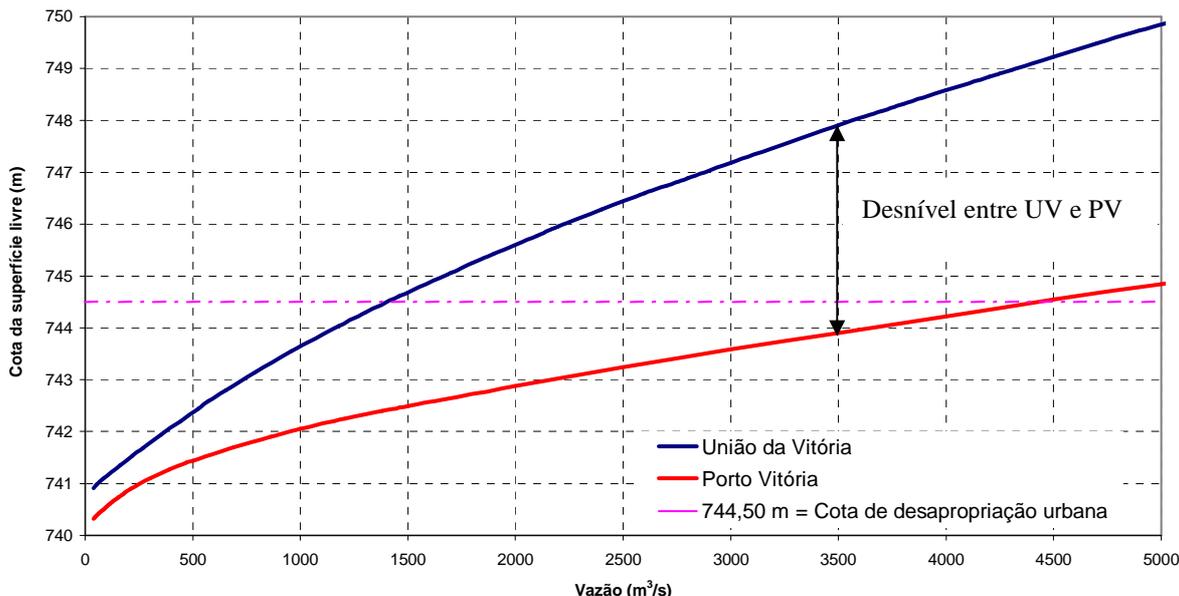
Com base nas seções transversais levantadas na região do estudo observa-se a nítida diferença da morfologia da calha do rio Iguaçu a montante e a jusante da cidade de Porto Vitória. De União da Vitória a Porto Vitória observa-se uma calha principal acompanhada de extensas planícies de inundação. Nas proximidades de Porto Vitória observa-se uma elevação na cota média do fundo da calha, juntamente com um estreitamento da mesma. No local de início das corredeiras observa-se uma largura aproximada de 500 m. A cota do fundo do canal oscila entre 739 e 741 m por quase toda a largura do rio, exceto num pequeno talvegue, com largura aproximada de 30 m, no qual a cota do fundo atinge 730,37 m. Esta configuração do fundo do rio causa a passagem do escoamento em regime subcrítico para o regime supercrítico, originando as chamadas corredeiras de Porto Vitória. Após esta região a declividade do fundo do rio aumenta consideravelmente, e as seções passam a ser mais estreitas e com taludes laterais mais íngremes, se comparadas ao trecho União da Vitória a Porto Vitória. A partir deste local o escoamento do rio Iguaçu encontra-se totalmente alterado pela influência do reservatório de Foz do Areia.

### **3.3 As relações de descarga das estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória**

Na figura 3.4 apresentam-se às curvas de descarga das estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória. Nesta figura observam-se as duas curvas de descarga com as ordenadas referenciadas ao nível médio dos mares. Além das duas relações de descarga apresentam-se também uma linha horizontal delimitando a cota de desapropriação urbana do reservatório de Foz do Areia nos municípios de União da Vitória (PR), Porto União (SC) e Porto Vitória (PR).

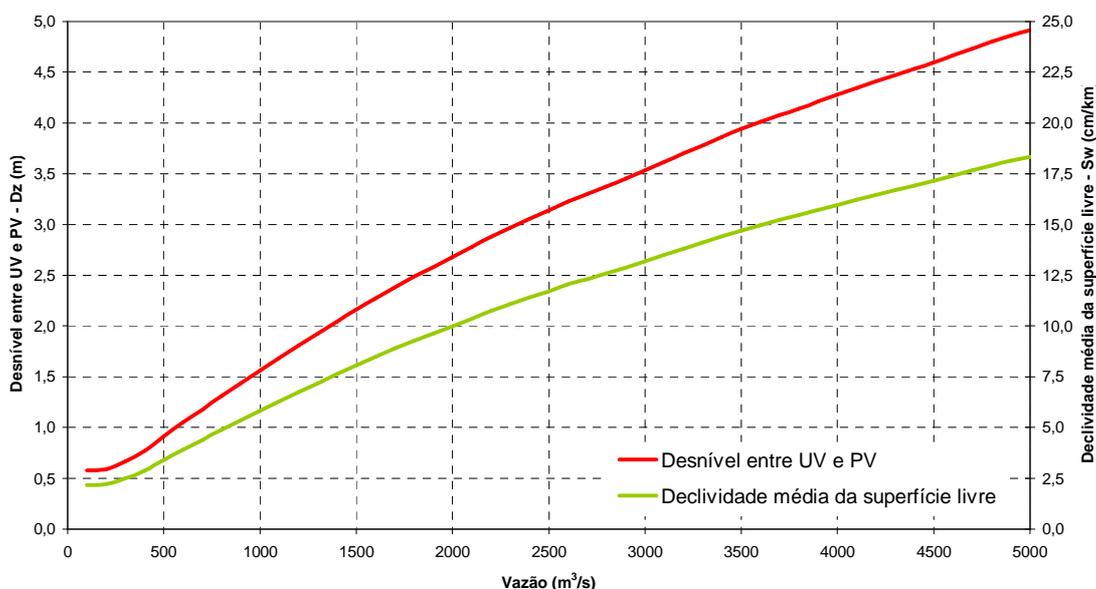
A diferença vertical observada na figura 3.4, entre as duas curvas de descarga, representa o desnível da superfície livre existente entre a seção do posto fluviométrico de União da Vitória com a seção do posto de Porto Vitória. Nota-se que com o aumento da vazão, o desnível também aumenta progressivamente, o que indica a existência de um comportamento diferente para estas relações de descarga.

Na figura 3.5 apresenta-se o desnível entre União da Vitória e Porto Vitória em função da vazão escoada no rio Iguaçu. Neste mesmo gráfico apresenta-se a declividade média da superfície livre do escoamento em função da vazão.



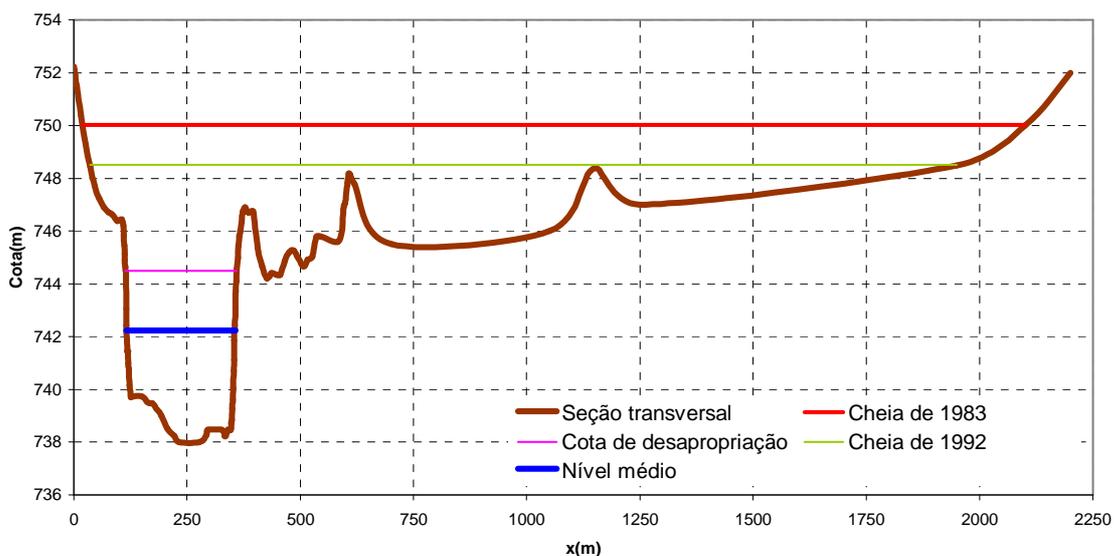
**Figura 3.4 – Curvas de descarga das estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória**

Observa-se que em União da Vitória, a diferença de cota entre as baixas vazões e a vazão de 5.000 m³/s é de aproximadamente nove metros, enquanto que em Porto Vitória, esta mesma amplitude de cota é pouco superior a 4,5 metros. Esta diferença de comportamento de nível causa a variabilidade do desnível entre estes pontos do rio de acordo com o crescimento da vazão, resultando nas funções crescentes da figura 3.5.



**Figura 3.5 – Relações de declividade e desnível no rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória**

Na figura 3.6 apresenta-se a seção transversal da estação fluviométrica de União da Vitória. Neste gráfico estão apresentados o nível médio nesta seção do rio, a cota de desapropriação urbana, e as marcas de cheia de 1983 e 1992. Nota-se que estas enchentes extravasam significativamente a calha principal, inundando a planície de inundação, e causando profundidade de até cinco metros nestas planícies, onde estão alocados alguns bairros de União da Vitória.



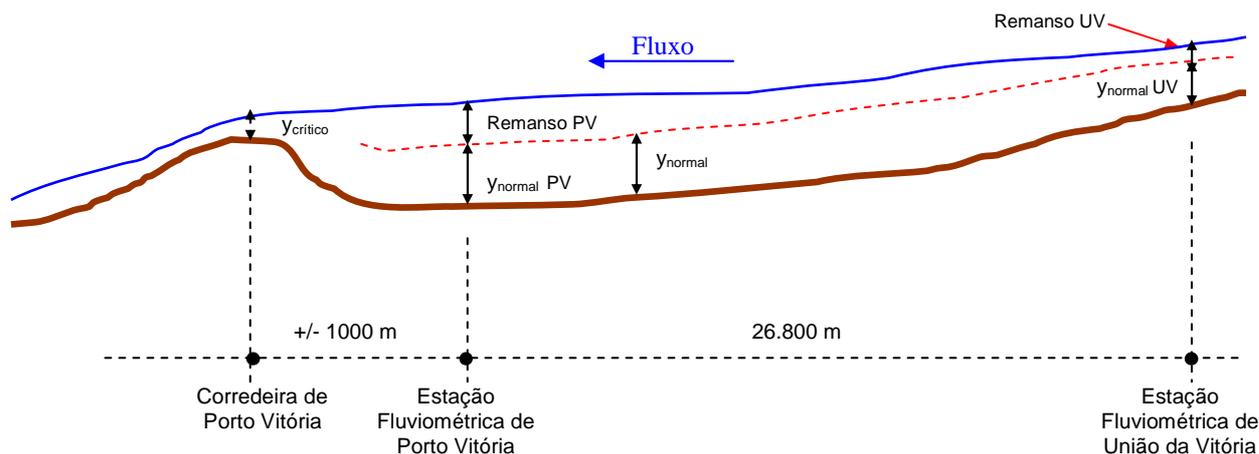
**Figura 3.6 – Seção transversal da estação fluviométrica de União da Vitória com marcas de cheia**

O aumento de cota da ordem de nove metros em União da Vitória deve-se à distância em que a cidade localiza-se em relação ao controle de vazões do rio Iguaçu neste trecho em questão. Na figura 3.7 apresenta-se um perfil longitudinal do escoamento no trecho entre União da Vitória e Porto Vitória. Neste esquema apresenta-se uma linha grossa representando o fundo do rio Iguaçu, com detalhe para as corredeiras de Porto Vitória, a linha superior representa o perfil da linha d’água para uma situação de vazão hipotética. Na parte inferior do desenho estão locadas através de linhas pontilhadas as posições das estações fluviométricas em relação ao controle das corredeiras de Porto Vitória.

Entre a superfície livre do escoamento, e o fundo do rio, na figura 3.7, está apresentada uma linha pontilhada que equivale à profundidade normal do escoamento, regida pela lei da equação de Manning (3.1):

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{S_f} \tag{3.1}$$

onde:  $Q$  = vazão escoada no canal;  
 $n$  = parâmetro de rugosidade de Manning;  
 $A$  = área de escoamento  
 $Rh$  = raio hidráulico;  
 $S_f$  = declividade da linha de energia.



**Figura 3.7 – Perfil longitudinal esquemático do trecho União da Vitória – Porto Vitória**

Quando a profundidade numa dada seção transversal coincide com a profundidade normal, o controle do escoamento é definido como “controle de canal”, ou seja, os níveis do escoamento são definidos pela “resistência” do escoamento do leito do rio. Quando a profundidade do escoamento é maior que a profundidade normal, define-se que há um remanso nesta seção transversal, provocado por algum controle à jusante, na maioria das vezes um controle local. Este segundo tipo de controle é definido como aquele onde o nível numa dada seção é equivalente a profundidade crítica do escoamento. No caso da região em estudo, o trecho do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória está ilustrado esquematicamente na figura 3.7. Nesta figura mostram-se as corredeiras de Porto Vitória, onde o rio Iguaçu passa pela profundidade crítica, alterando do regime subcrítico para o regime supercrítico a jusante das mesmas. A montante das corredeiras localiza-se a estação fluviométrica de Porto Vitória, onde a profundidade do escoamento é superior a profundidade normal para esta seção. Por este motivo afirma-se que os níveis em Porto Vitória são controlados pelas corredeiras de Porto Vitória, um tipo de controle local.

Observando-se a figura 3.7, nota-se neste desenho, que à medida que se percorre o rio de Porto Vitória a União da Vitória, a profundidade do escoamento aproxima-se da profundidade normal. Esta característica pode ser interpretada como um decaimento do efeito de remanso, que perde sua intensidade no sentido de montante, até que o escoamento passe a ser controlado pelo canal e que o controle de jusante não tenha mais efeito sobre os níveis das seções. A estação de União da Vitória está localizada aproximadamente 27 km a montante das corredeiras de Porto Vitória. Por este motivo o remanso provocado pelo controle das corredeiras de Porto Vitória em União da Vitória, não é tão intenso como no caso dos níveis na estação de Porto Vitória, distante 1 km a montante das corredeiras. A influência do controle de níveis em União da Vitória pelas corredeiras de Porto Vitória é variável com a vazão do escoamento, conforme será discutido no item 3.5. Pode-se afirmar que alguns quilômetros a montante de União da Vitória, a profundidade normal do escoamento se torna igual à profundidade do escoamento, caracterizando então um ponto a partir do qual, os níveis a montante são controlados pelo canal, e não dependem mais do controle de Porto Vitória.

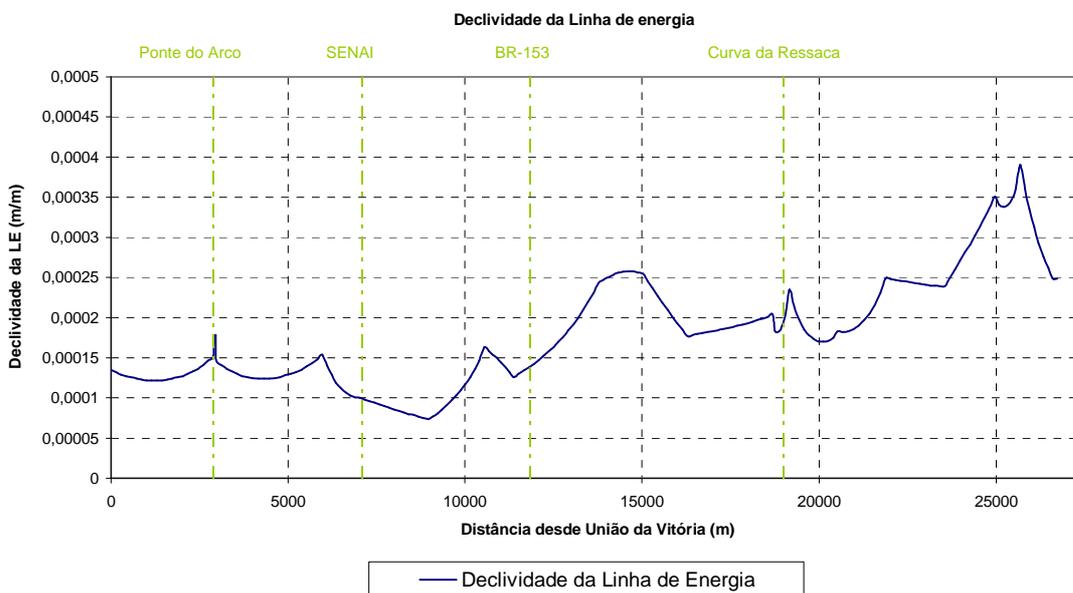
As curvas de descarga apresentadas na figura 3.4 demonstram dois tipos de comportamento. A relação de descarga de Porto Vitória, localizada aproximadamente 1 km a montante das corredeiras, possui uma importante influência deste controle local, que é do tipo “vertedor”. Por este motivo a curva de descarga apresenta uma tendência de se ajustar a uma função  $Q = f(h)$  com potência “3/2”. Para a relação de descarga de União da Vitória, além do efeito do controle de níveis pelo controle local das corredeiras, a perda de energia no percurso de 27 km a montante das corredeiras, faz com que a relação de descarga em União da Vitória tenda a uma função  $Q = f(h)$  com potência “1/2”, derivada da equação de Manning (3.1). Isto explica a origem de uma função crescente do desnível existente entre as cidades de União da Vitória e Porto Vitória, conforme gráfico da figura 3.5.

### **3.4 Variação longitudinal das principais variáveis do escoamento no trecho União da Vitória – Porto Vitória**

Com objetivo de detalhar as características do escoamento no trecho entre União da Vitória e Porto Vitória foi realizada uma análise longitudinal das principais variáveis do escoamento. Para isto utilizou-se o modelo de escoamento permanente conforme descrição do quarto capítulo. Foram analisadas as variáveis para um perfil de superfície livre correspondente a

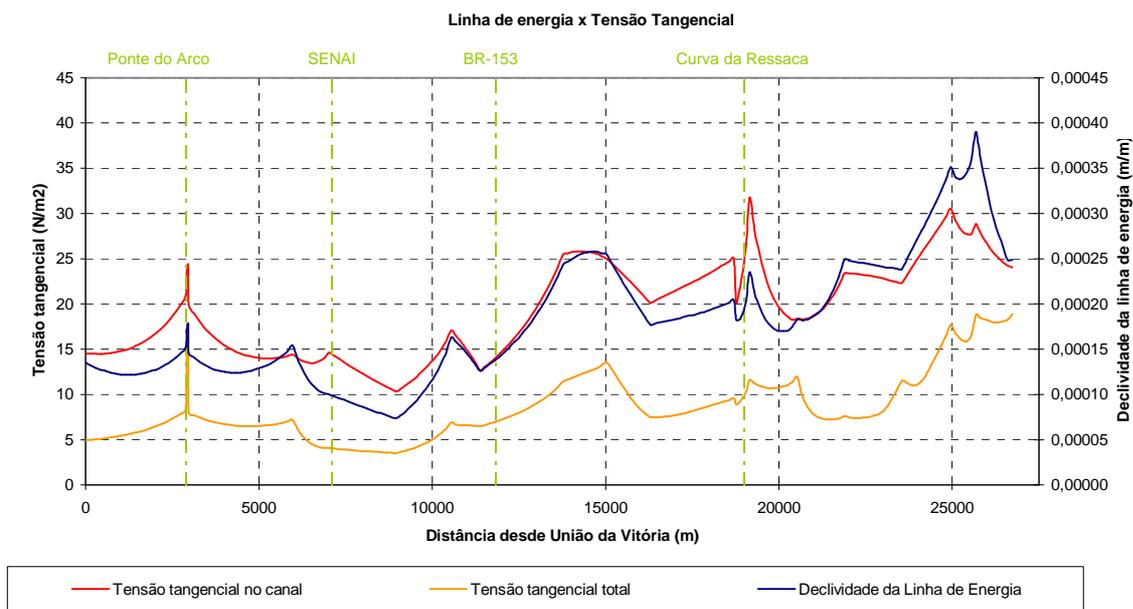
uma vazão de  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , equivalente a cheia de 1983 nesta região.

Na figura 3.8 apresenta-se a discretização da declividade da linha de energia no trecho em estudo. A abscissa deste gráfico refere-se à distância contada a partir do posto fluviométrico de União da Vitória, no sentido de jusante. Nesta figura existem quatro pontos sinalizados ao longo da abscissa: a Ponte do Arco, a curva da Fazenda Brasil no ponto conhecido como “SENAI”, a ponte da BR-153, e a Curva da Ressaca. O posto fluviométrico de Porto Vitória localiza-se na abscissa onde se finaliza a função apresentada. Esta mesma observação é válida para as demais figuras deste item, da figura 3.9 a 3.13.



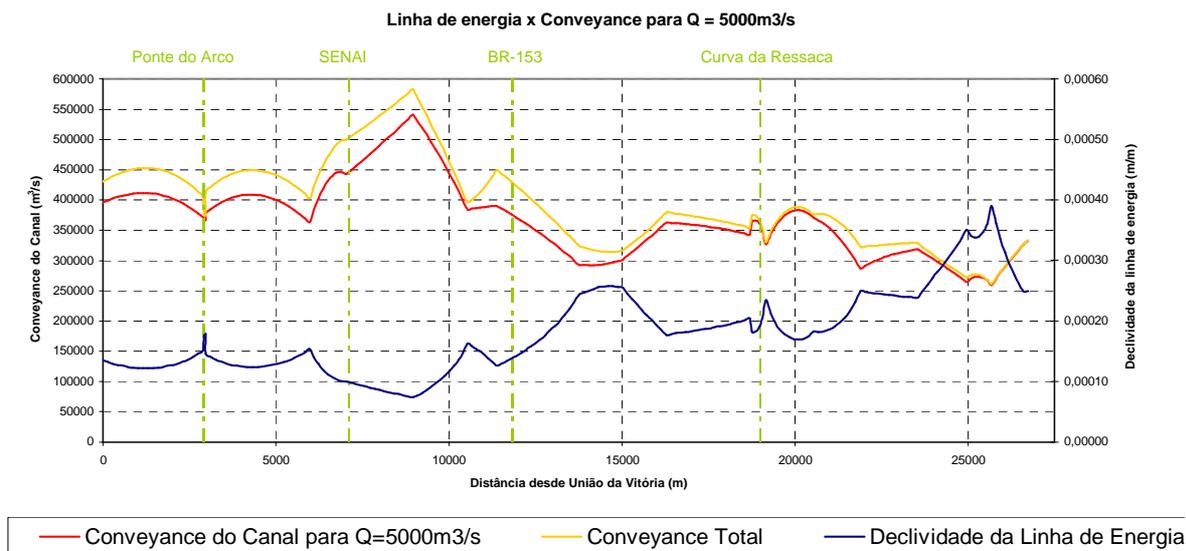
**Figura 3.8 – Variação longitudinal da declividade da linha de energia**

No gráfico da figura 3.8 observa-se que a declividade da linha de energia oscila desde um valor mínimo de  $0,00008 \text{ m/m}$ , entre o SENAI e a ponte da BR-153, e um valor máximo de  $0,00038 \text{ m/m}$ , 1 km a montante da estação fluviométrica de Porto Vitória. A função apresentada neste gráfico demonstra uma característica importantíssima neste trecho em estudo. A montante da Ponte da BR-153, a declividade da superfície livre é praticamente inferior a  $0,00015 \text{ m/m}$ , e a jusante deste ponto, a declividade é sempre superior a este valor. Desta forma é possível visualizar dois trechos distintos, um trecho a jusante, onde a declividade da linha d’água é sempre superior a  $0,00015 \text{ m/m}$ , representando em trecho de grande perda de energia, e outro a montante da BR-153, que apresenta menor declividade da linha d’água.



**Figura 3.9 – Variação longitudinal da declividade da linha de energia e da tensão tangencial**

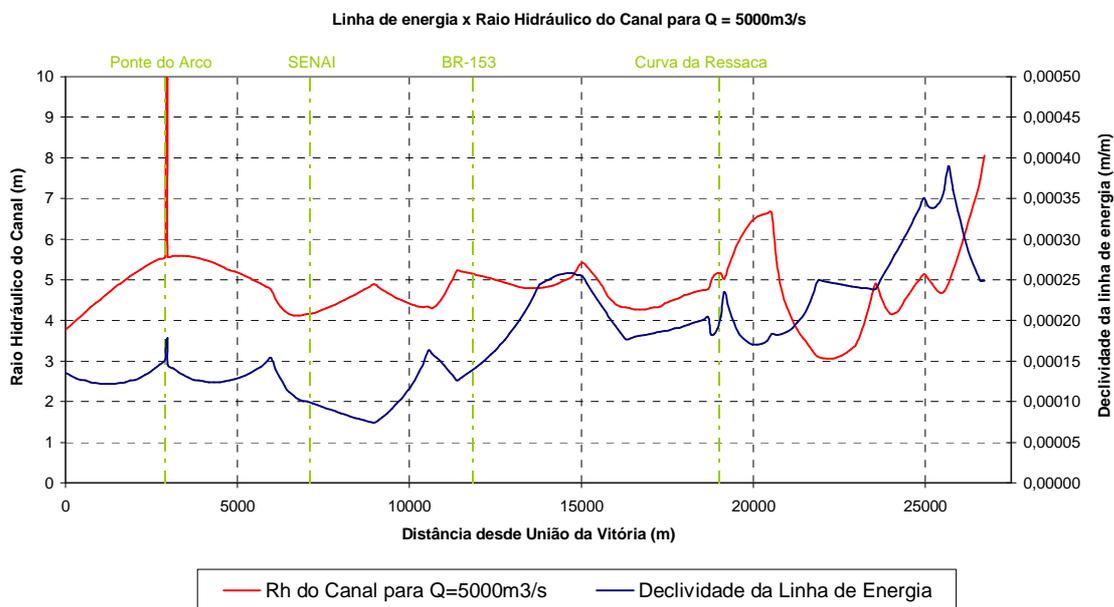
No gráfico da figura 3.9 apresenta-se, além da declividade da linha de energia, a distribuição longitudinal das tensões tangenciais que agem na calha principal e a tensão média em toda a extensão das seções transversais do rio Iguazu. Nota-se uma forte correlação entre a declividade da linha de energia e a tensão tangencial na calha principal do rio.



**Figura 3.10 – Variação longitudinal da conveyance das seções transversais**

O gráfico da figura 3.10 apresenta, talvez, a informação mais interessante desta análise longitudinal de variáveis. Neste gráfico apresenta-se a declividade da linha de energia do escoamento, e os valores da “conveyance” da calha principal e da seção transversal considerando calha e planícies. Observa-se que a função “conveyance” possui um comportamento “espelhado” da função declividade da linha de energia. No trecho entre União da Vitória e a Ponte da BR-153 os valores de “conveyance” da calha principal são superiores a 350.000 m<sup>3</sup>/s. Enquanto que a declividade da linha de energia apresenta valores inferiores a 0,00015 m/m, ou seja, 15 cm / km. A partir da ponte da BR-153, no sentido de jusante, observa-se um decréscimo dos valores de conveyance, inferiores a 350.000 m<sup>3</sup>/s em grande parte do trecho até Porto Vitória, enquanto que a declividade da linha de energia sofre acréscimos de intensidade, superando o valor de 15 cm / km, e crescendo de forma significativa, até atingir o valor de 38 cm / km, a 1 km a montante das corredeiras de Porto Vitória.

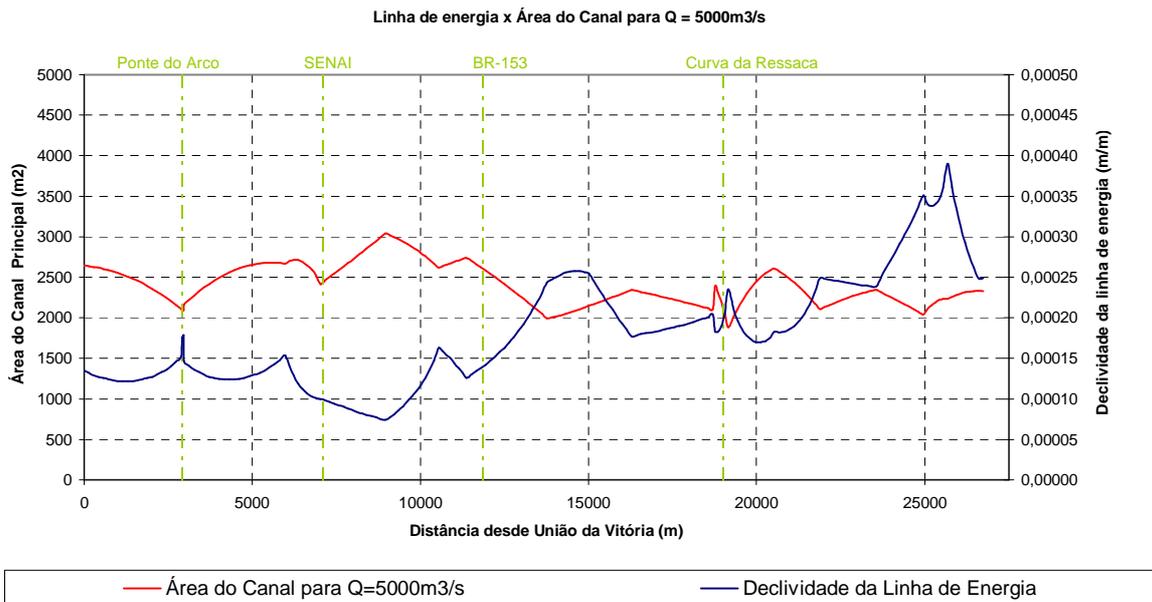
Com os argumentos do parágrafo anterior é possível concluir que o trecho entre a ponte da BR-153 e Porto Vitória possui capacidade de descarga inferior ao trecho entre União da Vitória e a Ponte da BR-153. Por este motivo, grande parcela do desnível existente entre União da Vitória e Porto Vitória, conforme figura 3.4 ou 3.5, é ocasionada pela baixa capacidade de descarga das seções existentes a jusante da ponte da BR-153.



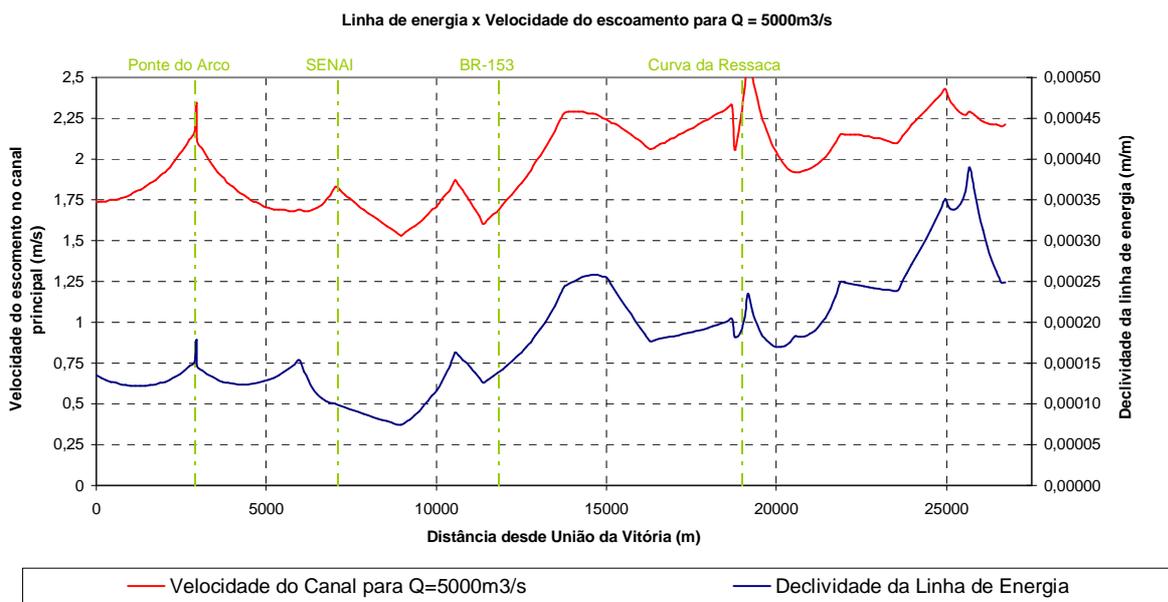
**Figura 3.11 – Variação longitudinal do raio hidráulico das seções transversais**

Na figura 3.11 apresenta-se a distribuição longitudinal do raio hidráulico da calha principal do rio Iguaçu. Na figura 3.12 apresenta-se a variação longitudinal da área do

escoamento, e a declividade da linha de energia. E na figura 3.13 está apresentada a velocidade média na calha principal ao longo do trecho em estudo. Nesta figura é possível observar um pequeno aumento da velocidade média a jusante da Ponte da BR-153. A combinação deste aumento de velocidade e diminuição da conveyance das seções a partir deste ponto, explica o correspondente aumento da tensão tangencial, e da declividade da linha de energia, como consequência da perda de energia regida pela equação de resistência de Manning (3.1).



**Figura 3.12 – Variação longitudinal da área de escoamento para vazão de 5.000 m³/s**



**Figura 3.13 – Variação longitudinal da velocidade média do escoamento na calha principal**

### 3.5 A influência do controle natural das corredeiras de Porto Vitória sobre os níveis de escoamento em União da Vitória

Conforme descrições do item 3.3, e informações contidas na figura 3.7, o controle de níveis em Porto Vitória é diretamente influenciado pelas corredeiras de Porto Vitória. Já na estação fluviométrica de União da Vitória, os 27 km existentes entre as corredeiras de Porto Vitória e esta estação, causam o “decaimento” do remanso, comentado no item 3.3. Por este motivo, os níveis em União da Vitória não variam com o mesmo comportamento que em Porto Vitória.

Foram realizadas algumas simulações nas quais foram inseridas algumas oscilações de nível em Porto Vitória e calculadas as oscilações encontradas em União da Vitória. Foram inseridos rebaixamentos de cota de -10, -20 e -50 centímetros em Porto Vitória, e os decréscimos de nível encontrados em União da Vitória, em função da vazão, estão apresentados no gráfico da figura 3.14. Nota-se nesta figura que com o crescimento da vazão, os decréscimos em Porto Vitória diminuem, de forma que para vazões superiores a 3.000 m<sup>3</sup>/s, pode-se afirmar que os rebaixamentos inseridos em Porto Vitória refletem em União da Vitória com sua intensidade reduzida em cinco vezes ou mais, por exemplo, para rebaixamentos de 50 cm em Porto Vitória, os decréscimos em União da Vitória, para vazões maiores que 3.000 m<sup>3</sup>/s, são inferiores a 10 cm.

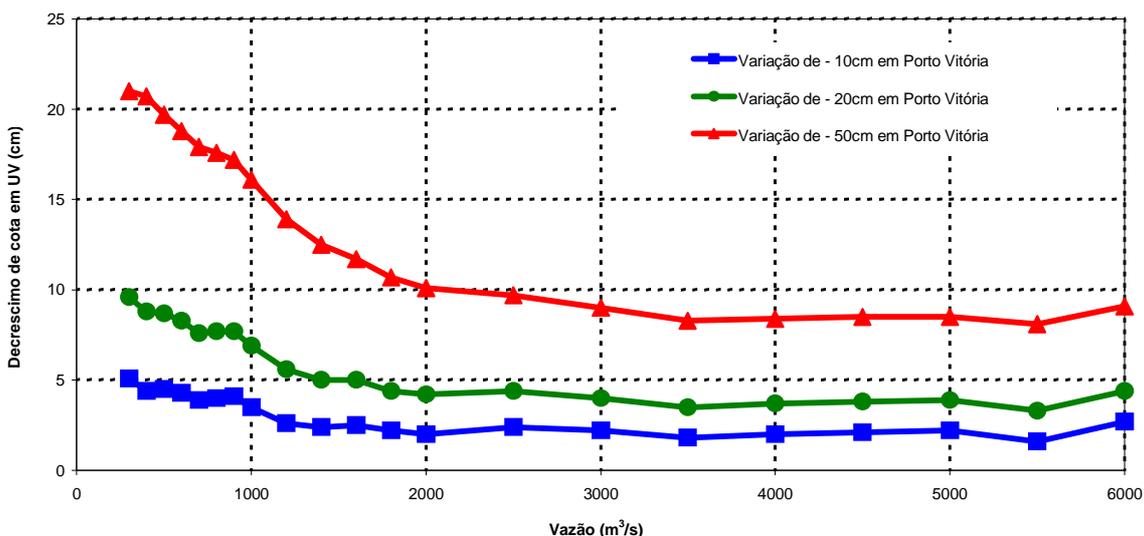


Figura 3.14 – Análise do controle de Porto Vitória sobre os níveis de União da Vitória

#### 4. O AJUSTE DO MODELO DE ESCOAMENTO PERMANENTE AO RIO IGUAÇU

Este capítulo trata dos detalhes e procedimentos que envolvem a calibração do modelo de escoamento no trecho do rio Iguaçu em estudo, ou seja, entre as estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória. No primeiro item é descrito resumidamente o modelo de escoamento utilizado. No segundo item apresentam-se alguns detalhes do trecho em análise, e o capítulo termina no terceiro item, com a apresentação das curvas de rugosidades obtidas.

##### 4.1 O modelo HEC-RAS

Para o cálculo do remanso foi utilizado o método computacional HEC-RAS, versão 3.0 para microcomputadores, datado de janeiro de 2001, desenvolvido no HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER / WATER RESOURCES SUPPORT CENTER, entidade do CORPS OF ENGINEERS, U.S. ARMY.

O programa HEC-RAS permite o cálculo do perfil da superfície livre para escoamento permanente gradualmente variado em canais naturais e artificiais, considerando-se condições de fluxo subcrítico ou supercrítico. Apresenta, ainda, a possibilidade de considerar obstruções, tais como pontes, bueiros e estruturas construídas na planície de inundação. O procedimento computacional é baseado na solução da equação de energia unidimensional com o termo de perda de carga contínua calculado utilizando-se a equação de Manning. O procedimento descrito é genericamente conhecido como *Standard Step Method* (Henderson, 1966). As equações básicas que definem o método são:

$$Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_p \quad (4.1)$$

onde:  $Z$  = cota da superfície livre nas seções 1 e 2 (m);

$V$  = velocidade média nas seções 1 e 2 (m/s);

$\alpha$  = coeficiente corretor da velocidade de Coriolis nas seções 1 e 2;

$g$  = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>); e

$h_p$  = perda de carga entre as seções 1 e 2 (m).

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot S_f^{1/2} \quad (4.2)$$

onde:  $V$  = velocidade média na seção transversal (m/s);  
 $n$  = coeficiente de rugosidade de Manning;  
 $R_h$  = raio hidráulico da seção transversal (m);  
 $S_f$  = declividade da linha de energia, perda de carga unitária (m/m).

As hipóteses básicas, referentes ao *Standard Step Method* e que constituem limitações às aplicações do modelo HEC-RAS, estão implícitas na definição das equações e são as seguintes:

- a) escoamento permanente;
- b) escoamento gradualmente variado;
- c) escoamento unidimensional;
- d) distribuição hidrostática de pressões, o que implica em canais retilíneos de pequena declividade.

## 4.2 Modelagem do trecho em análise

Como o objetivo deste estudo é analisar os efeitos de possíveis soluções estruturais na região de União da Vitória (PR) e Porto União (SC), o trecho a jusante destes municípios foi modelado até o controle de níveis deste trecho do rio, que são as corredeiras de Porto Vitória. A condição inicial de jusante foi estabelecida como sendo a cota da régua da estação fluviométrica de Porto Vitória para a vazão simulada. Desta forma as simulações realizadas restringiram-se aos limites do rio Iguaçu delimitados pelas estações fluviométricas de Porto Vitória e União da Vitória.

O trecho do canal entre União da Vitória e Porto Vitória foi modelado no HEC-RAS através de 20 seções transversais, distribuídas ao longo de 27.200 m, que dispostas de montante para jusante, são as seguintes: UV1, UV-ponte, M8, M7, M6, M5, R1, UV2, UV3, M4, R2, UV5, R3, UV5A, M3, UV6, UV7, UV8, R4 e R5. A localização destas seções ao longo do trecho em estudo pode ser visualizada na figura 4.1. No local das quatro pontes existentes neste trecho: antiga ponte férrea, “Ponte Nova”, “Ponte do Arco” e ponte da BR-153, foram inseridas três seções em cada ponte, somando-se 12 seções ao número anterior.

As seções escolhidas para modelagem do trecho foram interpoladas, através de uma rotina computacional embutida no modelo HEC-RAS, criando seções intermediárias entre as seções reais fornecidas ao modelo, conforme desenho da figura 4.2. Esta interpolação foi realizada no modelo para criar seções intermediárias com espaçamento inferior a 150 m. Desta forma o diferencial “ $\Delta x$ ” da equação ordinária do remanso, ficou limitado ao valor máximo de 150 m neste estudo, pois o modelo realiza os cálculos do perfil da superfície livre tendo como base seções reais, ou criadas por interpolação, para definir um passo (“step”) de cálculo. Dentre os métodos possíveis, foi adotado para o cálculo da superfície livre, o método da declividade média da linha de energia. As seções transversais foram tratadas considerando uma calha principal, definida entre os taludes laterais do leito principal, e as planícies laterais externamente a calha principal. A rugosidade do leito foi então definida com um valor para a calha principal e outro valor para as planícies de inundação da margem esquerda e margem direita. O método adotado para o cálculo da conveyance da seção transversal foi o clássico método do modelo HEC-2, no qual, cada segmento de reta fornecido na representação da seção transversal delimita uma região da seção na qual é calculada a conveyance, a soma de todas estas parcelas totaliza a conveyance da seção transversal.

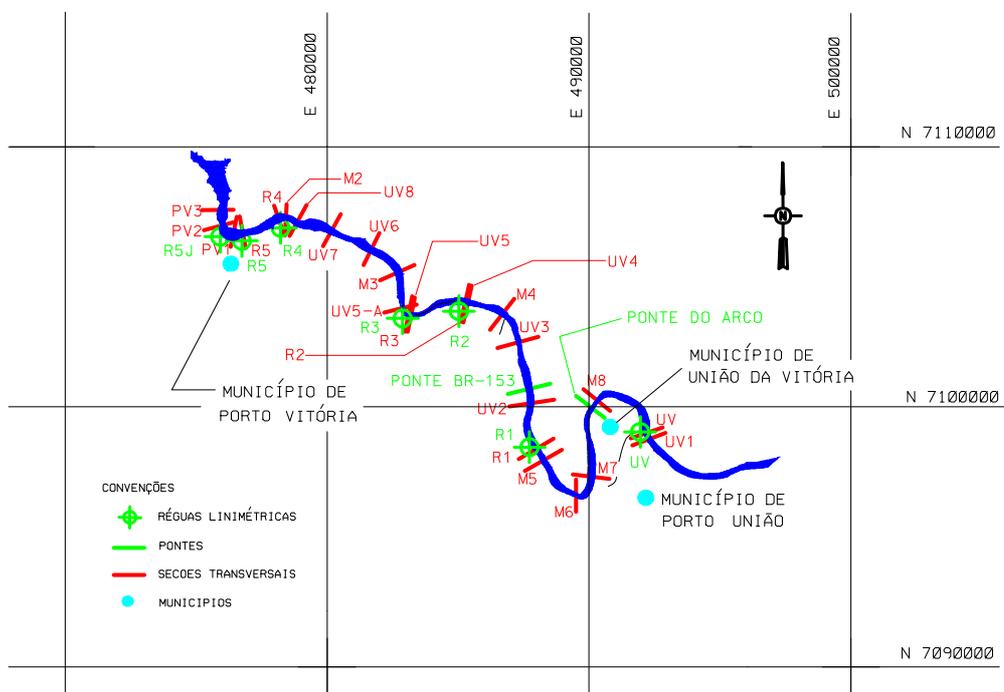
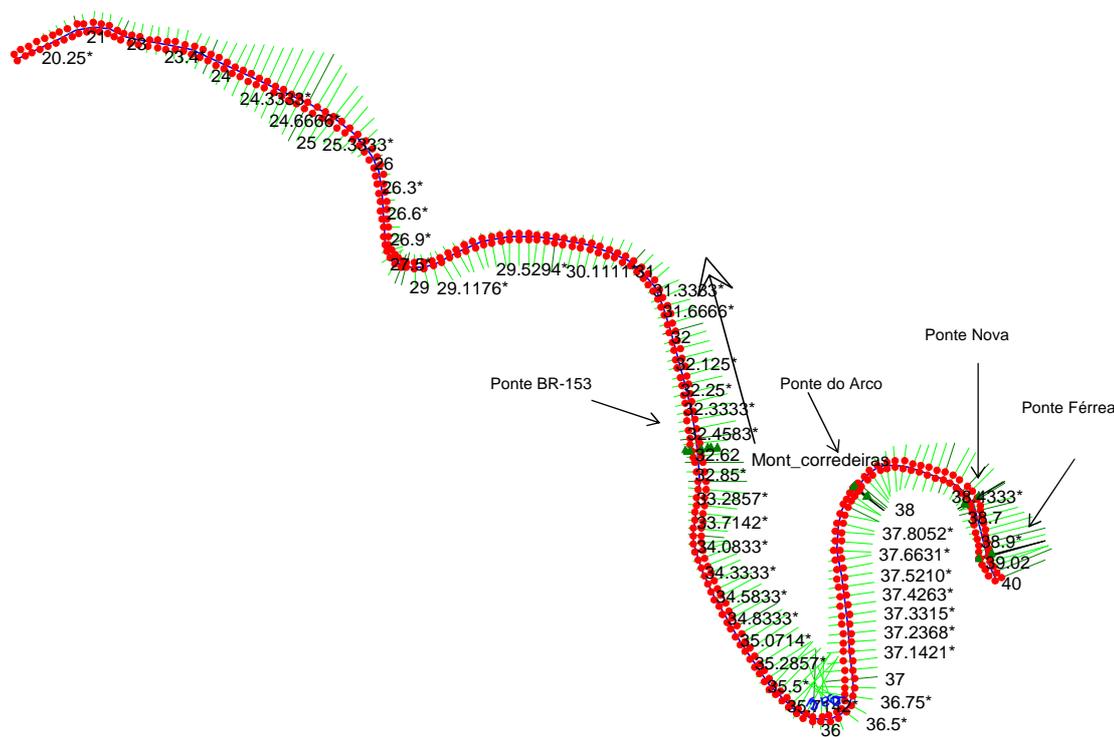


Figura 4.1 – Localização das seções transversais no trecho entre União da Vitória e Porto Vitória



**Figura 4.2 – Representação da modelagem do trecho União da Vitória – Porto Vitória**

### 4.3 Curvas de calibração

A calibração do modelo de escoamento permanente foi realizada simulando-se várias situações de escoamento com vazão variando de 100 a 6.000 m<sup>3</sup>/s. Para cada situação, considerase a cota em Porto Vitória e uma distribuição de vazões considerando os incrementos devido aos afluentes existentes no trecho. Num processo de tentativa e erro foram realizadas simulações consecutivas até que, com as rugosidades arbitradas, se atingisse a cota observada na estação de União da Vitória para a situação de vazão em questão.

Os resultados obtidos na calibração do modelo neste trecho do rio Iguazu estão apresentados na tabelas 4.1 e na figura 4.3. As rugosidades obtidas para as planícies de inundação apresentam, para o caso de grandes vazões, valores máximos do número de Manning para o tipo de vegetação existente nas regiões das planícies, inclusive superiores aos valores encontrados na literatura, HEC(2001).

O comportamento da rugosidade da calha principal e das planícies de inundação em função da vazão são inversos. A rugosidade na calha principal obedece a uma curva de variação na qual para pequenas vazões a rugosidade é alta, e decresce com o aumento da vazão até atingir um patamar de valor constante. Este comportamento deve-se ao fato do raio hidráulico do escoamento crescer com o aumento da vazão. Conseqüentemente a rugosidade relativa da calha principal diminui com o aumento da vazão, caracterizando a curva de rugosidade apresentada na Figura 4.3. Nas planícies de inundação a rugosidade cresce com o aumento da vazão, desde o último valor obtido na calha principal até valores da ordem de 0,3. O aumento da rugosidade com o aumento da vazão deve-se as características da rugosidade nas planícies. Com a elevação da cota do escoamento nas planícies, o raio hidráulico não aumenta consideravelmente como no caso da calha principal, devido ao crescimento da área de escoamento não superar o crescimento do perímetro molhado nas planícies de inundação. Além disso, com a elevação do nível d'água a resistência é aumentada, no caso das planícies em regiões urbanizadas, pela existência de obstáculos artificiais, como construções, e pela densidade da vegetação encontrada nas planícies de regiões rurais.

**Tabela 4.1 - Calibração do modelo HEC-RAS no trecho entre UV e PV**

Perfil	$Q_{uv}$	$Z_{uv}$	$Z_{cal}$ UV	$\Delta z$ (cm)	$n_{cal}$	$n_{pla}$
1	100	741,141	741,142	0,1	0,0740	0,0740
2	200	741,467	741,466	-0,1	0,0468	0,0468
3	300	741,778	741,776	-0,2	0,0387	0,0387
4	400	742,075	742,078	0,3	0,0354	0,0354
5	500	742,369	742,369	0,0	0,0341	0,0341
6	600	742,653	742,653	0,0	0,0335	0,0335
7	700	742,912	742,914	0,2	0,0329	0,0329
8	800	743,165	743,165	0,0	0,0325	0,0325
9	900	743,408	743,404	-0,4	0,0322	0,0322
10	1000	743,641	743,641	0,0	0,0321	0,0321
11	1200	744,080	744,086	0,6	0,0320	0,0320
12	1400	744,490	744,494	0,4	0,0320	0,0320
13	1600	744,879	744,879	0,0	0,0320	0,0360
14	1800	745,250	745,253	0,3	0,0320	0,0480
15	2000	745,601	745,604	0,3	0,0320	0,0580
16	2500	746,434	746,431	-0,3	0,0320	0,0890
17	3000	747,182	747,180	-0,2	0,0320	0,1140
18	3500	747,908	747,909	0,1	0,0320	0,1700
19	4000	748,578	748,576	-0,2	0,0320	0,2050
20	4500	749,219	749,216	-0,3	0,0320	0,2450
21	5000	749,847	749,843	-0,4	0,0320	0,3050
22	5500	750,420	750,422	0,2	0,0320	0,3100
23	6000	750,993	751,005	1,2	0,0320	0,3100

No gráfico das figuras 4.3 estão apresentadas às curvas de calibração para a calha principal e para as planícies de inundação.

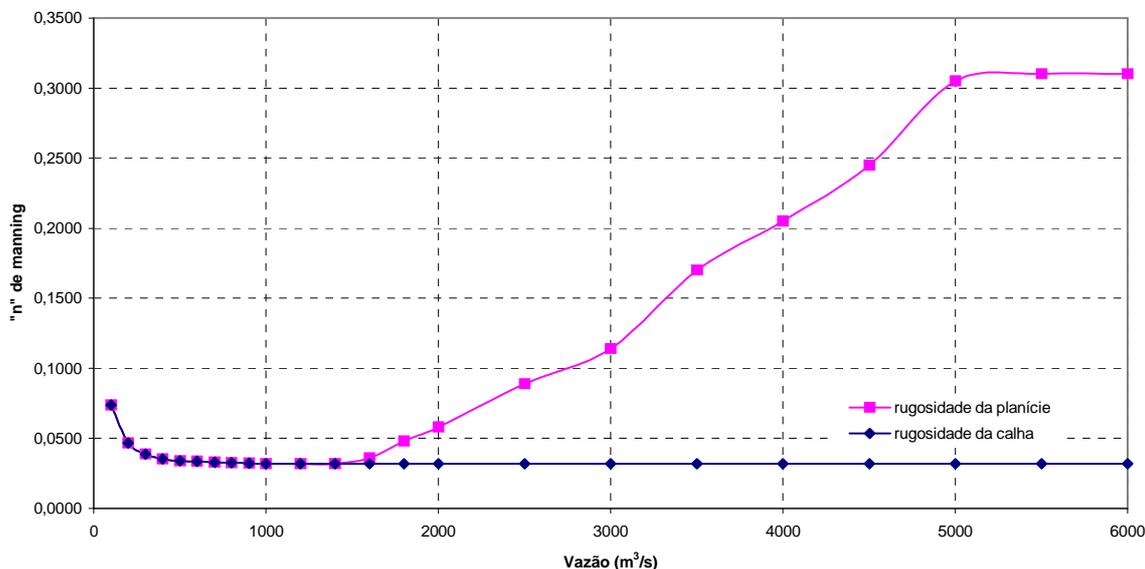


Figura 4.3 – Curvas de calibração obtidas para o trecho União da Vitória – Porto Vitória

## **5. O EFEITO DA ESTRUTURA DAS PONTES SOBRE OS NÍVEIS DE CHEIA EM UNIÃO DA VITÓRIA E PORTO UNIÃO**

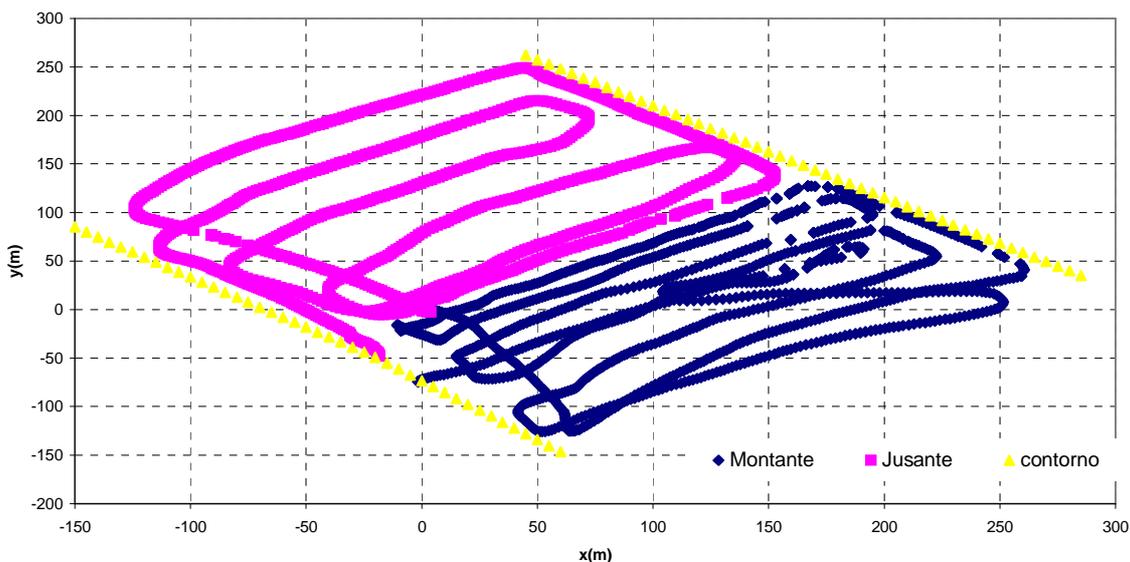
Este capítulo trata da análise do efeito da estrutura das pontes sobre os níveis de enchente nos municípios de União da Vitória e Porto União. No item 5.1 descrevem-se os levantamentos de campo realizados em março e maio de 2004 com objetivo de levantar os dados necessários para modelagem destas estruturas. No segundo item, 5.2, estão descritos os métodos utilizados pelo software HEC-RAS na quantificação dos efeitos da estrutura das pontes sobre o escoamento. E no terceiro item apresentam-se os resultados obtidos para cada uma das quatro pontes existentes no trecho do rio Iguaçu em análise.

### **5.1 Os levantamentos de campo realizados nas pontes em análise**

Devido à necessidade de um levantamento detalhado da geometria da estrutura das pontes existentes na região de União da Vitória – Porto União foi realizada uma campanha de trabalhos na região. Em março de 2004 foram levantados dados geométricos das quatro pontes existentes na região do estudo: antiga Ponte Férrea, Ponte Domicio Scaramella - “Ponte Nova”, “Ponte do Arco” e a ponte da BR-153. Nestes trabalhos foram realizadas medições com apoio de topografia, de forma a referenciar as cotas dos principais elementos em relação ao nível médio dos mares. Paralelamente, foram detalhadas as dimensões de todos os pilares e detalhes dos aterros de aproximação. As dimensões e as informações da geometria das pontes estão apresentadas no Apêndice “A” deste relatório, em 4 pranchas. Em cada um destes desenhos apresenta-se: uma vista longitudinal das pontes; detalhes dos pilares; locação do vão principal na calha do rio; e seções transversais dos aterros de aproximação.

Paralelamente aos levantamentos geométricos da estrutura das pontes, foram realizados levantamentos das seções transversais da calha principal nas regiões das pontes. Este trabalho foi realizado com auxílio de um ADCP- “Acoustic Doppler Current Profiler”. Com o ADCP foram realizadas varreduras sistemáticas nas regiões das pontes, numa área que englobava aproximadamente 200 m a montante e a jusante do eixo da ponte em questão, como o exemplo da figura 5.1, que demonstra o percurso realizado com o ADCP na calha principal do rio Iguaçu na região da “Ponte Nova” (Ponte Domicio Scaramella). Realizando-se esta varredura na região das pontes foi possível coletar informações de profundidade em cada ponto demonstrado no exemplo da figura 5.1. Com auxílio de um levantamento altimétrico determinou-se o nível

d'água no momento deste levantamento com o ADCP. Desta forma as profundidades levantadas com o ADCP foram transformadas em cotas relativas ao nível do mar. A partir destes pontos foram interpoladas curvas de nível do fundo do rio Iguaçu no local das pontes, e a partir deste resultado, foram extraídas três seções transversais em cada ponte: uma pelo eixo da estrutura; uma aproximadamente 200 m a montante do eixo; e outra 200 m a jusante do eixo.



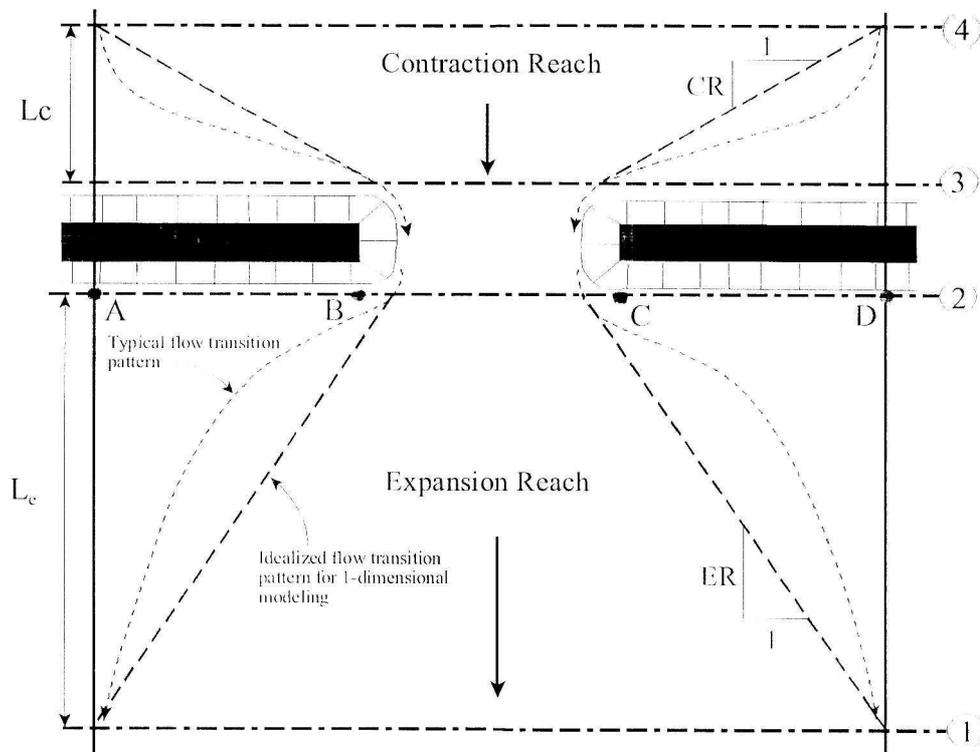
**Figura 5.1 – Percurso realizado com ADCP na região da “Ponte Nova”**

## 5.2 Métodos de modelagem do efeito de pontes

O efeito da estrutura de uma ponte sobre o escoamento de um rio faz com que haja uma elevação do nível de água a montante da ponte, para compensar a resistência oferecida por esta estrutura inserida no caminho natural das águas. Esta elevação do nível de água a montante da estrutura pode ser interpretada também como uma perda de energia do escoamento. Esta perda de energia, ou sobrelevação da superfície livre deve-se a três fatores:

- a) A contração do fluxo na região de aproximação da ponte;
- b) A estrutura da ponte propriamente dita;
- c) A expansão do fluxo na região de restituição do escoamento, a jusante da estrutura.

Na figura 5.2 ilustra-se esquematicamente, em planta, os efeitos de contração e expansão do fluxo ocasionado pela geometria dos aterros de aproximação de uma ponte:



**Figura 5.2 – Ilustração do efeito de contração e expansão do fluxo pelos aterros da ponte**

Fonte: HEC(2001)

O modelo HEC-RAS divide o escoamento em 2 tipos para análise do escoamento das pontes: vazões baixas e vazões altas. No primeiro tipo a cota do escoamento do canal não atinge o tabuleiro da ponte, já no segundo caso o escoamento atinge cotas iguais ou superiores ao tabuleiro da ponte analisada.

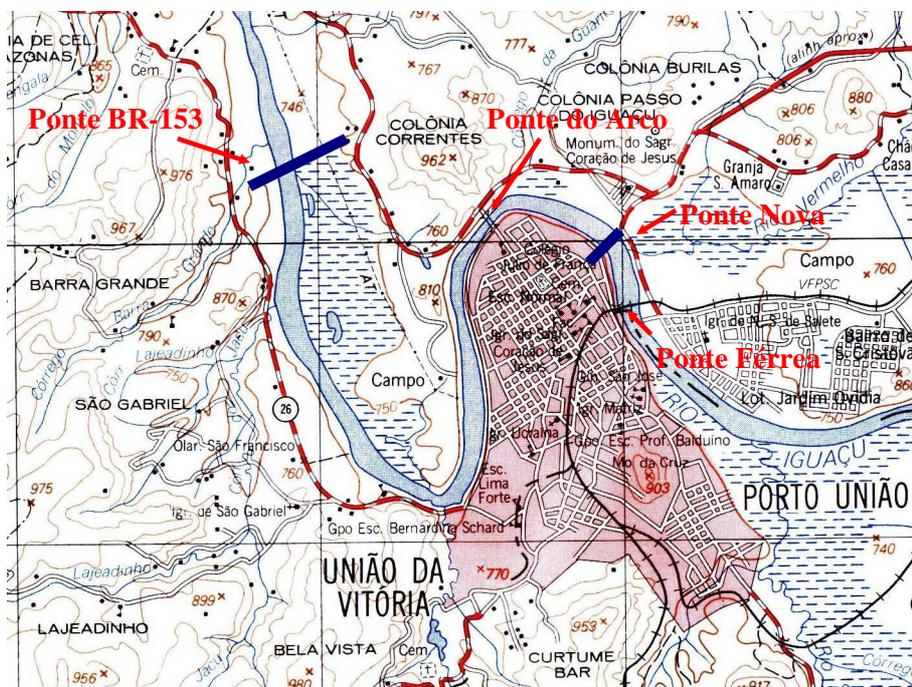
Os métodos de análise de “vazões baixas” são divididos em três classes: “A”, “B” e “C”. Na classe “A” são tratados os escoamentos subcríticos, na classe “B” são modelados os escoamentos com transição de regime sobre a ponte, ou seja, com a existência de um ressalto hidráulico sob a estrutura, e a classe “C” trata dos escoamentos supercríticos tanto a montante como a jusante da ponte.

No caso do escoamento na região deste estudo, entre União da Vitória e Porto Vitória, o

escoamento nas cheias se desenvolve em regime subcrítico para toda amplitude de vazões. Por este motivo os métodos utilizados na modelagem do efeito das pontes são da Classe “A”, dos métodos de “baixas vazões”, devido ao fato do escoamento não encontrar o tabuleiro das pontes no trecho entre União da Vitória e Porto Vitória.

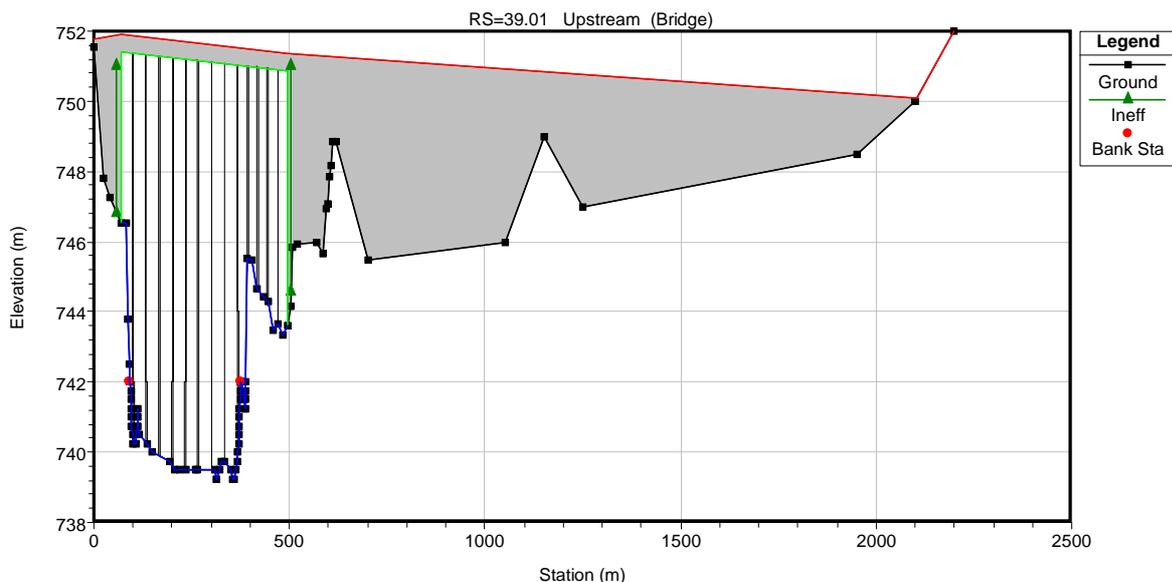
Os escoamentos de Classe “A” podem ser modelados no HEC-RAS por quatro métodos: Equação da Energia, Balanço de “Momentum”, Equação de Yarnell e o método FHWA WSPRO. A equação da energia é aplicada na análise de pontes nas quais o efeito dos pilares não é preponderante, e a perda de energia deve a contração e expansão do fluxo. O método de Balanço de “Momentum” é utilizado nas estruturas onde as forças de arraste dos pilares são predominantes no efeito da ponte sobre os níveis de cheia. O método de Yarnell é utilizado onde o efeito dos pilares é preponderante no escoamento, ou onde ocorre ressalto hidráulico sob a ponte. O último método, o FHWA WSPRO, é utilizado onde os pilares não são significativos.

Na análise das pontes existentes na região de União da Vitória – Porto União utilizou-se o método da Equação da Energia. Nas figuras 5.4 a 5.7 ilustra-se esquematicamente a modelagem de cada uma das pontes existentes no trecho entre União da Vitória e Porto Vitória.



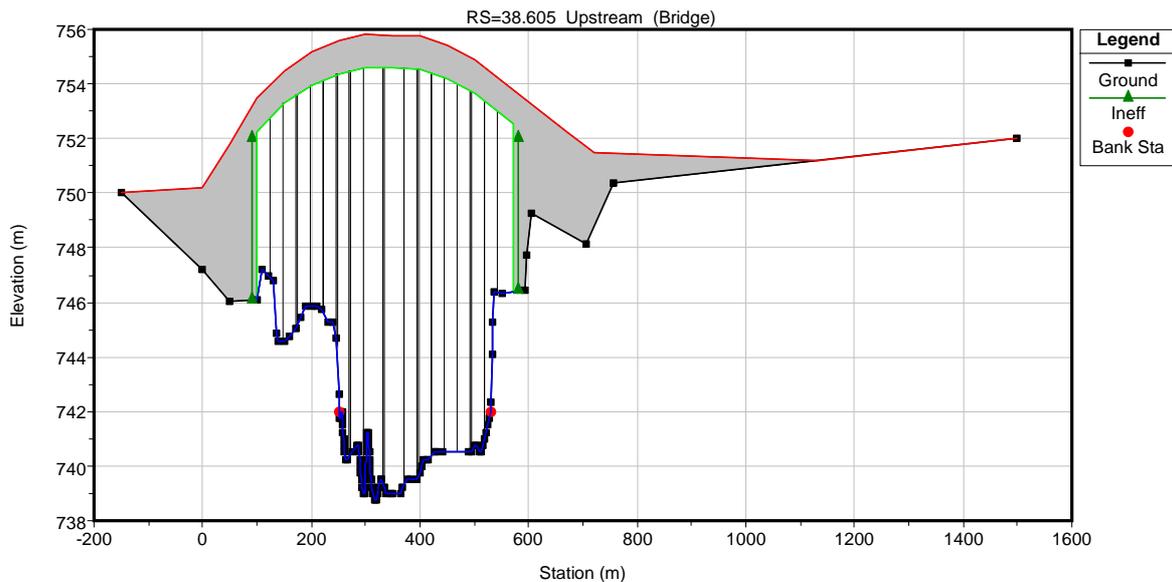
**Figura 5.3 – Localização das pontes no rio Iguçu**

Fonte: IBGE(1974)



**Figura 5.4 – Vista longitudinal esquemática da ponte férrea**

Na figura 5.4 ilustra-se a modelagem da antiga ponte férrea. A figura A-1 do apêndice “A” contém os dados levantados em campo nesta ponte. O vão principal totaliza 426,87 m, e possui 14 vãos que variam de 24,70 a 33,80 m. O efeito dos aterros foi modelado considerando coeficiente de contração igual a 0,3 e de expansão igual a 0,5. Os pilares desta ponte foram construídos originalmente em alvenaria de pedra, e posteriormente, na calha do rio, foram implantados pilares de concreto com seção inferior as originais, conforme informações da figura A-1.



**Figura 5.5 – Vista longitudinal esquemática da “ponte nova” – Domicio Scaramella**

Na figura 5.5 está representada em vista longitudinal a Ponte Nova (Domicio Scaramella). Devido à distorção entre a escala vertical e horizontal da figura, o tabuleiro da ponte resultou num formato arco acentuado, cabe então ressaltar que esta estrutura não é a chamada “ponte do Arco”, ou a ponte Manoel Ribas, que está representada na figura 5.6, na qual não está apresentado o arco da estrutura, por não ter finalidade nesta análise hidráulica. A ponte Nova, figura 5.5, apresenta uma estrutura com 468,55 m de extensão, apoiada em 17 conjuntos de pilares, formado cada um por um par de pilares com diâmetro de 1,20 m. Os vãos entre estes pilares variam desde 24,60 e 38,00 m. Os coeficientes de contração e expansão do fluxo, utilizados no método da equação da energia, são respectivamente 0,3 e 0,5.

A Ponte do Arco, ou ponte Interventor Manoel Ribas está representada na figura 5.6. Esta ponte possui uma característica marcante se comparada as demais pontes existentes nesta região. O eixo desta ponte foi construído numa seção de pequena largura na calha principal do rio, e o aterro de aproximação na margem esquerda constitui uma “barragem” ao escoamento das cheias por esta planície de inundação. A estrutura na calha principal possui uma extensão de 192,10 m, com seis vãos de 17,00 m e um vão principal de 86,60 m. Por este motivo a contração e a expansão do fluxo na região de influência desta ponte é mais importante que nas demais pontes, de forma que os coeficientes de contração e expansão utilizados na modelagem desta ponte são 0,5 e 0,8 respectivamente, conforme HEC(2001).

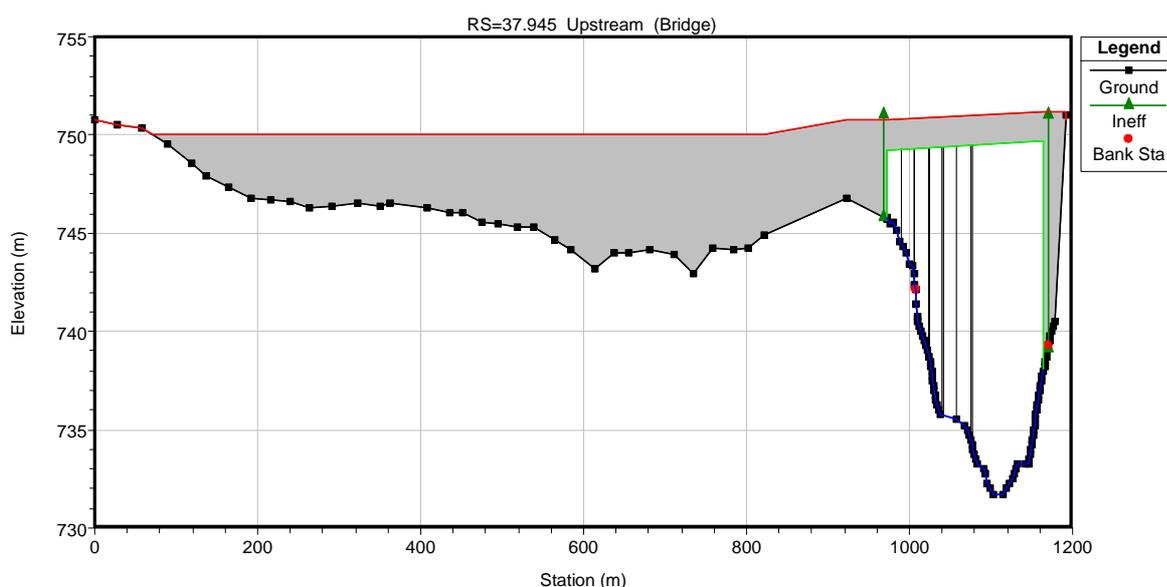
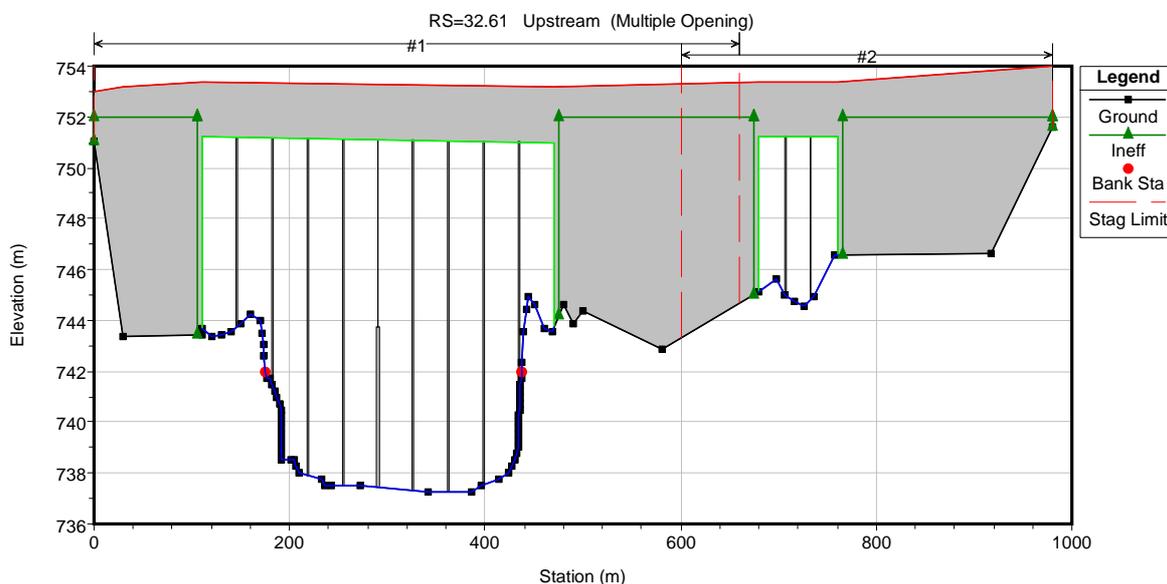


Figura 5.6 – Vista longitudinal esquemática da “ponte do Arco” – Ponte Manoel Ribas

Os pilares da ponte do Arco possuem formatos diversos conforme detalhes apresentados na figura A-3.

A ponte da BR-153, localizada alguns quilômetros a jusante de União da Vitória apresenta duas estruturas sobre o leito do rio Iguazu. A estrutura existente na calha principal possui 10 vãos de 36,00 m cada um, apoiado em pares de pilares com diâmetro de 1,20 m cada um. Na planície direita há uma segunda estrutura, com uma abertura de 70 m destinada à passagem das cheias da planície de inundação da margem direita. Esta estrutura apresenta um vão central de 25,00 m e dois laterais de 22,50 m, apoiados sobre dois pares de pilares com seção octogonal, com lado de 37 cm. Na figura 5.7 ilustra-se a vista longitudinal da ponte da BR-153.



**Figura 5.7 – Vista longitudinal esquemática da ponte da BR-153 e da ponte “Banhado do Iguazu”**

### **5.3 Determinação dos acréscimos de nível na régua de União da Vitória devido à existência das pontes no rio Iguazu**

A análise do efeito das pontes sobre os níveis de cheia em União da Vitória – Porto União foi realizada calculando-se o perfil da superfície livre desde o posto fluviométrico de Porto Vitória até o posto de União da Vitória. Conforme explanação do item 5.1, o efeito das pontes deve-se a dois fatores basicamente, a resistência de arraste dos pilares, e a presença dos aterros de aproximação que contraem e expandem o fluxo. Para cada ponte foram realizadas dois tipos de simulação, uma na qual simulou-se o efeito da retirada de toda estrutura e outra na qual

simulou-se o perfil da superfície livre com a retirada dos pilares da pontes, ou seja, desta maneira foram simulados apenas os efeitos ocasionados pelos aterros de aproximação das pontes. Nos gráficos apresentados no próximo item, as funções identificadas como “Efeito da retirada dos pilares”, equivalem a influência somente dos aterros de aproximação nos níveis de cheia.

### 5.3.1 Análise do efeito das pontes

Para cada ponte em análise foram realizadas simulações com variação de vazões desde 100 até 6.000 m<sup>3</sup>/s. Nos gráficos das figuras 5.8 a 5.11 apresentam-se graficamente os resultados da análise realizada em cada ponte. Os efeitos foram analisados no local da ponte e no posto fluviométrico de União da Vitória. Por se tratar de escoamento subcrítico os valores encontrados no local da ponte serão sempre superiores aos valores encontrados no posto de União da Vitória, pelo motivo equivalente ao ilustrado na figura 3.7 do item 3.3. É importante salientar novamente que a as simulações intituladas “efeito da retirada dos pilares” tem a finalidade de avaliar somente a influência dos aterros de aproximação, e não de uma obra irreal como a retirada dos pilares das pontes.

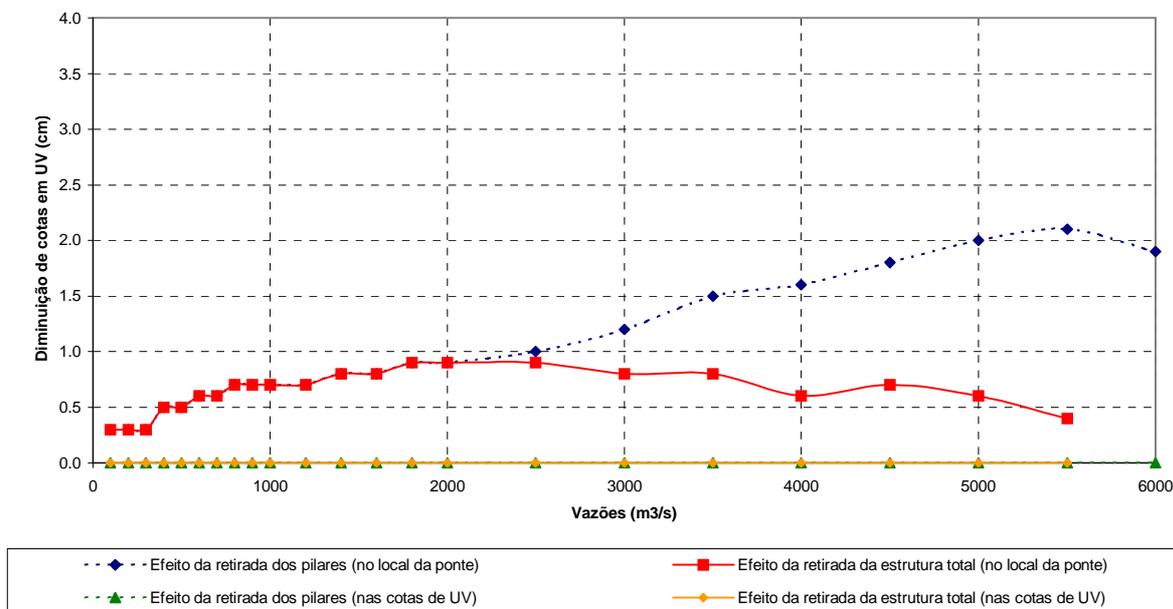


Figura 5.8 – Análise do efeito da antiga ponte férrea

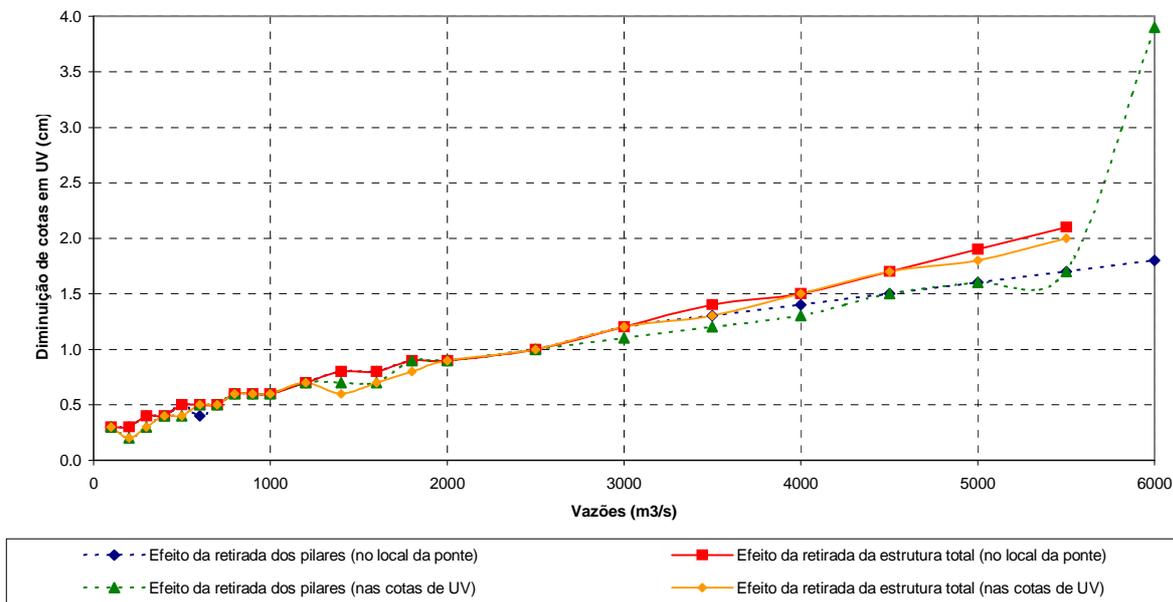


Figura 5.9 – Análise do efeito da ponte Nova

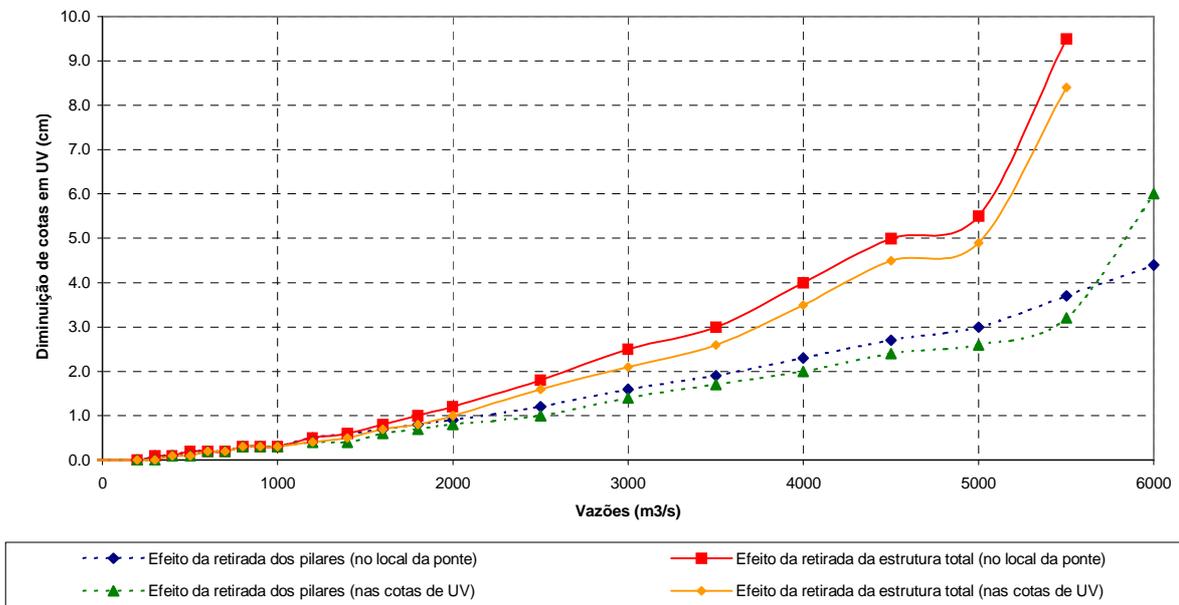
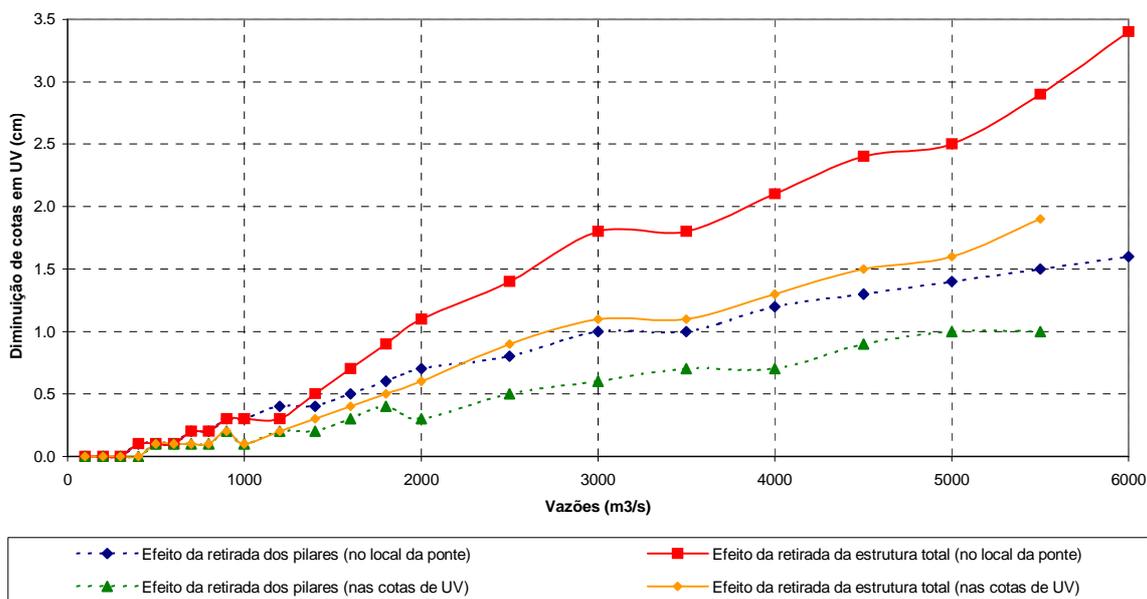


Figura 5.10 – Análise do efeito da “ponte do Arco”



**Figura 5.11 – Análise do efeito da ponte da BR-153**

Na tabela 5.1 apresenta-se um resumo do efeito de cada ponte durante a cheia de 1983. Os números apresentados equivalem à elevação do nível de água, em centímetros, na régua do posto fluviométrico de União da Vitória, ou imediatamente a montante do local das pontes analisadas. Os resultados estão divididos entre: efeito total da ponte; e efeito dos aterros de aproximação (retirada dos pilares).

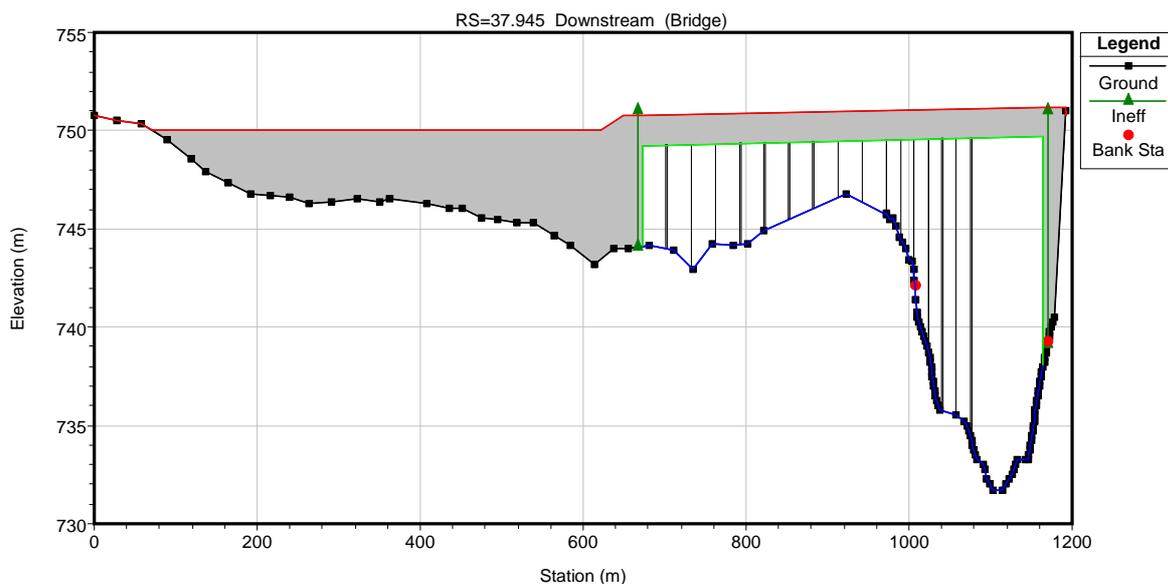
**Tabela 5.1 – Efeito da estrutura das pontes no nível da cheia de 1983 (em cm)**

	BR-153	Arco	Nova	Férrea
Efeito da retirada dos pilares (efeito dos aterros), no local da ponte	1,4	3,0	1,6	2,0
Efeito da retirada total, no local da ponte	2,5	5,5	1,9	0,6
Efeito da retirada dos pilares (efeito dos aterros), em União da Vitória	1,0	2,6	1,6	0,0
Efeito da retirada total, em União da Vitória	1,6	4,9	1,8	0,0

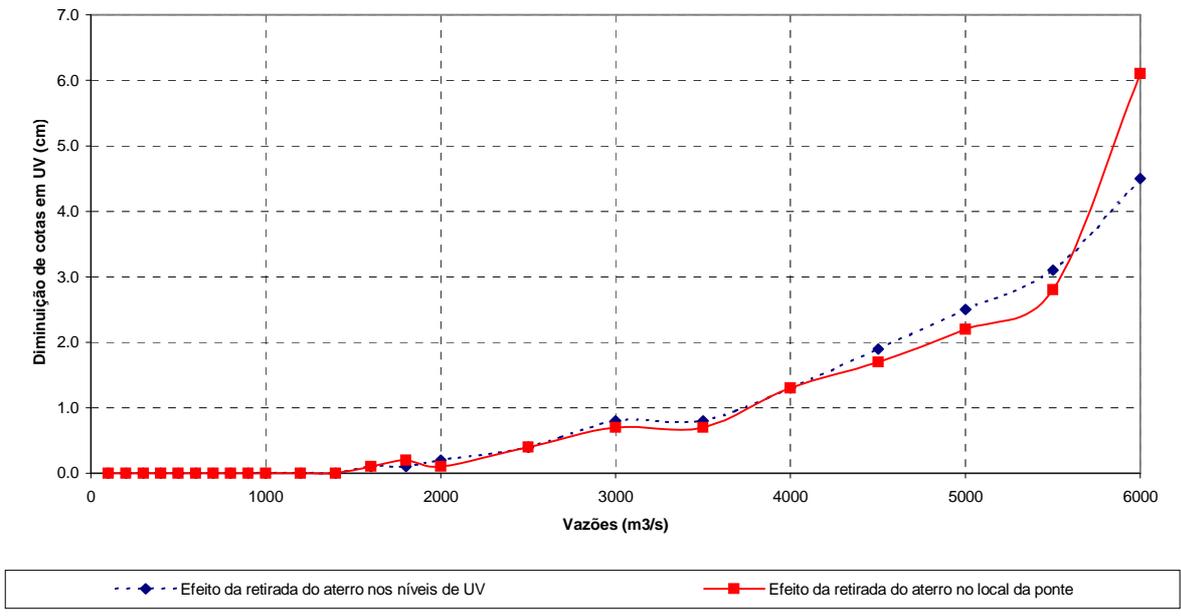
### 5.3.2 Análise do efeito da retirada do aterro da “Ponte do Arco”

Neste item apresentam-se os resultados de uma análise que visou avaliar o benefício de uma obra na ponte do Arco, com a finalidade de diminuir seus efeitos sobre os níveis de cheia em União da Vitória. Nesta simulação analisou-se o efeito da retirada de 100 m do aterro de aproximação da ponte do Arco na margem esquerda. Neste tramo, foram implantados pares de pilares com vãos de 17 m, com seções idênticas aos vãos já existentes, como apresentado na figura 5.12.

No gráfico da figura 5.13 estão apresentados os resultados desta análise, na qual foram simuladas situações de vazões desde 100 a 6.000 m<sup>3</sup>/s. Os resultados encontrados são insignificativos do ponto de vista prático para redução dos níveis de cheia. Para o caso da cheia de 1983 os resultados são de aproximadamente 2,5 cm de redução de nível.



**Figura 5.12 – Modelagem da “ponte do Arco” considerando a retirada de parte do aterro de aproximação**



**Figura 5.13 – Efeito da retirada de parte do aterro de aproximação da ponte do Arco**

## 6. ESCAVAÇÕES NA CALHA PRINCIPAL DO RIO IGUAÇU

Neste capítulo são apresentados os resultados de análises a respeito de possíveis alterações estruturais na calha principal do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória. No primeiro item, 6.1, apresenta-se os resultados de uma análise dos benefícios da retirada de areia da calha principal do rio Iguaçu. No item 6.2, é apresentada uma análise dos efeitos de escavações no leito do rio entre a curva da Ressaca e Porto Vitória. No item 6.3 foram novamente simuladas as hipóteses de rebaixamento da calha principal do rio propostas pela JICA em 1995. No item 6.4 apresentam-se os resultados de soluções estruturais que englobam a retirada das corredeiras de Porto Vitória.

### 6.1 Os benefícios da extração de areia na calha do rio Iguaçu a jusante de União da Vitória

Os benefícios da retirada de areia do fundo da calha principal do rio Iguaçu foram comprovados no estudo CEHPAR(2002), no qual constatou-se que a extração de areia existente a jusante de União da Vitória foi a origem do rebaixamento encontrado na curva de descarga do posto fluviométrico de União da Vitória, que para uma vazão de  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , equivalente a cheia de 1983, atingiu 22 cm.

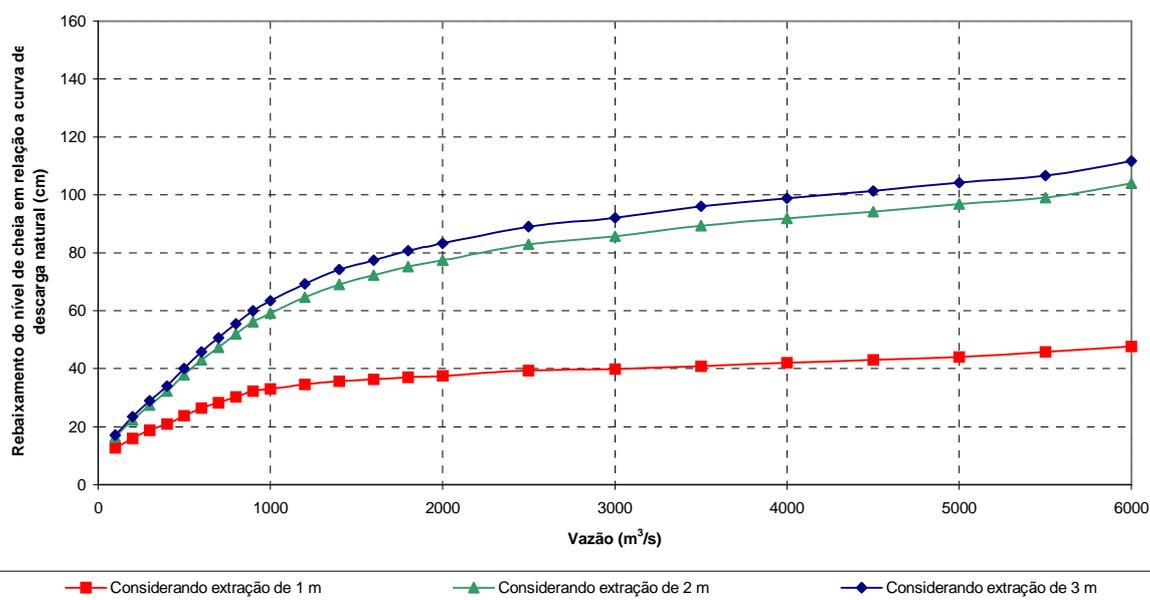
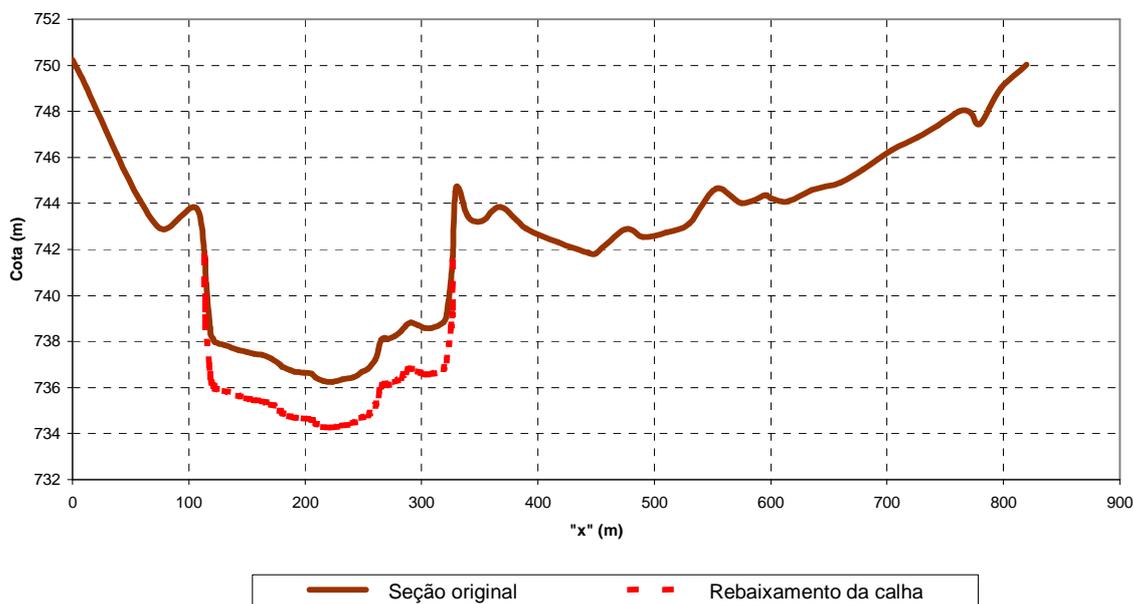


Figura 6.1 – Diminuição do nível do escoamento em União da Vitória considerando rebaixamentos na cota do fundo do rio Iguaçu

Considerando-se a conclusão descrita no parágrafo anterior, simulou-se neste presente projeto os benefícios da extração de areia na calha principal do rio Iguaçu a jusante das cidades de União da Vitória e Porto União. Foram realizadas simulações considerando rebaixamentos de 1, 2 e 3 metros na calha principal, entre a Ponte Domicio Scaramella, e a curva da Ressaca. Em inspeções realizadas em campo notou-se a existência de afloramentos rochosos na região da ponte Domicio Scaramella, por este motivo o trecho de rebaixamento do fundo foi considerado entre estes dois pontos, e não foi considerado iniciando-se nas proximidades do posto fluviométrico de União da Vitória. Na figura 6.1 apresentam-se os resultados para os rebaixamentos propostos de 1, 2 e 3 m na calha principal, para vazões simuladas entre 100 e 6.000 m<sup>3</sup>/s. Na figura 6.2 apresenta-se o exemplo da seção transversal “M4”, na qual a calha principal foi rebaixada em 2 metros com a consideração de extração de areia.

Os resultados demonstram que para vazões da ordem de 5.000 m<sup>3</sup>/s, um rebaixamento de 2 metros na calha principal poderia diminuir em quase 1 metro a cota de inundação da cheia de 1983.

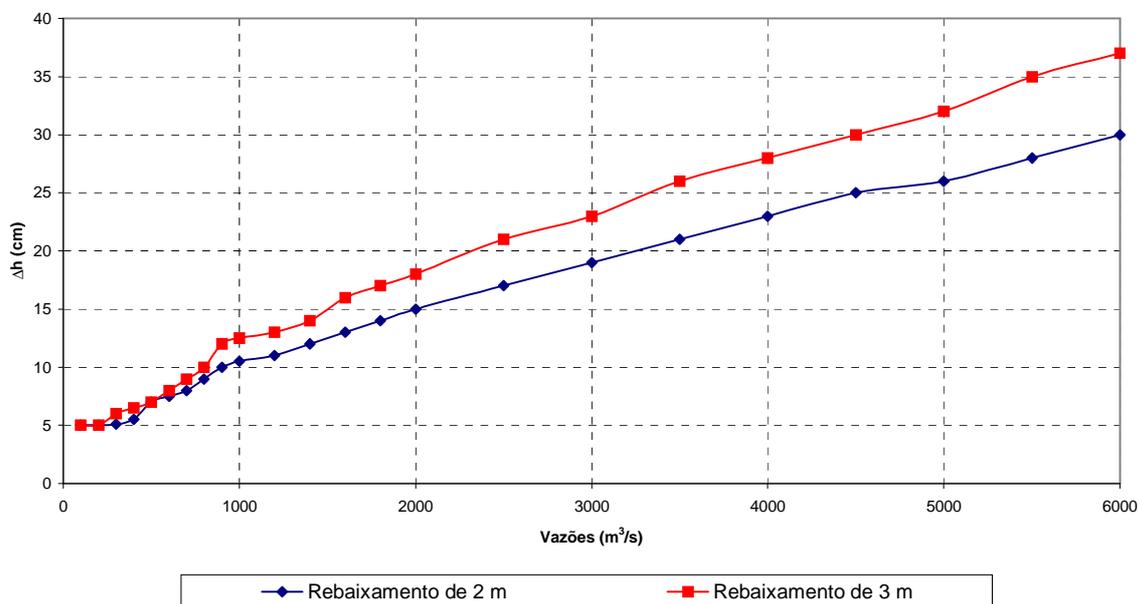


**Figura 6.2 – Perfil original da seção transversal “M4” e perfil da calha principal após rebaixamento de 2 metros**

## 6.2 Escavações na calha principal entre a curva da Ressaca e Porto Vitória

Na análise realizada no item 3.4 constatou-se, como ilustrado nas figuras 3.8 a 3.10, que a jusante da Curva da Ressaca ocorre uma significativa redução da conveyance das seções transversais, acompanhada de um correspondente aumento na declividade da linha de energia. Por este motivo, neste presente item, foram simuladas intervenções na calha principal do rio Iguaçu no trecho entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória.

No trecho entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória há um ponto de transição da morfologia da calha principal. Nas proximidades da foz do rio da Prata, localizada 2 km a jusante da curva da ressaca, o fundo da calha principal no qual eram predominantes os depósitos de areia, passa a apresentar uma característica rochosa no sentido de jusante. Por este motivo, para execução das escavações propostas neste item deste relatório seria necessário realizar remoção de rocha submersa. Foram considerados dois cenários nesta análise, o primeiro com 2 metros de rebaixamento entre as seções “M3” e “R5”, e outro com 3 metros de rebaixamento. Os resultados para simulações com vazões desde 100 até 6.000 m<sup>3</sup>/s estão apresentados no gráfico da figura 6.3.



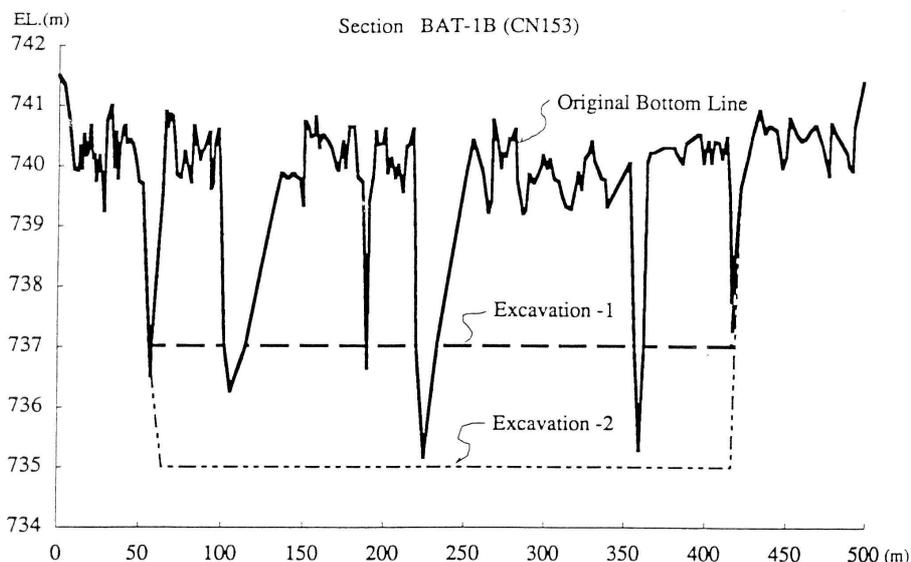
**Figura 6.3 – Diminuição de níveis em União da Vitória devido ao rebaixamento da calha principal entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória**

Nota-se na figura 6.3 que apesar dos grandes volumes de escavação envolvidos nestas

hipóteses, o rebaixamento dos níveis de cheia nas cidades não são significativos. Os ganhos de rebaixamento obtidos no local das escavações são amortecidos no trajeto até as cidades, conforme explicação da figura 3.7. Isto se deve a distância existente entre a localização da intervenção proposta, e as cidades de União da Vitória e Porto União. Para a cheia de 1983, as reduções de nível nas cidades seriam de 26 e 32 centímetros para rebaixamentos de 2 e 3 metros respectivamente.

### 6.3 Simulação das escavações propostas pela JICA em 1995

No estudo realizado pela JICA(1995) foram analisadas soluções estruturais e não-estruturais para as cheias de União da Vitória e Porto União. Uma das soluções estruturais investigada neste antigo estudo foi a de escavações na calha principal do rio Iguaçu ao longo dos 27 km do trecho entre as estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória. A JICA propôs dois cenários de escavação neste trecho.

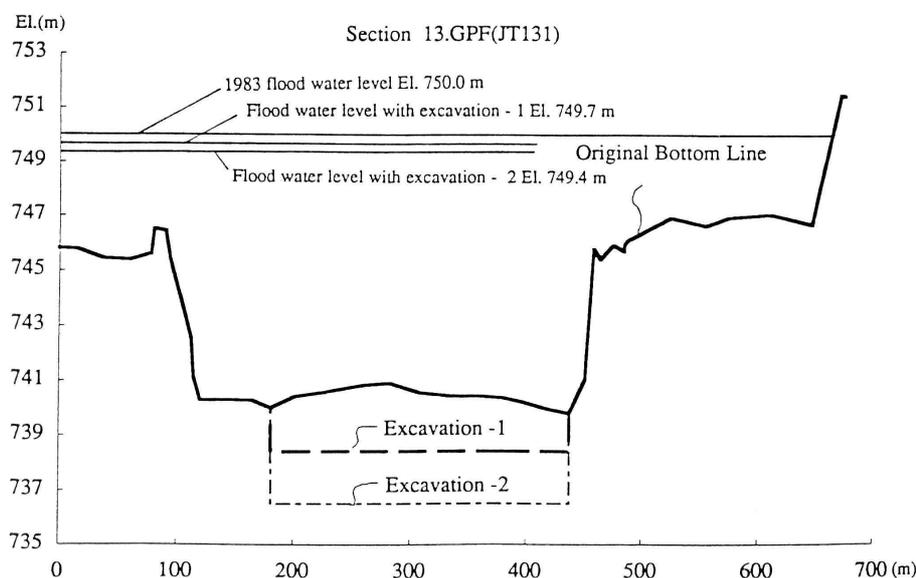


**Figura 6.4 – Perfis de escavação na seção das corredeiras de Porto Vitória**

Fonte: JICA (1995)

O primeiro cenário de escavação propunha um rebaixamento das seções em Porto Vitória até na cota 737 m, a partir desta seção, no sentido de montante, foi estabelecido uma linha de talvegue com declividade de 1:20.000, de forma que em União da Vitória a cota prevista seria

738,40 m. Com esta hipótese todo fundo original existente acima desta linha de talvegue seria escavado. A segunda hipótese é análoga à primeira, mas a cota de escavação implantada em Porto Vitória seria de 735 m, e com a declividade fixa em 1:20.000, a cota prevista em União da Vitória seria 736,40 m. Este segundo cenário foi definido como “grande escavação”. Na figura 6.4 está representada a seção BAT-1B, localizada 1 km a jusante da estação fluviométrica de Porto Vitória. Nesta figura estão apresentadas as modificações propostas pela JICA nos dois cenários de escavação. Na figura 6.5 está apresentada uma seção na região de União da Vitória e as modificações propostas no fundo da calha principal nos dois cenários investigados.

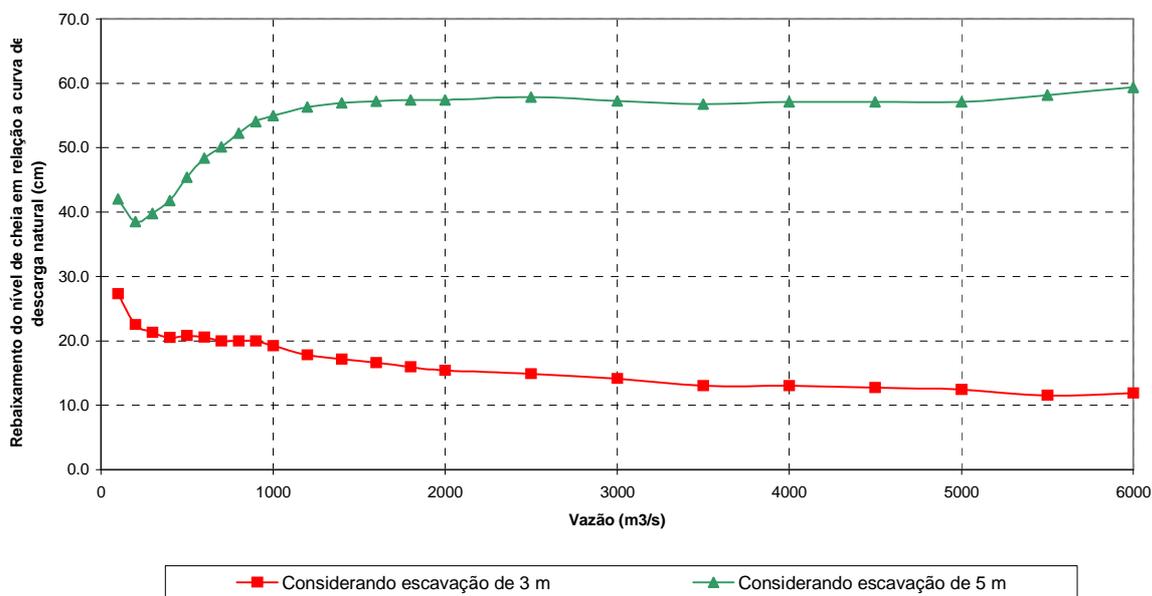


**Figura 6.5 – Perfis de escavação de uma seção na região de União da Vitória**

Fonte: JICA (1995)

No gráfico da figura 6.5 estão apresentados os resultados obtidos neste presente estudo para os cenários de escavação propostos pela JICA. Nota-se que para o primeiro cenário, com escavação de 3 metros, os rebaixamentos de nível decaem com o aumento da vazão, e que para o segundo cenário os rebaixamentos obtidos crescem com o aumento da vazão. Para o primeiro cenário o rebaixamento de nível encontrado para a vazão equivalente a cheia de 1983 foi de 12 cm, e de 57 cm para o segundo cenário. Os valores calculados pela JICA (1995) eram de 30 e 60 cm respectivamente. Estas diferenças devem-se as seções transversais utilizadas, que diferem de um projeto a outro. Independente deste detalhe, a conclusão de ambos os estudos demonstra que

esta hipótese de delimitação de um talvegue com declividade de 1:20.000 simultaneamente a escavação de 3 e 5 metros em Porto Vitória, não traz reduções significativas das cheias em União da Vitória e Porto União.



**Figura 6.6 – Rebaixamentos de nível das cheias em União da Vitória para os cenários de escavação da JICA**

Nota-se que os cenários de escavação propostos pela JICA não contemplavam exatamente o rebaixamento de todas as seções em 3 e 5 metros. Os cenários idealizados propunham um rebaixamento com 3 e 5 metros na seção BAT-1B localizada nas corredeiras de Porto Vitória. A partir deste ponto uma linha de talvegue com declividade de 1:20.000 no sentido de montante delimitava o fundo das demais seções. Por este motivo muitas das seções originais, que possuíam cotas de fundo mais baixas que a linha do talvegue, não seriam alteradas nesta proposta. Por este motivo, as simulações realizadas no item 6.1, e que contemplaram escavações de 1, 2 e 3 m entre a Curva da Ressaca e União da Vitória, forneceram resultados mais expressivos que as escavações da JICA(1995). Deve-se então ao fato de que os cenários do item 6.1 contemplavam o rebaixamento de todos os pontos de cada seção e de todas as seções do trecho analisado em 1, 2 ou 3 metros !

### 6.4 Considerações sobre o rebaixamento das corredeiras de Porto Vitória

Um questionamento que ainda persiste na comunidade dos municípios de Porto União e União da Vitória é sobre o efeito, nas enchentes, da retirada das rochas que formam as “corredeiras de Porto Vitória”. De todas as soluções estruturais planejadas para o problema das enchentes neste trecho do rio Iguaçu, certamente esta é a mais dispendiosa de todas, por necessitar de grandes escavações em rochas em seções de grande velocidade do rio Iguaçu.

Neste item apresentam-se os resultados de algumas simulações realizadas que visam simular os efeitos da retirada das corredeiras de Porto Vitória. Constatou-se que apenas a remoção das corredeiras não resultaria em rebaixamento de nível significativo nas cidades, pois o controle de nível localizado nesta soleira natural, simplesmente se deslocaria para montante, e a superfície livre “recuperaria” as grandes cotas de cheia no percurso até União da Vitória. Esta afirmação está ilustrada na figura 6.7, onde se pode notar a existência de uma curva de remanso do tipo “F2”, com cotas inferiores a 740 m na região da régua R5.

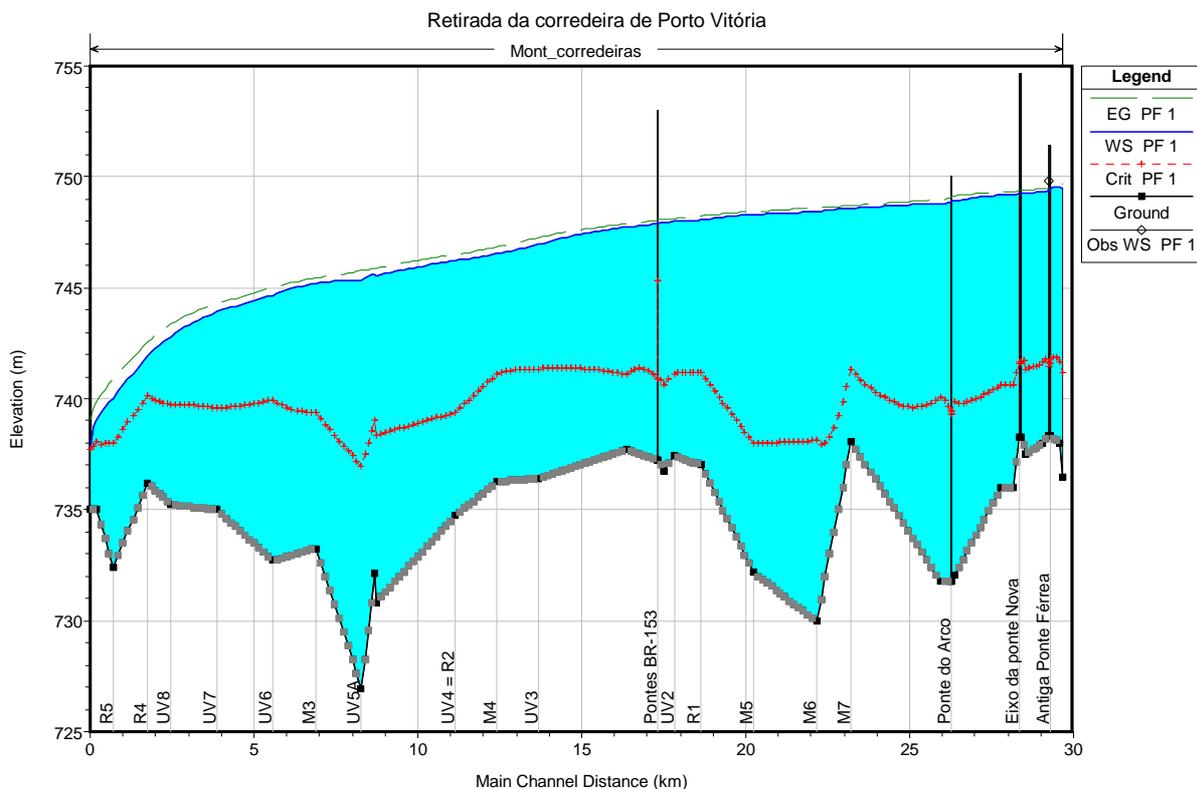
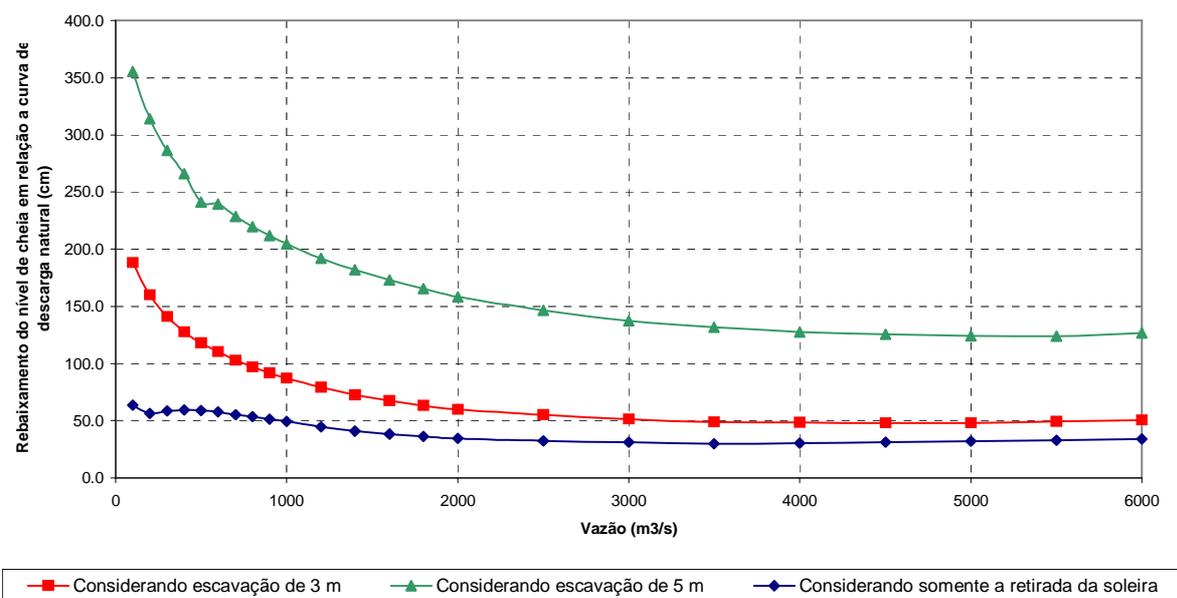


Figura 6.7 – Perfil longitudinal do rio Iguaçu calculado para hipótese de retirada das corredeiras de Porto Vitória

Duas outras simulações complementares foram realizadas considerando a retirada das corredeiras de Porto Vitória. Somando-se a hipótese dos parágrafos anteriores, foram consideradas as escavações da JICA simuladas no item 6.3. Na figura 6.8 apresentam-se os resultados de três simulações: somente retirada das corredeiras; retirada das corredeiras e escavação de 3 metros conforme a JICA (1995); e retirada das corredeiras e escavação de 5 metros conforme a JICA (1995).



**Figura 6.8 – Rebaixamento de níveis em União da Vitória para combinação de retirada das corredeiras e escavações da JICA(1995)**

No gráfico da figura 6.8 observa-se que para o caso da cheia de 1983 (5000 m<sup>3</sup>/s), o melhor benefício obtido seria o rebaixamento de 1,25 m na cota de inundação em União da Vitória e Porto União, considerando a retirada das corredeiras e a escavação de 5 m proposta pela JICA.

Além do grande custo, esta obra poderia resultar em grandes impactos ambientais, a MAGNA (1984) cita que esta remoção de rocha poderia causar grandes modificações geomorfológicas na calha do rio Iguaçu. A JICA(1995) desconsiderou esta solução estrutural devido ao seu alto custo, baixa relação benefício/custo e ao risco de grandes impactos ambientais, como processos erosivos que comprometeriam a estabilidade das margens do rio.

## 7. ALARGAMENTO DA CALHA PRINCIPAL NO TRECHO UNIÃO DA VITÓRIA – PORTO VITÓRIA

Este capítulo analisa os efeitos de alargamentos da calha principal do rio Iguaçu no trecho entre as estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória. O primeiro item, 7.1, apresenta os resultados de alargamentos na calha principal no trecho em análise. No segundo item, 7.2, foram reconfirmados os resultados anteriores a respeito de alterações na curva da Ressaca.

### 7.1 Alargamento de seções transversais entre União da Vitória e Porto Vitória

Em contrapartida ao capítulo anterior, que trata de escavações no leito principal do rio Iguaçu, foram realizadas algumas simulações com intuito de verificar os benefícios de alargamentos na calha principal do rio Iguaçu. Este tipo de obra tem por objetivo aumentar a largura da calha principal do rio conforme o exemplo da figura 7.1. Nesta figura está demonstrado um alargamento de 50 metros na margem direita da calha principal da seção transversal “UV8” (ver localização na figura 4.1 – pg 31).

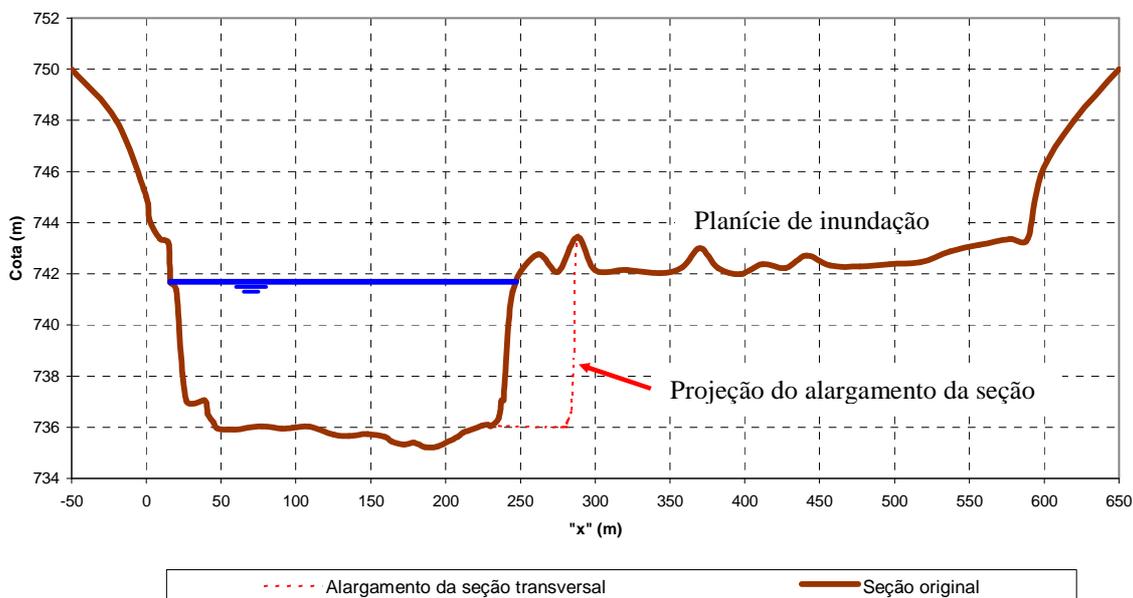
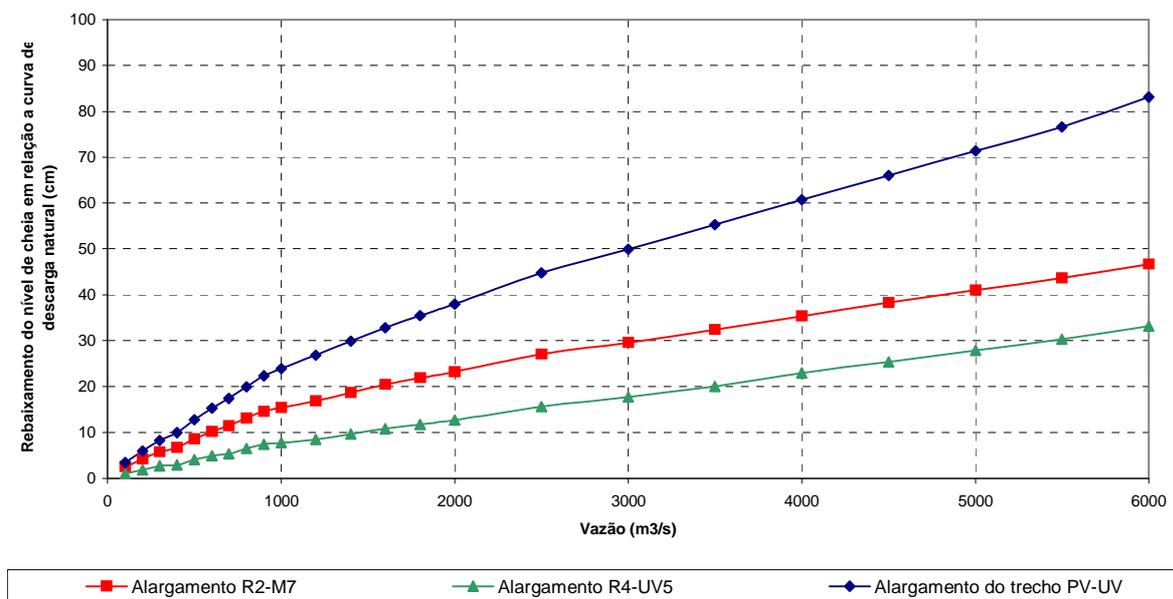


Figura 7.1 – Exemplo do alargamento da calha principal da seção transversal “UV8”

Observando a topografia das margens de inundação do trecho do rio Iguaçu em análise, (ver figura do apêndice “B” ou figura 3.3 – pg 18) observa-se que não é possível planejar um alargamento de todo o trecho em uma só margem, devido à interrupção das planícies de inundação, em ambas as margens, pela existência de encostas de montanhas que terminam na calha do rio. Isto pode ser observado em vários pontos ao longo do trecho em análise, nos quais, a poucos metros do talude da calha principal, observam-se curvas de nível elevadas, com valores superiores a 10 m de desnível em relação à cota média das planícies de inundação.

Devido à consideração do parágrafo anterior não é possível planejar um alargamento consecutivo em todo o trecho entre União da Vitória e Porto Vitória. Por este motivo foram simuladas três alternativas de alargamento da calha principal do rio:

- a) alargamento de 50 m na margem direita da calha principal por 10.300 m entre as seções “R2” e “M7”;
- b) alargamento de 50 m na margem direita da calha principal por 7.000 m entre as seções “R4” e “UV5”;
- c) combinação dos dois alargamentos anteriores.



**Figura 7.2 – Rebaixamentos de nível de cheia para alargamentos no trecho União da Vitória – Porto Vitória**

No gráfico da figura 7.2 apresentam-se os resultados de rebaixamento de níveis obtidos em União da Vitória / Porto União para as três alternativas analisadas. Para enchente de 1983, com vazão equivalente a  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , os rebaixamentos de nível encontrados foram respectivamente de 28, 41 e 71,5 cm para o alargamento do trecho R3-UV8, R2-M7 e alargamento dos dois trechos anteriores.

## 7.2 Alargamento da curva da Ressaca

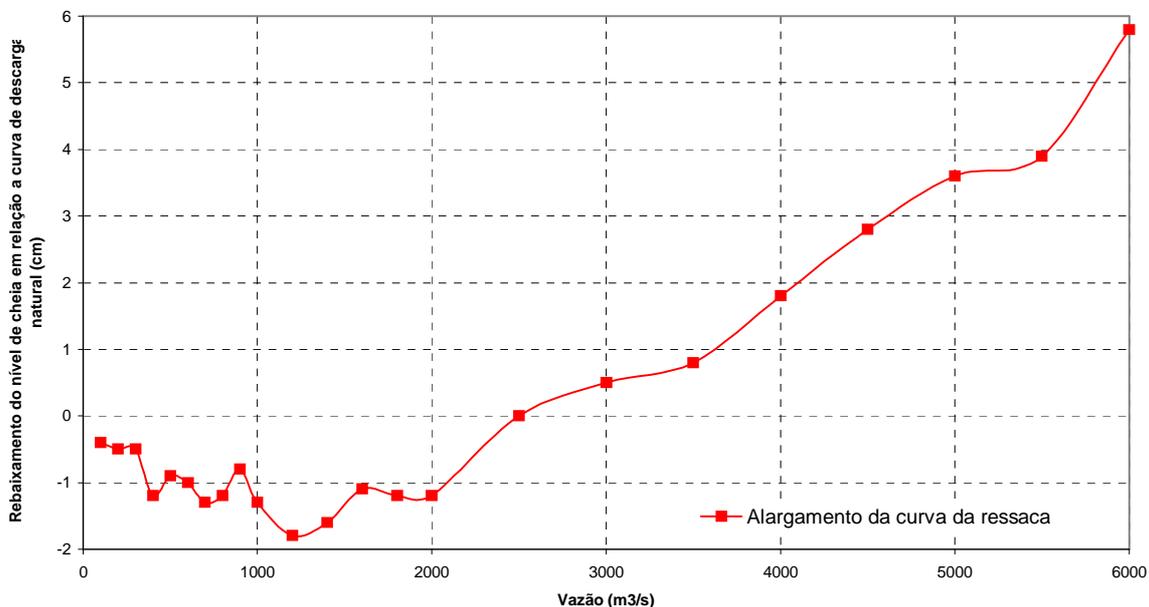
A influência da curva da Ressaca (ver figura 3.3 – pg 18) nos níveis de enchente nas cidades de União da Vitória e Porto União é uma questão que originou grandes dúvidas na comunidade destas cidades.

Neste ponto o rio Iguaçu sofre um grande estreitamento na calha principal, exatamente no ponto de deflexão de seu eixo. Esta característica geométrica do rio proporciona um efeito visual de um grande estrangulamento neste ponto. Possivelmente esta característica originou a desconfiança da população de que este ponto tem grande influência nos níveis de escoamento durante as cheias em União da Vitória.

No estudo de TUCCI & VILLANUEVA(1997) esta questão da influência da curva da Ressaca nas cheias foi abordada. Este estudo analisou duas alternativas estruturais para este ponto do rio Iguaçu, alargamento da calha principal e retificação da curva em 1.000 m. Na primeira análise foi considerado que a seção UV5A (estreitamento da curva) seria alargada até atingir as dimensões da seção M3. Os resultados obtidos pelos autores apontam um decréscimo nos níveis na região da curva de 8 cm, e de 3 cm em União da Vitória. A hipótese de retificação da curva considera um encurtamento do rio em 1.000 m, simulando uma retificação da curva. Os autores concluíram que esta retificação causaria rebaixamentos de 21 cm na região da curva e de 8 cm em União da Vitória. Cabe salientar que estas avaliações foram feitas para um cenário equivalente a cheia de 1983.

Observando a figura 3.3 na página 18, ou a figura do apêndice “B” pode-se verificar que existe uma montanha, com altitude de 856 m na margem direita das seções “UV5A”, “R3” e “UV5”, exatamente na curva da Ressaca. Por este motivo, a solução descrita no parágrafo anterior, de retificação da curva da Ressaca não poderia ser implantada na prática, pois a escavação de um canal para encurtamento da calha principal em 1.000 m não seria possível

devido à existência desta montanha. A primeira alternativa proposta no estudo de 1997, de alargamento da seção transversal foi novamente simulada neste presente estudo com intuito de confirmação dos resultados.



**Figura 7.3 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória com o alargamento da curva da Ressaca**

O gráfico da figura 7.3 apresenta o resultado das simulações realizadas neste presente estudo para o alargamento da curva da Ressaca, com hipótese igual à adotada por TUCCI & VILLANUEVA(1997). Para o caso da cheia de 1983, vazão equivalente a  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , o rebaixamento obtido em União da Vitória foi de 3,6 cm, em termos práticos, idêntico ao resultado encontrado por TUCCI & VILLANUEVA. Este valor é considerado desprezível na análise das cheias em União da Vitória e Porto União, onde a amplitude das cheias ultrapassa a marca dos 5 m. Com a confirmação deste resultado conclui-se, que o estreitamento do rio Iguaçu na curva da Ressaca, não tem influência significativa nos níveis de cheia nas cidades de União da Vitória e Porto União.

## 8. DUPLICAÇÕES DA CALHA PRINCIPAL DO RIO IGUAÇU NO TRECHO ENTRE UNIÃO DA VITÓRIA – PORTO VITÓRIA

Este capítulo examina a possibilidade de escavação de canais paralelos à calha principal do rio Iguaçu, e seus efeitos no combate as cheias nas cidades de União da Vitória e Porto União. Os três primeiros itens deste capítulo tratam de duplicações na chamada “curva da Fazenda Brasil” (ver figura 3.3 – pg 18). No item 8.4 é analisada a possibilidade de duplicação da calha principal na região da Colônia Coronel Amazonas, e no item 8.5 apresentam-se os resultados da duplicação da calha principal no trecho entre a foz do rio da Prata e a foz do rio Espingarda.

Através da equação de Manning, apresentada na fórmula (3.1) e repetida na relação (8.1), é possível modelar o escoamento em canais abertos com controle do tipo “canal”.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{S_f} \quad (8.1)$$

onde:  $Q$  = vazão escoada no canal;  
 $n$  = parâmetro de rugosidade de Manning;  
 $A$  = área de escoamento  
 $Rh$  = raio hidráulico;  
 $S_f$  = declividade da linha de energia.

Os três primeiros fatores à direita da igualdade da relação (8.1) são denominados de “conveyance” da seção transversal, e são representados pela variável “ $K$ ” conforme a relação (8.2).

$$K = \frac{1}{n} \times A \times Rh^{\frac{2}{3}} \quad (8.2)$$

$$Q = K \times \sqrt{S_f} \quad (8.3)$$

Supondo uma duplicação no canal em análise é possível supor que a conveyance das seções transversais seja duplicada, ou seja, a capacidade de descarga do canal aumenta em duas vezes. Supondo que após a duplicação do canal a conveyance seja representada por “ $K'$ ” e que a declividade da linha de energia do canal duplicado seja denominada por “ $S_f'$ ”, pode-se enunciar a seguinte igualdade (relação 8.4):

$$Q = K \times \sqrt{S_f} = K' \times \sqrt{S_f'} \quad (8.4)$$

$$K' = 2 \times K \quad (8.5)$$

onde:  $Q$  = vazão escoada no canal;  
 $K$  = conveyance da seção transversal original;  
 $S_f$  = declividade da linha de energia.  
 $K'$  = conveyance da seção transversal original após duplicação;  
 $S_f'$  = declividade da linha de energia após duplicação.

Substituindo a relação (8.5) na relação (8.4):

$$K \times \sqrt{S_f} = 2 \times K \times \sqrt{S_f'} \quad (8.6)$$

$$\sqrt{S_f} = 2 \times \sqrt{S_f'} \quad (8.7)$$

$$S_f' = \frac{S_f}{4} \quad (8.8)$$

Pelas relações (8.6) a (8.8) conclui-se que quando a conveyance de uma seção transversal é duplicada, a declividade da linha de energia é reduzida em quatro vezes. Como exemplo, durante a cheia de 1983, o nível em União da Vitória atingiu 750,03 m de cota, enquanto em Porto Vitória a cota do rio Iguaçu era de 744,93 m. Isto equivale a um desnível de 5,10 m nos 26.800 m que separam estas duas estações fluviométricas, que resulta numa declividade média da superfície livre de 19,03 cm/km. Supondo que a energia cinética do escoamento seja a mesma em União da Vitória e Porto Vitória pode-se supor que este valor de 19,03 cm/km seja a declividade média da linha de energia no dia do pico da enchente de 1983.

Se fosse implantada uma duplicação da calha do rio Iguaçu, de modo que a conveyance de todas as seções pudesse ser duplicada, a formulação teórica aponta uma redução de quatro vezes na declividade da linha de energia, ou seja, os 19,03 cm/km passariam para 4,75 cm/km. Com esta redução na declividade da linha de energia, o desnível entre União da Vitória e Porto Vitória seria de 1,275 m. Considerando que a corredeira de Porto Vitória não fosse modificada, então a relação de descarga em Porto Vitória permaneceria inalterada, e a cota na estação de União da Vitória poderia ser estimada pela soma da cota em Porto Vitória, 744,93 m, com o novo desnível estimado após a duplicação, 1,275 m, que resultaria na cota de 746,205 m na estação fluviométrica de União da Vitória. Deste modo haveria uma redução de 3,83 m no nível

da cheia de 1983 em União da Vitória e Porto União. O nível máximo esperado na régua fluviométrica de União da Vitória seria de 6,59 m ao invés de 10,42 m.

Este valor da redução de nível de 3,83 m em União da Vitória pode ser considerado como limite teórico superior da redução de nível devido à duplicação do trecho em análise. Isto porque a topografia das planícies de inundação do rio Iguaçu não permitem a duplicação das seções transversais em toda a extensão do rio entre União da Vitória e Porto Vitória. Conseqüentemente é de se esperar que os resultados apresentados nos cinco próximos itens deste capítulo apresentem valores inferiores a esse valor limite de redução de nível.

### 8.1 Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme TUCCI & VILLANUEVA (1997)

Neste item apresentam-se os resultados da simulação realizada conforme a proposta de duplicação da curva da Fazenda Brasil proposta por TUCCI & VILLANUEVA (1997). Na figura 8.1 apresenta-se a locação do canal paralelo proposto pelos autores citados. Esta duplicação proposta inicia-se próxima à seção “M7” e prolonga-se até o trecho delimitado pelas seções “M6” e “R1”, a duplicação proposta apresenta um comprimento total aproximado de 2.850 m.

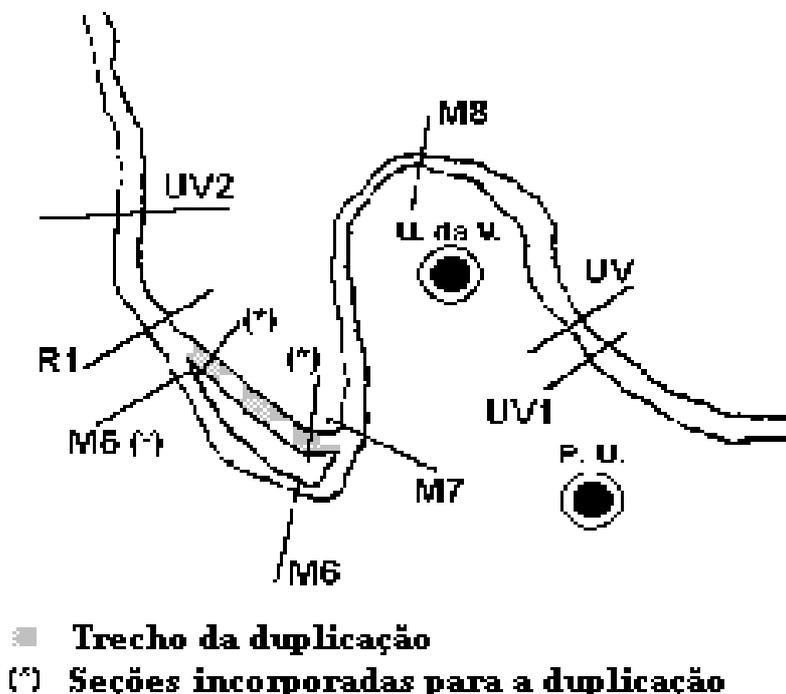
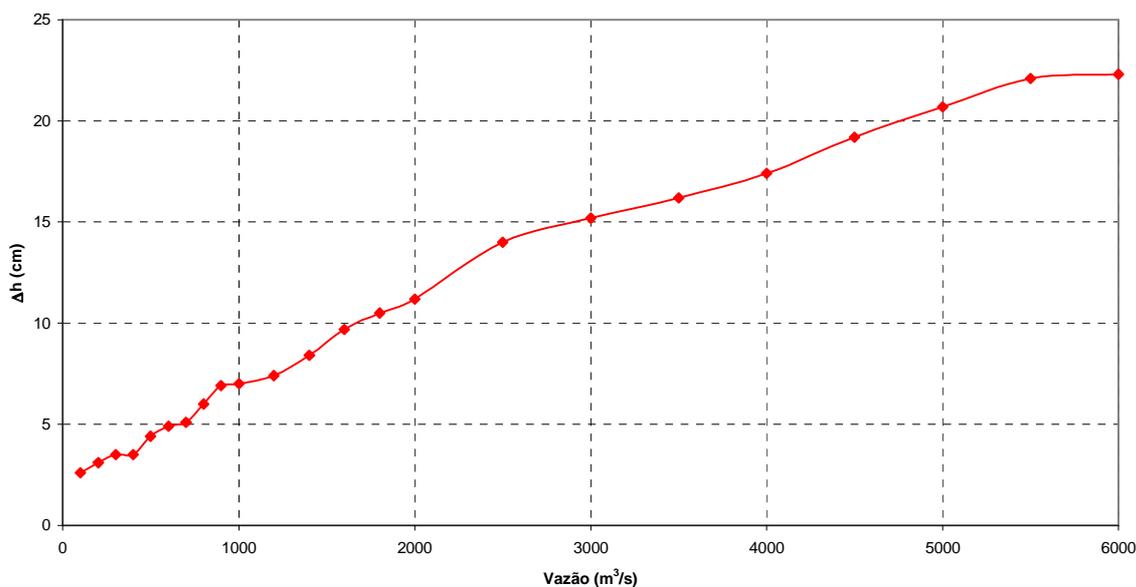


Figura 8.1 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme TUCCI & VILLANUEVA

Fonte: TUCCI & VILLANUEVA(1997)

No gráfico da figura 8.2 apresentam-se os resultados simulados neste presente estudo para a duplicação proposta por TUCCI & VILLANUEVA. Para o caso da cheia de 1983, vazão equivalente a 5.000 m<sup>3</sup>/s, observa-se que o rebaixamento atingido foi de apenas 21 cm, exatamente da mesma ordem de grandeza do resultado obtido pelos autores citados, que encontraram 20 cm para esta duplicação.



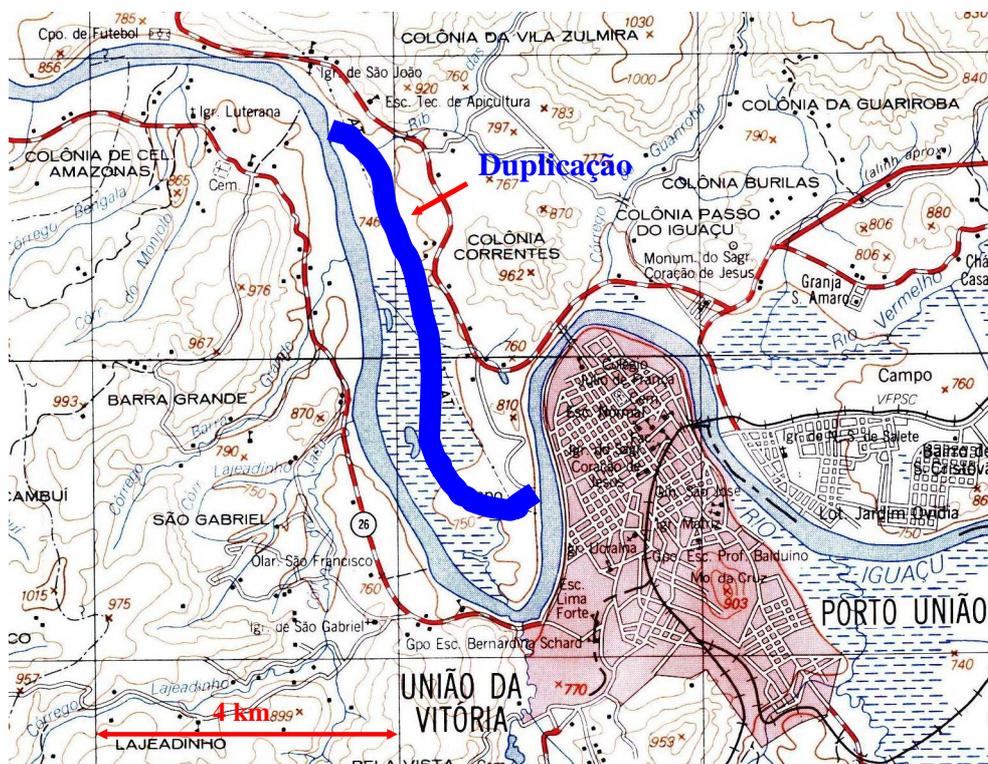
**Figura 8.2 – Rebaixamentos de nível em União da Vitória devido à duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta de TUCCI & VILLANUEVA**

## 8.2 Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme o CEHPAR (2005)

Observando-se a figura 3.3 ou o mapa do apêndice “B”, observa-se que a planície de inundação da margem direita do rio Iguaçu, na qual esta contida a curva da Fazenda Brasil, prolonga-se na direção oeste por alguns quilômetros, inclusive a jusante da ponte da BR-153. Baseada nesta hipótese foi concebida uma duplicação da curva da Fazenda Brasil que teve por objetivo avaliar os efeitos de uma duplicação da calha principal por 7.800 m de extensão. A constante extração de areia neste trecho do rio, inclusive nas margens de inundação, indicam que o subsolo de toda esta extensa planície de inundação é formado por depósitos aluvionares de areia. Por este motivo a execução de duplicações neste trecho seria facilitada e barateada devido a esta formação geológica.

O mapa da figura 8.3 apresenta uma localização aproximada desta solução proposta. No

mapa do apêndice “B” pode-se observar melhor a locação deste canal no relevo das planícies de inundação. A construção deste canal implicaria na substituição da ponte “Banhado do Iguçu”, por onde passa a BR-153, por uma ponte de maior vão, a fim de possibilitar a construção de uma nova calha com 240 m de largura.



**Figura 8.3 – Locação da duplicação da calha principal na curva da Fazenda Brasil conforme a proposta do CEHPAR**

Fonte do Mapa: IBGE (1974)

A duplicação da figura 8.3 está ilustrada no contexto do trecho União da Vitória – Porto Vitória na figura 8.4. A modelagem deste tipo de duplicação exigiu uma atenção especial, pois como a nova calha está locada na planície de inundação, é necessário dividir estas planícies entre as duas calhas, a fim de evitar uma duplicidade da área destas planícies, o que resultaria em resultados superestimados da eficiência desta solução estrutural.

As seções utilizadas na simulação destas duplicações foram consideradas com taludes 1V:1,5H, e a largura da calha foi adotada igual a 240 m. A cota do fundo do canal paralelo, na confluência de montante foi assumida igual a 737,1 m, e na confluência de jusante, igual a 735 m. As demais seções obedeciam a uma declividade constante definida entre as duas confluências citadas anteriormente.

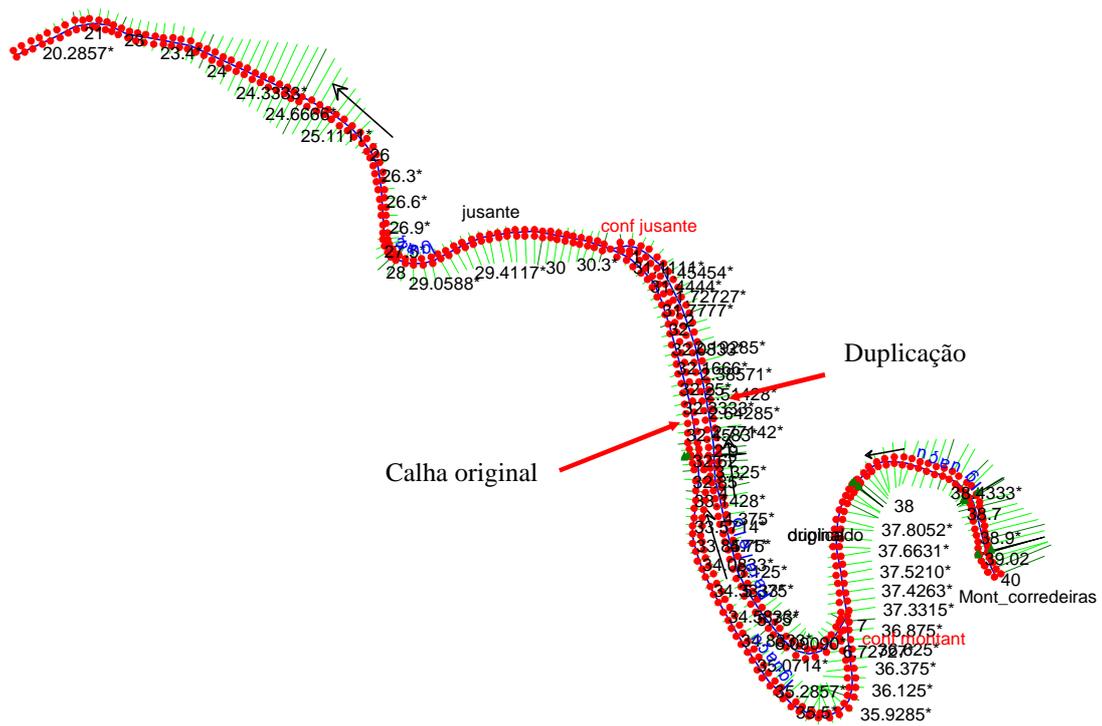


Figura 8.4 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR

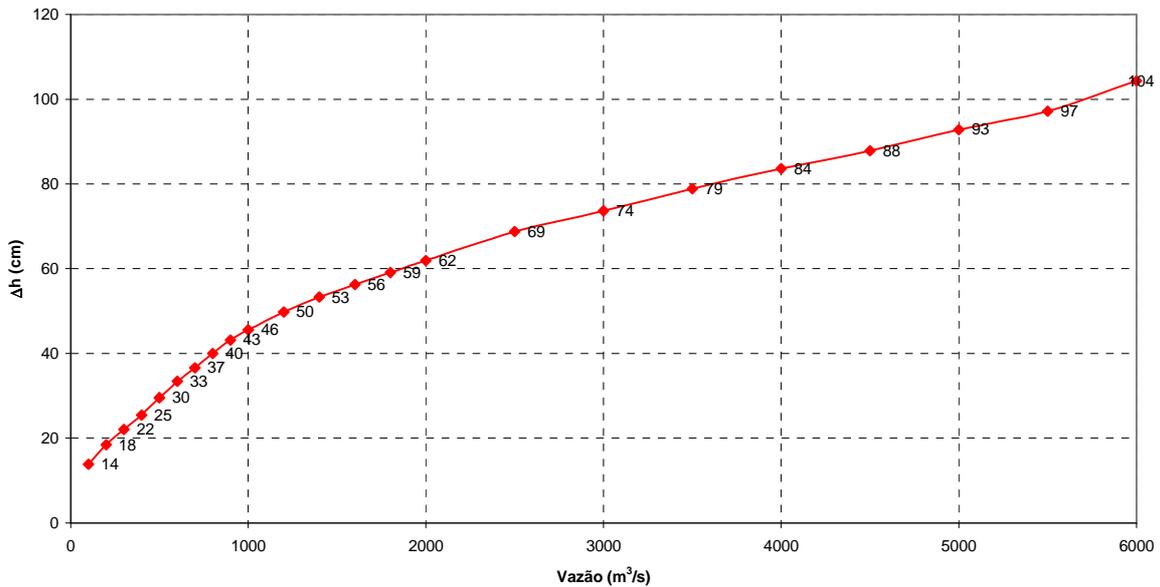
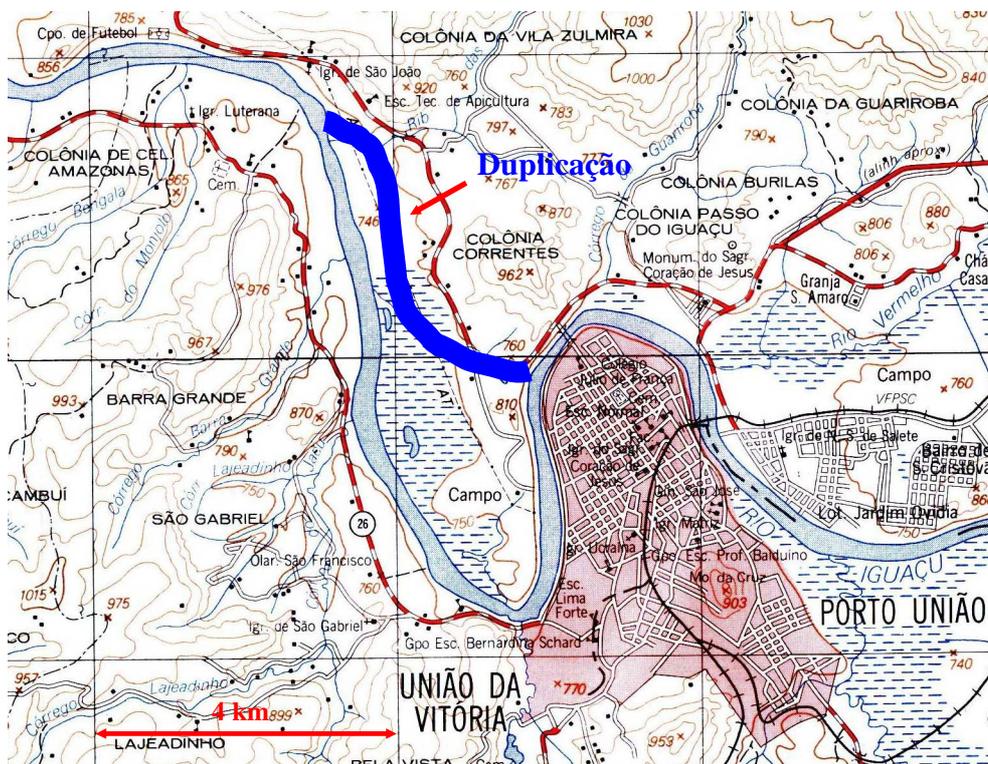


Figura 8.5 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta do CEHPAR

No gráfico da figura 8.5 estão apresentados os resultados obtidos para o rebaixamento de nível obtido em União da Vitória com a duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta do CEHPAR. Tomando-se como base a cheia de 1983, vazão equivalente a 5.000 m<sup>3</sup>/s, o rebaixamento obtido neste cenário seria de 93 cm nas cidades de União da Vitória e Porto União.

### 8.3 Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta da comunidade

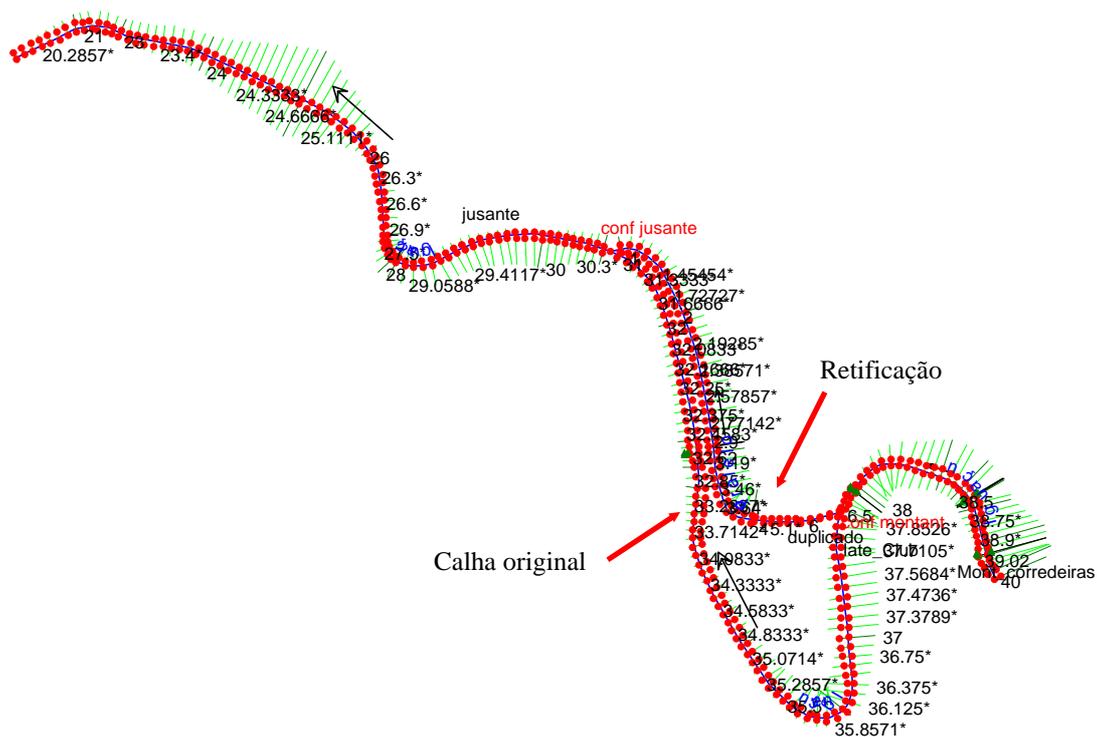
Neste item analisa-se a retificação da curva da Fazenda Brasil conforme uma proposta da comunidade das cidades de União da Vitória e Porto Vitória. Nesta proposta a curva da Fazenda Brasil seria retificada através da construção de um canal por entre duas montanhas localizadas na margem direita do rio Iguaçu, aproximadamente 1 km a jusante da “ponte do Arco”. Neste local há uma rodovia que liga a ponte do Arco com um trevo da BR-153, existente na cabeceira da ponte da BR-153 sobre o rio Iguaçu. O eixo desta rodovia secundária coincide com o eixo da calha proposta. A locação desta calha pode ser visualizada no mapa da figura 8.6.



**Figura 8.6 – Locação da retificação da calha principal na curva da Fazenda Brasil conforme a proposta da comunidade**

Fonte do Mapa: IBGE (1974)

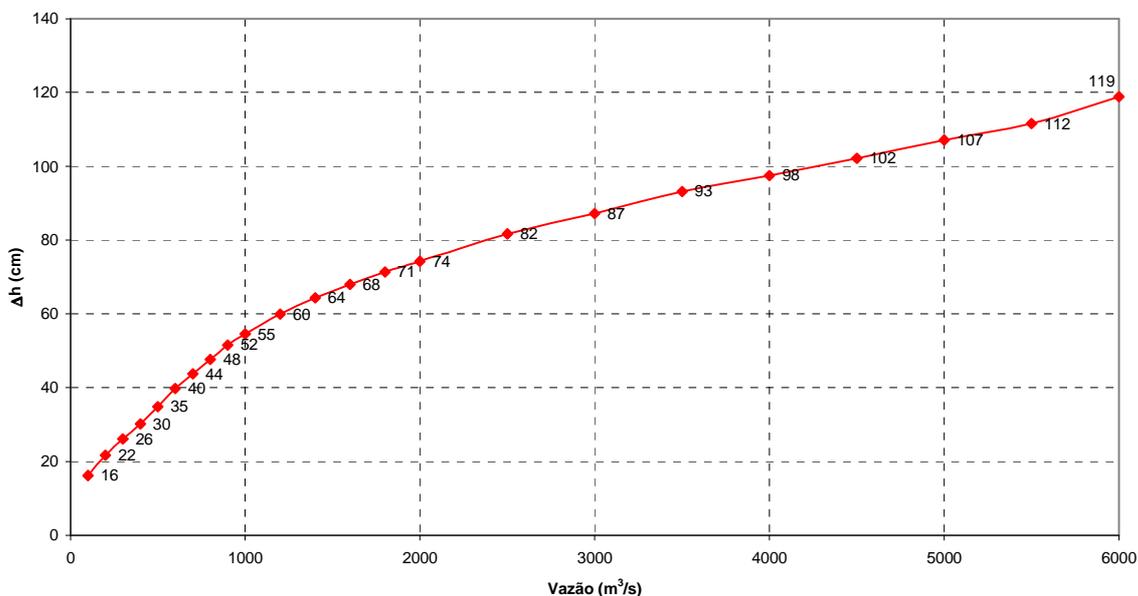
No mapa do apêndice “B” é possível observar com mais detalhes a locação desta calha proposta pela comunidade. O trecho de montante desta calha está locado numa região topograficamente complexa para este tipo de obra, pois em ambas as margens do canal existem montanhas com altura significativas, considerando a cota média do nível d’ água na 742 m, os topos destas montanhas vizinhas estão aproximadamente na cota 790 m, e entre estas montanhas há um vale com cota superior igual a 761 m, ou seja, para escavar uma calha com fundo na cota 735 m, seria necessária uma escavação de 26 metros de profundidade mínima. Devido a esta topografia a largura da calha nesta região foi contemplada com 85 m. E mesmo com esta pequena largura, os taludes laterais do canal necessitariam ser extremamente altos, da ordem de 35 m, para que fosse possível esta escavação. Por este motivo, surge uma dúvida sobre a viabilidade econômica e geotécnica desta proposta. Entretanto, este item deste capítulo tem como finalidade demonstrar os benefícios hidráulicos desta proposta.



**Figura 8.7 – Retificação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta da comunidade**

Na figura 8.7 apresenta-se a locação da retificação da curva no contexto do trecho União da Vitória – Porto Vitória. A largura da calha a ser duplicada foi considerada igual a 85 m nos 600 m do primeiro trecho do canal, a partir daí, a topografia do terreno permite que a largura

aumenta para 130 m, e este segundo trecho apresenta um comprimento de 637 m. O terceiro trecho foi concebido com largura de 240 m e 1280 m de extensão. Ao final deste trecho encontra-se a estrutura da ponte da BR-153, a jusante deste ponto à locação da calha de retificação é idêntica a do item anterior. A extensão total desta retificação é de 6.198 m. Os resultados de rebaixamento de nível obtidos em União da Vitória e Porto União estão ilustrados no gráfico da figura 8.8. Nota-se que para o caso da cheia de 1983 o rebaixamento de nível atinge o valor de 1,07 m para esta solução proposta. No entanto, devido ao grande volume de escavação, a complexidade geotécnica de tal obra, necessidade de realocação de estradas e desapropriação de terras ocupadas, esta solução deve apresentar uma relação benefício/custo inferior a solução proposta no item 8.2, na qual os rebaixamentos de nível são 14 cm menores para cheia de 1983.



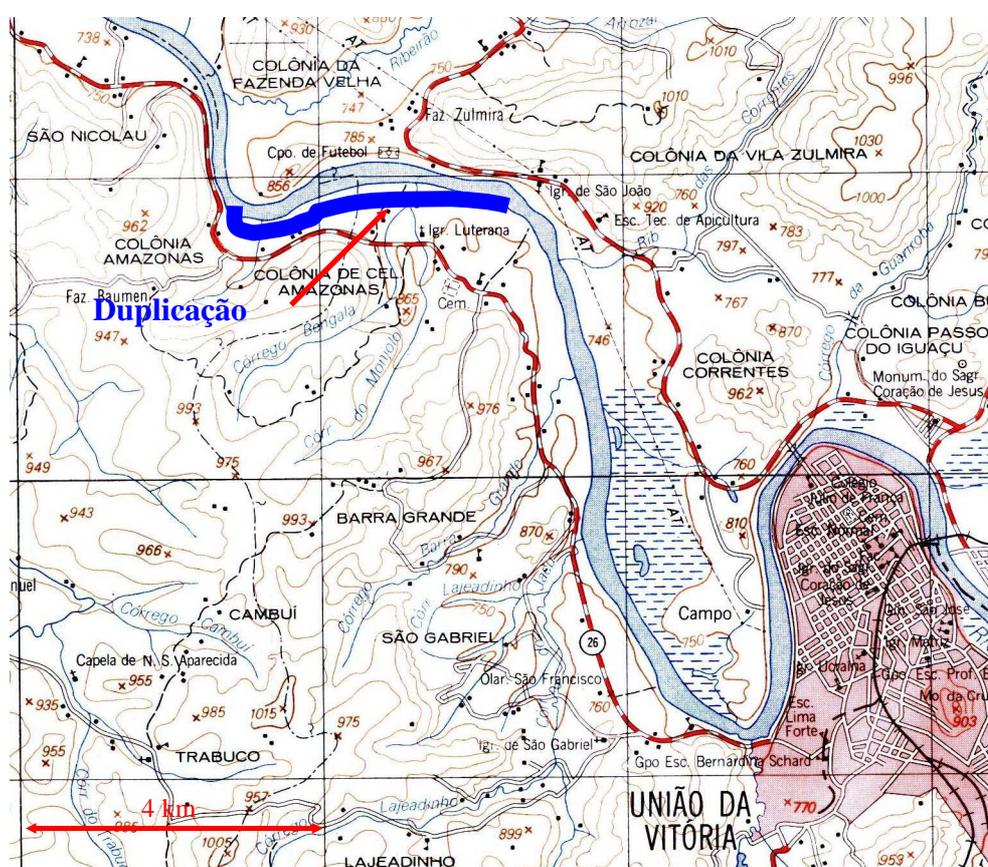
**Figura 8.8 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à retificação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta da comunidade**

#### 8.4 Duplicação da calha principal na região da Colônia Coronel Amazonas

Observando-se a figura 3.8, na página 24, nota-se que a declividade da linha de energia do escoamento, para um cenário de vazão igual a 5.000 m³/s, apresenta uma diferença significativa entre o trecho a montante da ponte da BR-153, e o trecho a jusante da mesma. Na figura 3.10, nota-se que a conveyance das seções transversais diminui consideravelmente após a ponte da BR-153. Baseada nestas análises surgiu o interesse de examinar o benefício de

duplicações da calha principal do rio Iguazu, exatamente nestes trechos de alta declividade da linha de energia e baixa capacidade de descarga. Por este motivo foram realizadas as simulações apresentadas neste item e no item 8.5.

Observando-se cuidadosamente o relevo das margens do rio Iguazu, no mapa apresentado no Apêndice “B” deste relatório, foi realizada a locação de uma calha paralela ao rio Iguazu, na região da Colônia Coronel Amazonas, conforme representação esquemática da figura 8.9. Nesta figura pode-se notar que a calha esta locada na planície de inundação esquerda do rio Iguazu, numa região com cota inferior a 750 m.



**Figura 8.9 – Locação da duplicação da calha principal na região da Colônia Coronel Amazonas**

Fonte do Mapa: IBGE (1974)

Esta duplicação apresenta um comprimento total de 3.600 m, com seções transversais planejadas com taludes 1V : 1,5 H, largura de 250 m e cota de fundo igual a 735 m. A figura 8.10 apresenta a locação desta calha paralela no contexto do trecho União da Vitória – Porto Vitória.

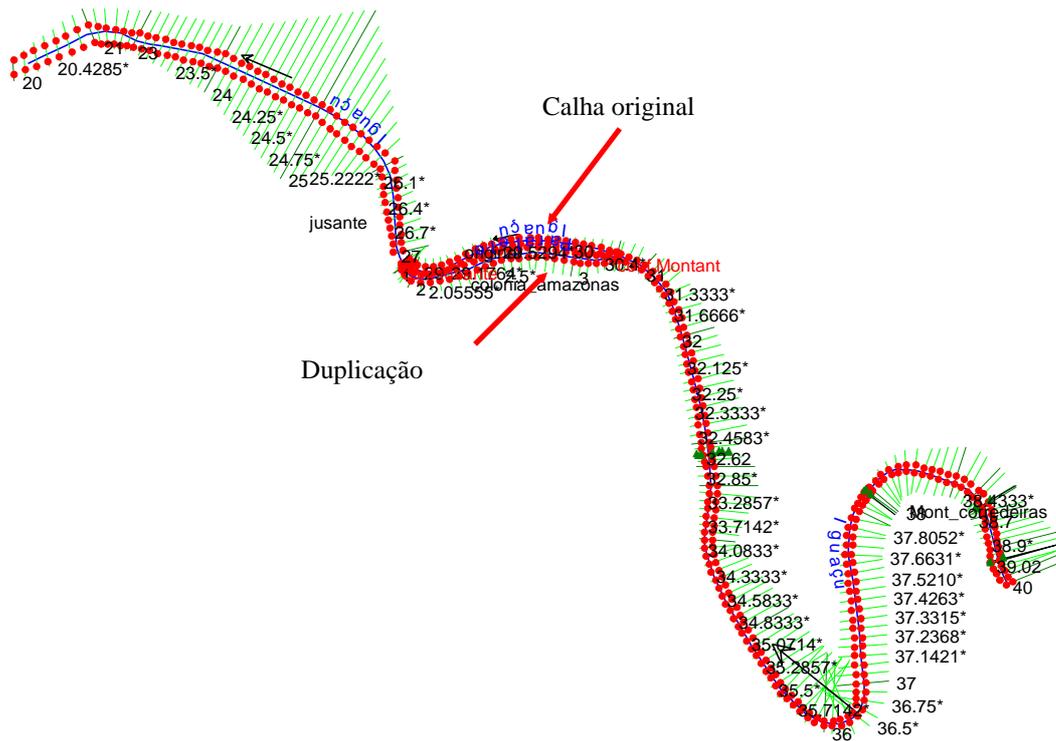


Figura 8.10 – Duplicação da calha principal da região da Colônia Coronel Amazonas

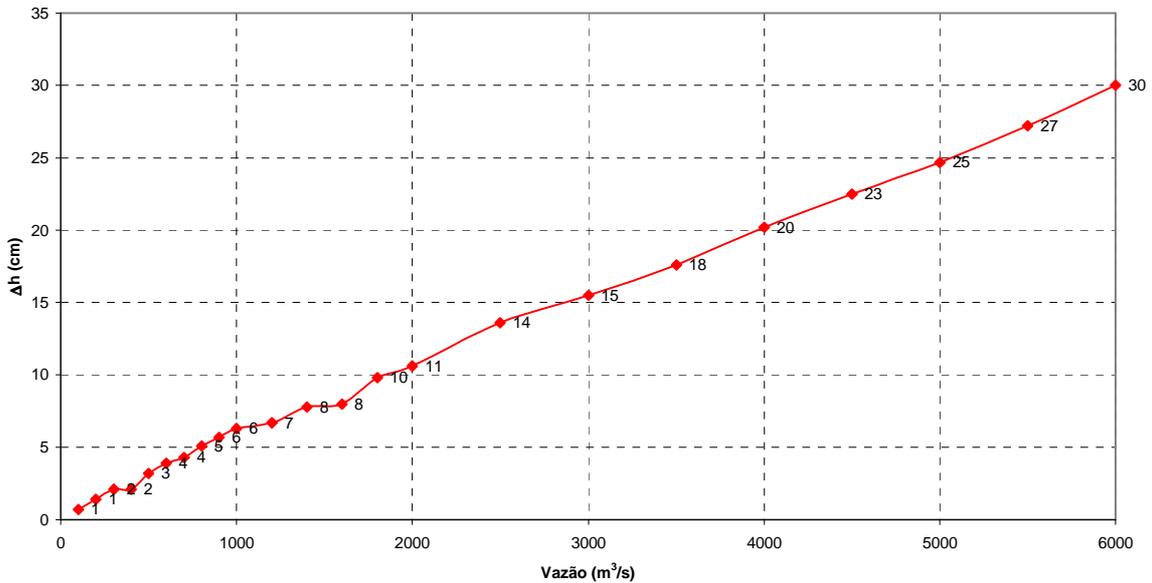
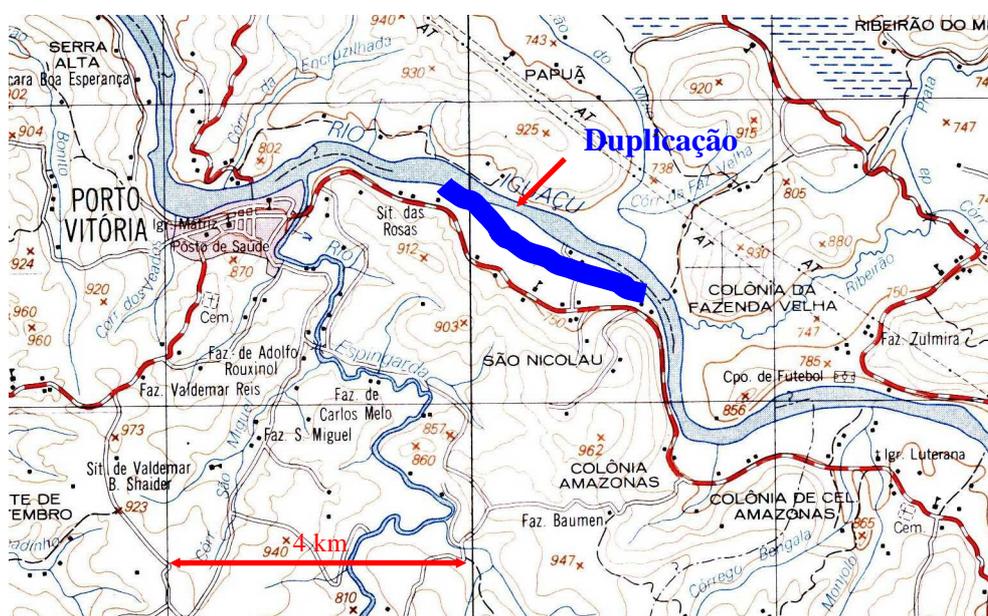


Figura 8.11 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à duplicação da calha principal na região da Colônia Coronel Amazonas

No gráfico da figura 8.11 estão apresentados os resultados de simulação de nível realizados para a duplicação de 3.600 m na região da Colônia Coronel Amazonas. Para a cheia de 1983, o rebaixamento de nível nas cidades de União da Vitória e Porto União é de apenas 25 cm. Isto se deve ao fato, já explicado em capítulos anteriores, de que à distância da obra até as cidades de União da Vitória e Porto Vitória fazem com que os rebaixamentos obtidos na confluência de montante da duplicação sejam amortecidos no percurso até as cidades.

## 8.5 Duplicação da calha principal entre a curva da Ressaca e Porto Vitória

De forma análoga ao item anterior procurou-se analisar os benefícios de uma obra de duplicação num trecho de grande declividade da linha de energia do escoamento. Este trecho corresponde à região abrangida pelas seções transversais “M3” e “UV7”, ou o trecho compreendido entre a foz do rio da Prata e seção “UV7”, conforme esquema ilustrativo da figura 8.12. Esta duplicação proposta apresenta extensão de 3.650 m, largura de 250 m, taludes laterais 1V : 1,5 H, e cota do fundo igual a 735 m. A locação deste canal paralelo pode ser observada também no mapa do Apêndice “B”.



**Figura 8.12 – Locação da duplicação da calha principal no trecho entre a curva da Ressaca e Porto Vitória**

Fonte do Mapa: IBGE (1974)

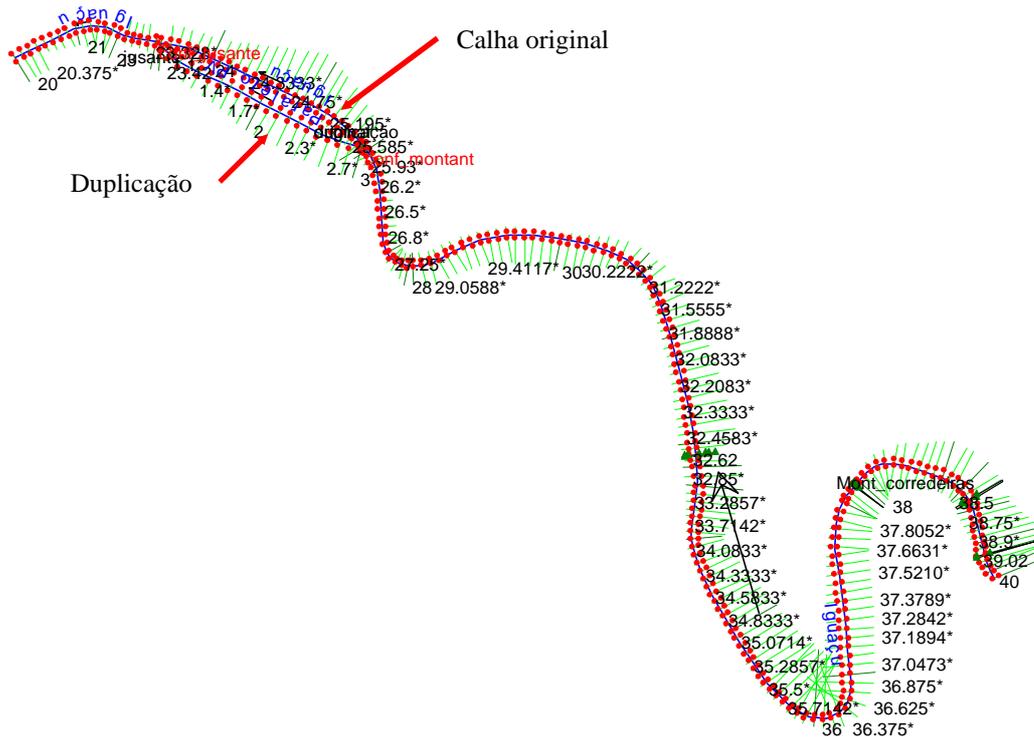


Figura 8.13 – Duplicação da calha principal no trecho entre a curva da Ressaca e Porto Vitória

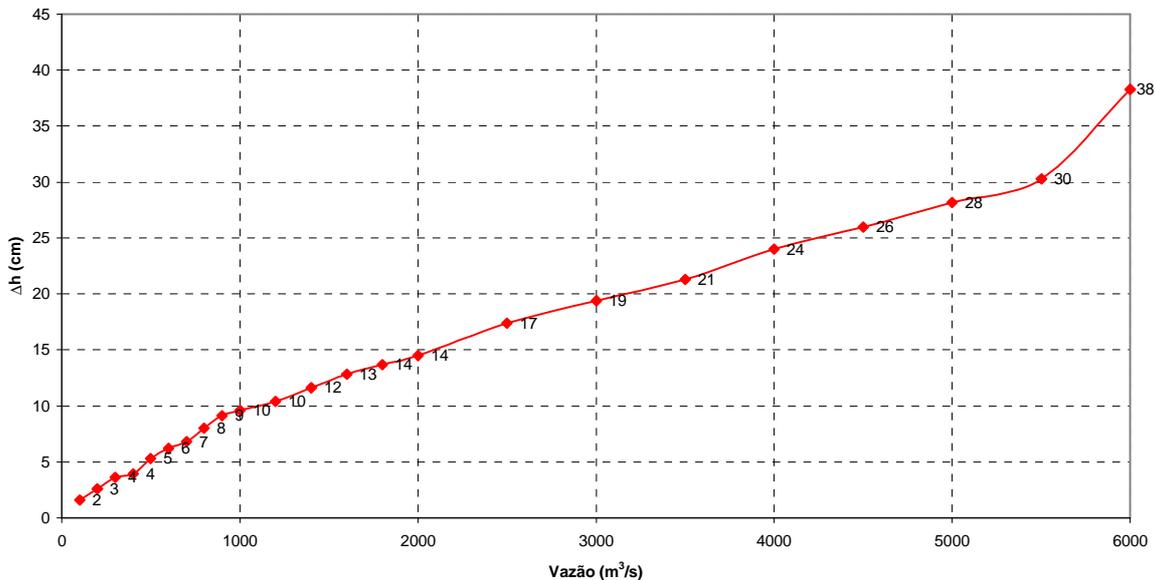


Figura 8.14 – Rebaixamentos de nível obtidos em União da Vitória devido à duplicação da calha principal no trecho entre as seções transversais M3-UV7

Na figura 8.13 apresenta-se a locação da duplicação “M3-UV7” no contexto do trecho União da Vitória – Porto Vitória. No gráfico da figura 8.14 apresentam-se os benefícios de rebaixamento de nível em União da Vitória e Porto União, para a faixa de vazões de 100 a 6.000 m<sup>3</sup>/s. Nota-se que para a cheia de 1983 o rebaixamento de nível nas cidades seria de apenas 28 cm, devido ao amortecimento provocado pela distância entre a duplicação proposta e as cidades de União da Vitória e Porto União.

## 9. COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para algumas combinações das soluções apresentadas nos capítulos anteriores. Nenhuma das soluções apresentadas nos capítulos anteriores elimina totalmente o problema das enchentes em União da Vitória e Porto União. Por este motivo, neste capítulo, buscou-se simular simultaneamente as soluções apresentadas anteriormente com intuito de encontrar soluções combinadas que apresentem benefícios significativos à solução das enchentes.

No item 9.1 e 9.2 apresentam-se combinações de soluções estruturais que consideram a duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta do CEHPAR, descrito no item 8.2 do capítulo anterior, com escavações no leito da calha principal. No item 9.1 considera-se uma escavação de 2 m entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca. No item 9.2 a escavação considerada corresponde a um rebaixamento de 3 m simulado entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação da curva da Fazenda Brasil.

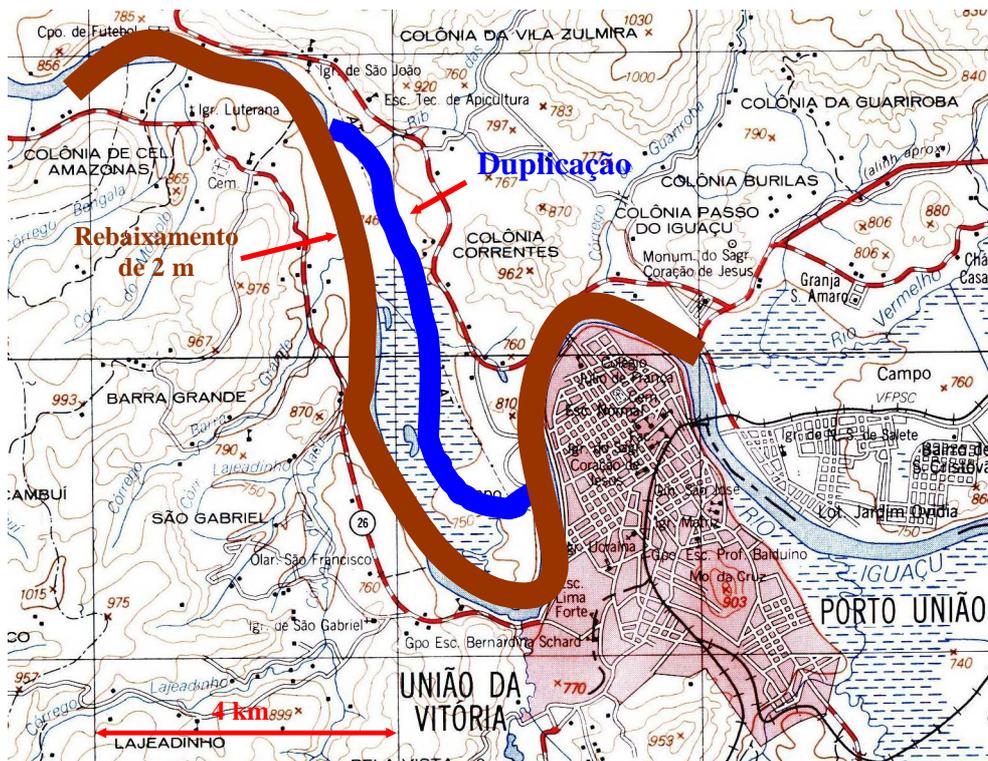
Os itens 9.3 e 9.4 apresentam os resultados de combinação em série das duplicações apresentadas nos itens 8.2, 8.4 e 8.5, do capítulo anterior. No item 9.3 apresenta-se a combinação da duplicação da curva da Fazenda Brasil com a duplicação do trecho da Colônia Coronel Amazonas. No item 9.4 apresenta-se a combinação da duplicação da curva da Fazenda Brasil com a duplicação do trecho “M3-UV7”. O item 9.5 apresenta os resultados de uma combinação das seguintes duplicações: curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR, trecho da Colônia Coronel Amazonas e trecho “M3-UV7”.

O item 9.6 simula a combinação proposta no item 9.5 e considera também a escavação de 3 m entre a Ponte Nova e a confluência de montante da duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme proposta do CEHPAR (item 8.2).

### 9.1 Combinação da duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR com a escavação do trecho Ponte Nova – Curva da Ressaca

Neste item analisa-se a eficiência de se combinar uma duplicação na curva da Fazenda Brasil com uma dragagem do leito original do rio no trecho de montante da curva da Ressaca. Na figura 9.1 apresenta-se a locação das obras propostas neste item. Pode-se observar a duplicação

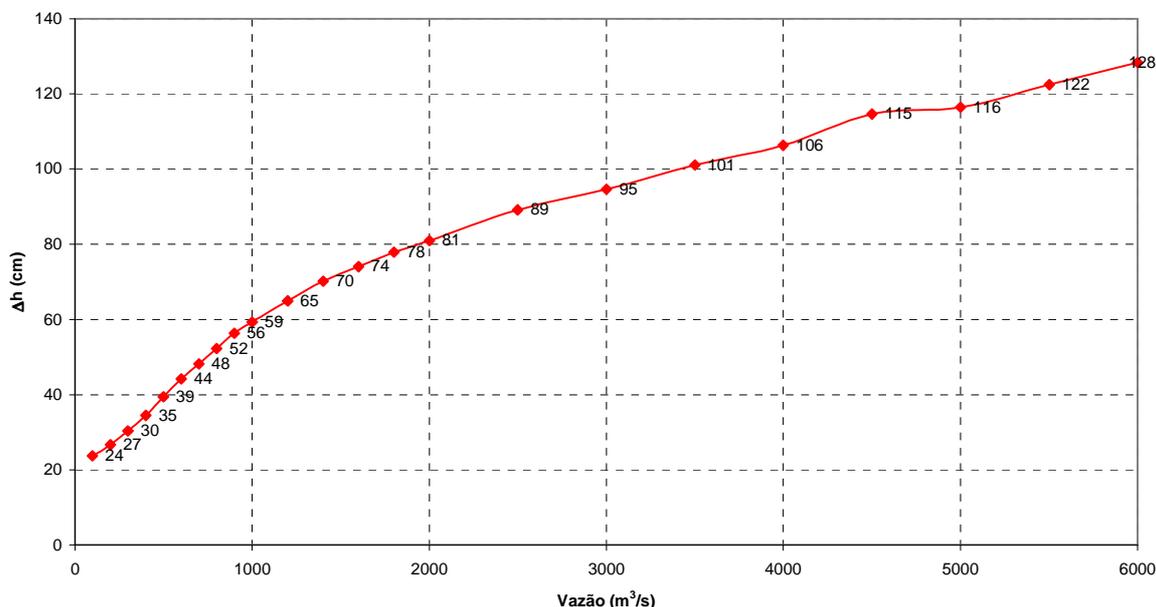
da curva da Fazenda Brasil conforme a proposta do CEHPAR, e a locação de uma dragagem de 2 m no leito principal entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca, trecho este, onde o fundo do rio é formado por depósitos de areia, o que não exigiria o uso de explosivos para escavação.



**Figura 9.1 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil em associação com um rebaixamento de 2 m na calha principal entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca**

No gráfico da figura 9.2 apresentam-se os resultados obtidos para esta combinação de soluções, escavação ou dragagem da calha principal e duplicação da curva da Fazenda Brasil. Nota-se que para o caso da cheia de 1983, vazão equivalente a  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , o rebaixamento obtido com esta solução é de 1,16 m, ou seja, a dragagem do leito principal aumenta em 23 cm a eficiência da duplicação da curva da Fazenda Brasil, que isoladamente resulta num benefício de rebaixamento de nível de 93 cm. Este ganho não é tão significativo quanto na simulação isolada desta mesma escavação, pois com a duplicação do canal, a linha de energia diminui sua declividade de forma que os 2 metros de rebaixamento no fundo, não representam grandes ganhos no trecho de canal original, paralelo à duplicação. Somente nos trechos onde não há canal duplicado, ocorre uma significativa redução de perda de energia, que resulta neste aumento de 23

cm na eficiência da duplicação da curva da Fazenda Brasil.



**Figura 9.2 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada a um rebaixamento de 2 m na calha principal entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca**

## **9.2 Combinação da duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR com a escavação do trecho Ponte Férrea – Curva da Fazenda Brasil**

A solução apresentada neste item é análoga à solução apresentada no item anterior. A diferença fundamental é que neste item foi simulada uma escavação num trecho mais curto, e considerado um rebaixamento de 3 m no fundo da calha do rio, ao invés de 2 m como na solução anterior. O trecho a ser duplicado nesta simulação está localizado entre a antiga Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme representação da figura 9.3.

No caso da escavação proposta neste item, a Ponte Nova (Domicio Scaramella) divide dois trechos distintos para escavação, a jusante deste local o fundo do rio é formado por depósitos de areia, e a montante desta ponte, observa-se um fundo rochoso, que implicaria na utilização de explosivos para tornar possível à escavação.

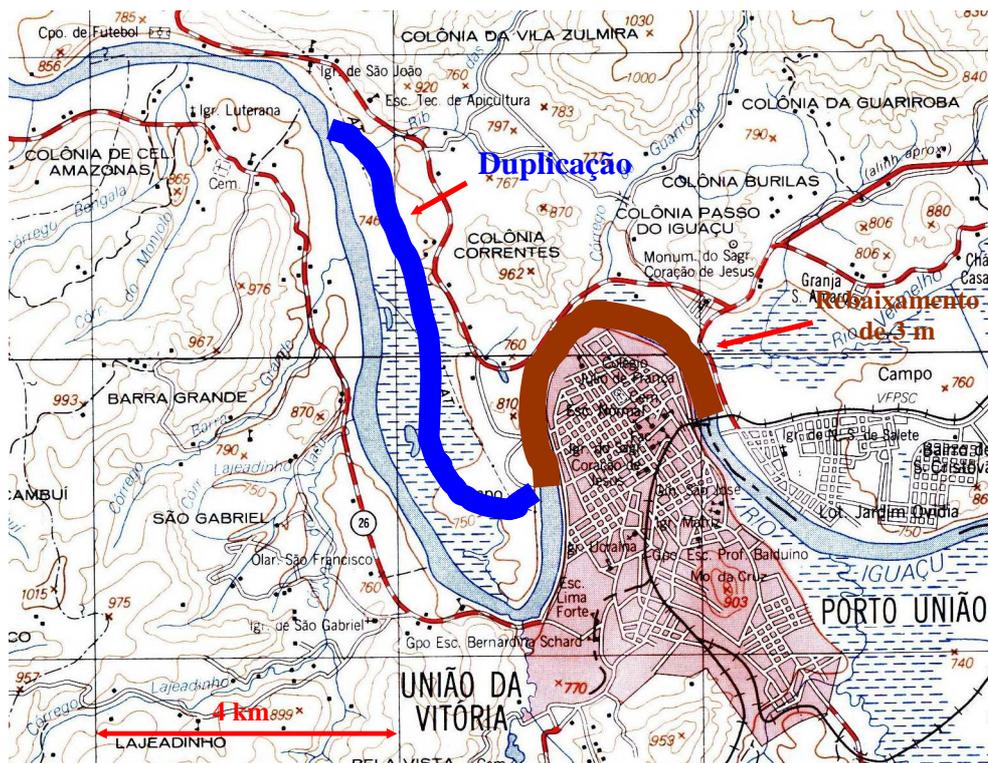


Figura 9.3 – Duplicação da curva da Fazenda Brasil em associação com um rebaixamento de 3 m na calha principal entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação

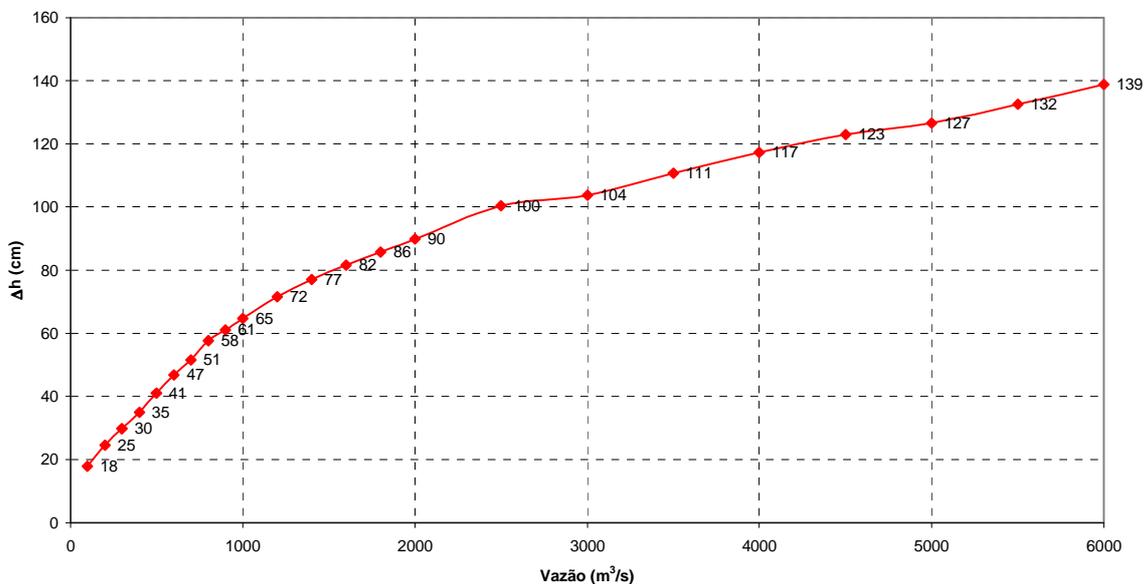
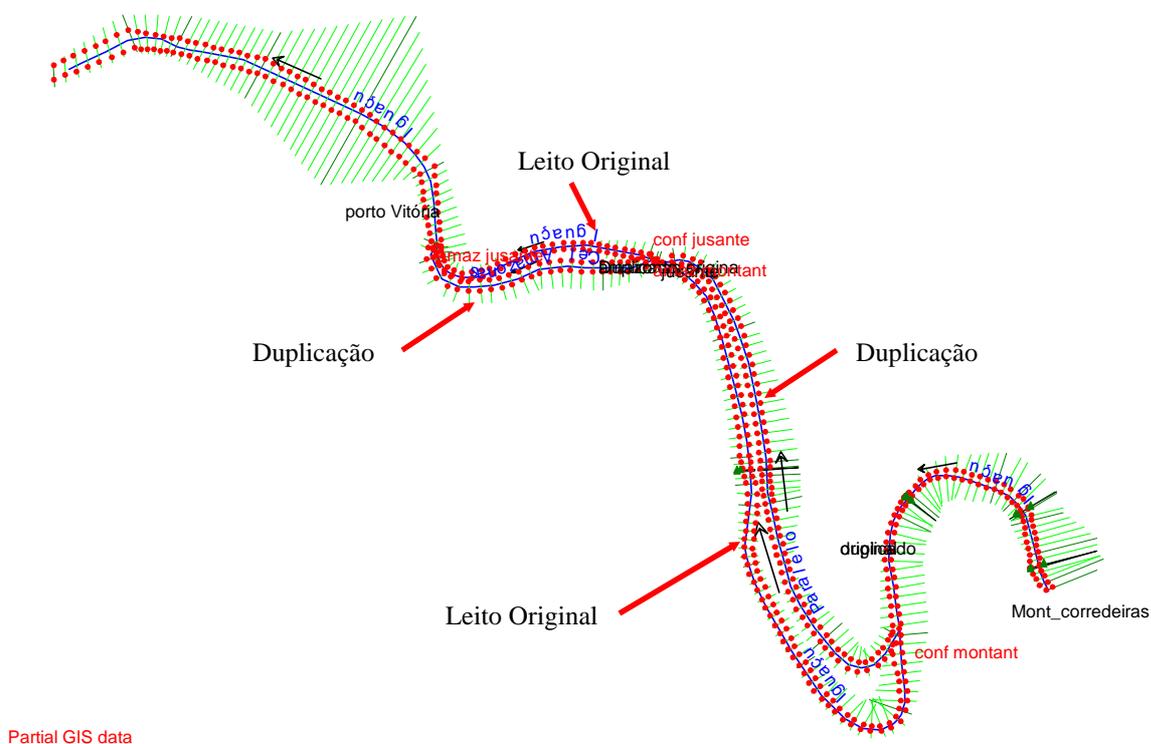


Figura 9.4 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada a um rebaixamento de 3 m na calha principal entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação

No gráfico da figura 9.4 apresentam-se os rebaixamentos obtidos em União da Vitória e Porto União para a combinação de soluções ilustrada no mapa da figura 9.3. Para a cheia de 1983 (5.000 m<sup>3</sup>/s) o rebaixamento obtido no nível de enchente foi de 127 cm, 11 cm superior a combinação de soluções proposta no item anterior.

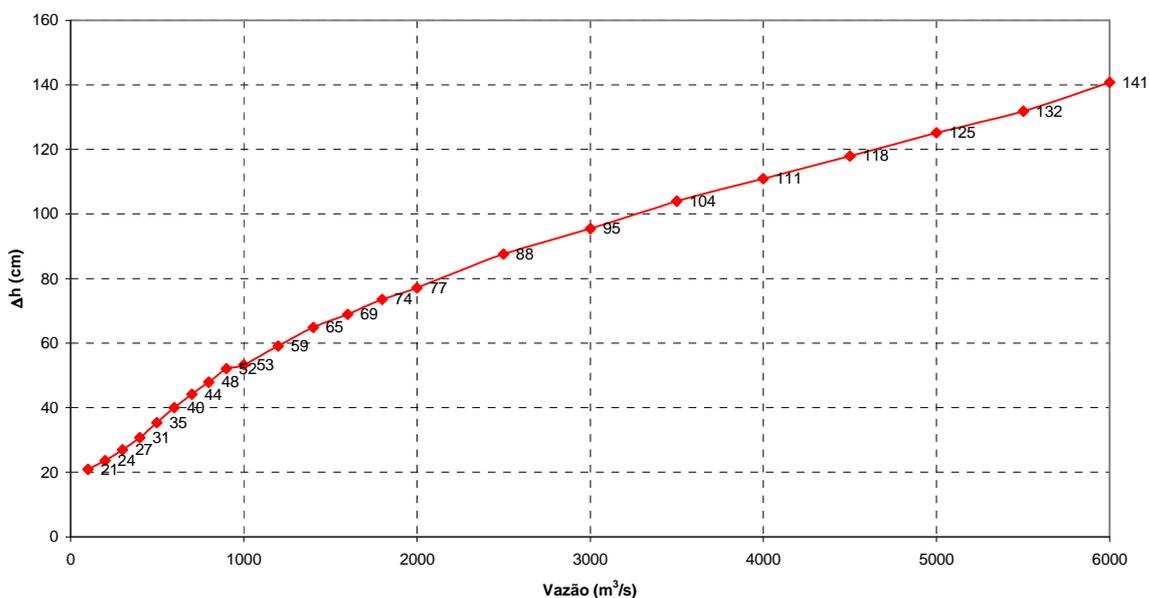
### 9.3 Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR combinada com a duplicação na região da Colônia Coronel Amazonas

Neste item estão apresentados os resultados da simulação de duas duplicações em série: a curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR (item 8.2), e a duplicação da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas (item 8.4). Estas duas duplicações somam juntas um total de 11.400 m de canal duplicado. A localização destas duas duplicações pode ser visualizada na figura 9.5. Os detalhes geométricos de ambas as duplicações são os mesmos que os descritos nos itens 8.2 e 8.4 do capítulo anterior.



**Figura 9.5 – Combinação das duplicações da curva da Fazenda Brasil com a duplicação no trecho da Colônia Coronel Amazonas**

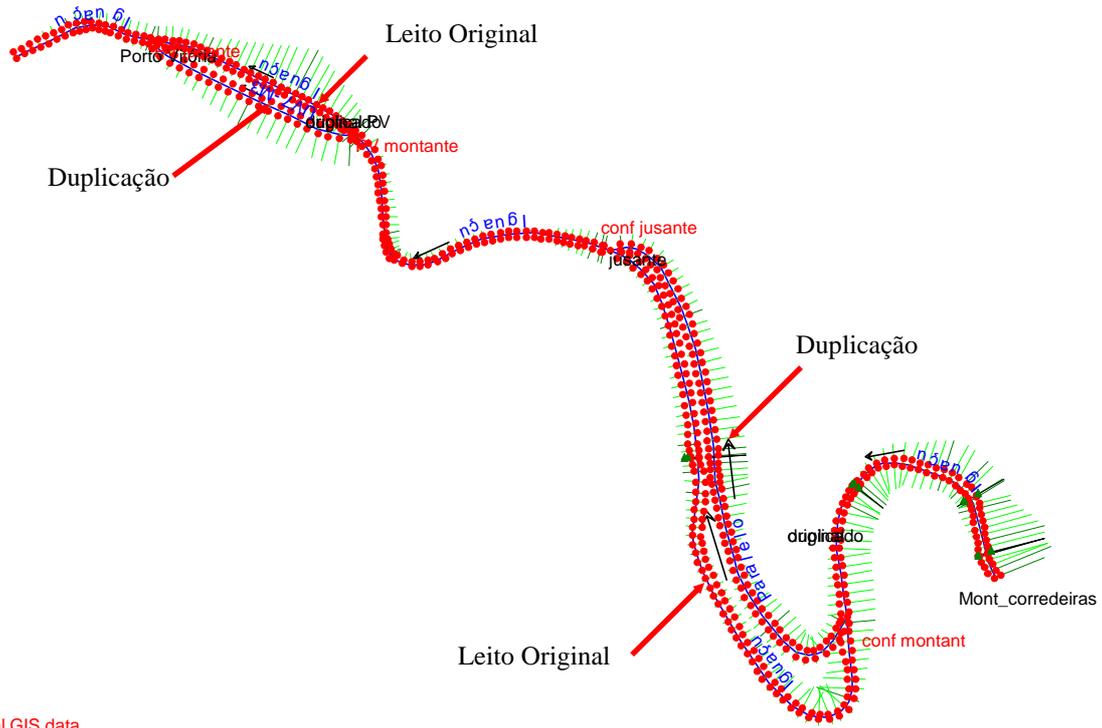
Os resultados obtidos para esta combinação de soluções estão demonstrados no gráfico da figura 9.6. Tomando como base a enchente de 1983, vazão equivalente a 5.000 m<sup>3</sup>/s, nota-se que o rebaixamento de nível obtido com esta combinação de soluções é de 1,25 m. Este valor é 7 cm superior a soma linear dos efeitos simulados individualmente para as duas duplicações combinadas. Em relação ao resultado obtido para a combinação de soluções do item anterior, esta combinação proposta resulta em 9 cm a mais de redução de nível. Entretanto, a necessidade de escavação em rocha submersa certamente torna a relação custo/benefício menor que a solução do item anterior, como será verificado no capítulo 10.



**Figura 9.6 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada à duplicação da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas**

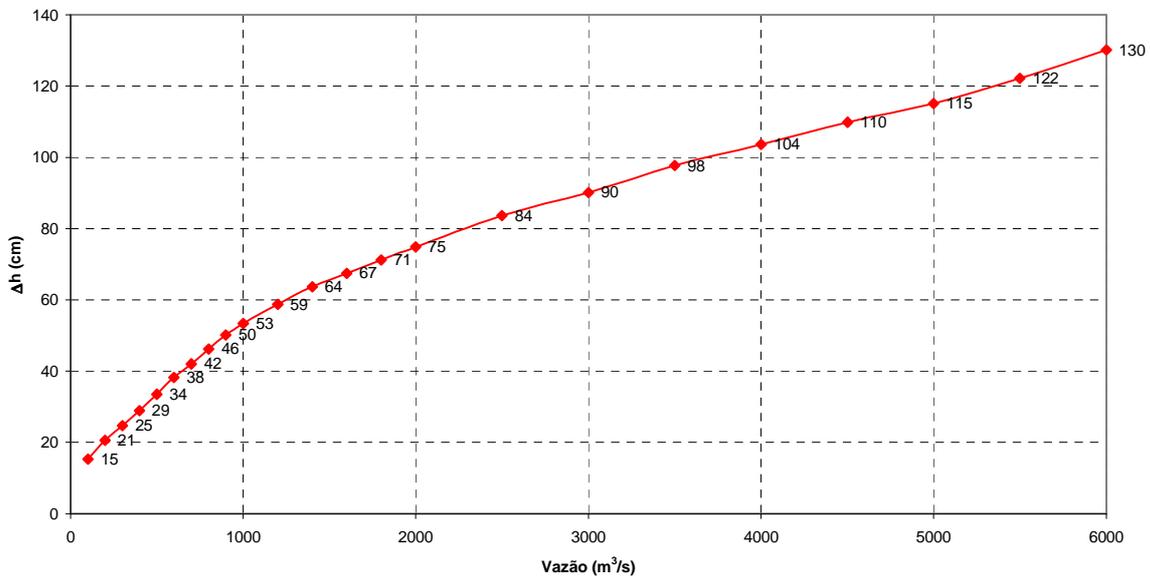
#### **9.4 Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR combinada com a duplicação no trecho M3-UV7**

Este item apresenta a combinação da duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a sugestão do CEHPAR (item 8.2), com a duplicação do trecho “M3-UV7” (item 8.5). Na figura 9.7 está apresentada a locação das duas duplicações estudadas neste item, que totalizam 11.450 m de extensão. Nos itens 8.2 e 8.5 do capítulo anterior estão realizadas as considerações a respeito da geometria de cada uma destas duplicações.



Partial GIS data

**Figura 9.7 – Combinação das duplicações da curva da Fazenda Brasil com a duplicação no trecho “M3-UV7”**



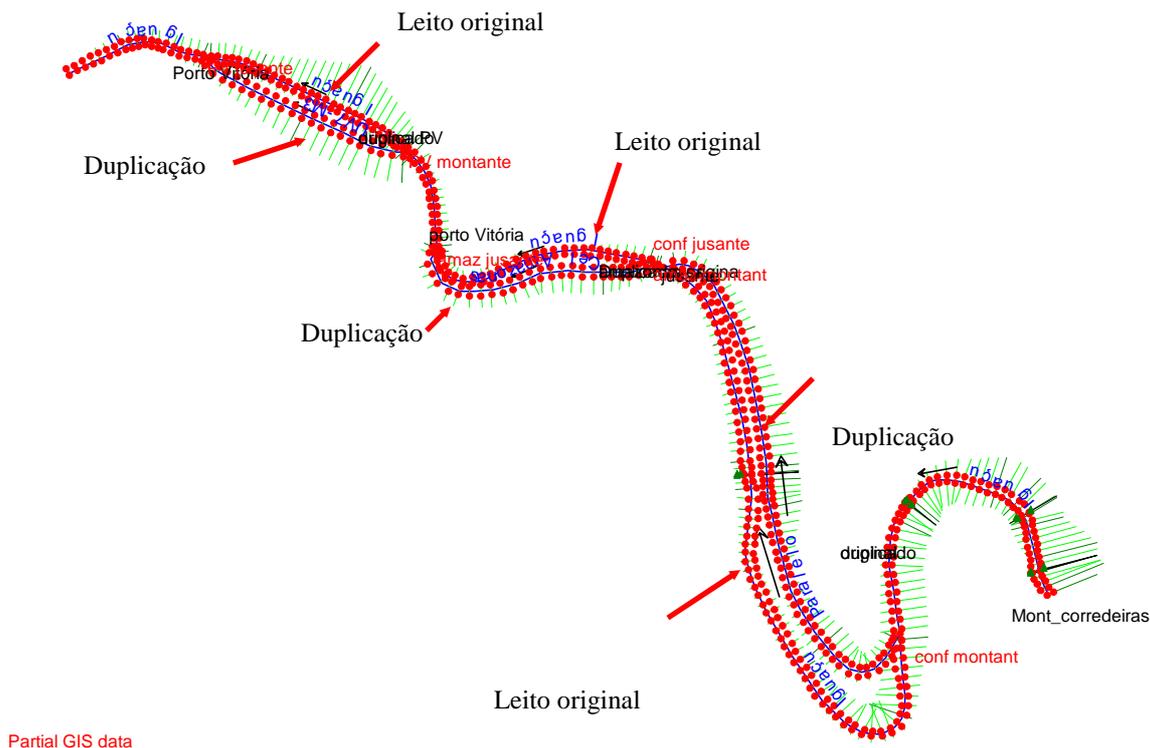
**Figura 9.8 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada a duplicação da calha principal no trecho “M3-UV7”**

No gráfico da figura 9.8 apresentam-se os rebaixamentos obtidos em União da Vitória e Porto União para a combinação de soluções estruturais simulada. Tomando como base a enchente de 1983, vazão equivalente a  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , o rebaixamento obtido foi de 1,15 m. Curiosamente este resultado é 6 cm inferior a soma linear do efeito das duas duplicações quando simuladas isoladamente. Isto se deve a distância entre a confluência de montante da duplicação do trecho “M3-UV7” e a confluência de jusante da duplicação da curva da Fazenda Brasil. Devido a esta distância os rebaixamentos obtidos com a duplicação “M3-UV7” amortecem até a confluência de jusante da próxima duplicação, não colaborando para que a combinação em série aumente os benefícios. Por este motivo, esta solução foi examinada em conjunto com a duplicação do trecho da Colônia Coronel Amazonas, apresentada no próximo item.

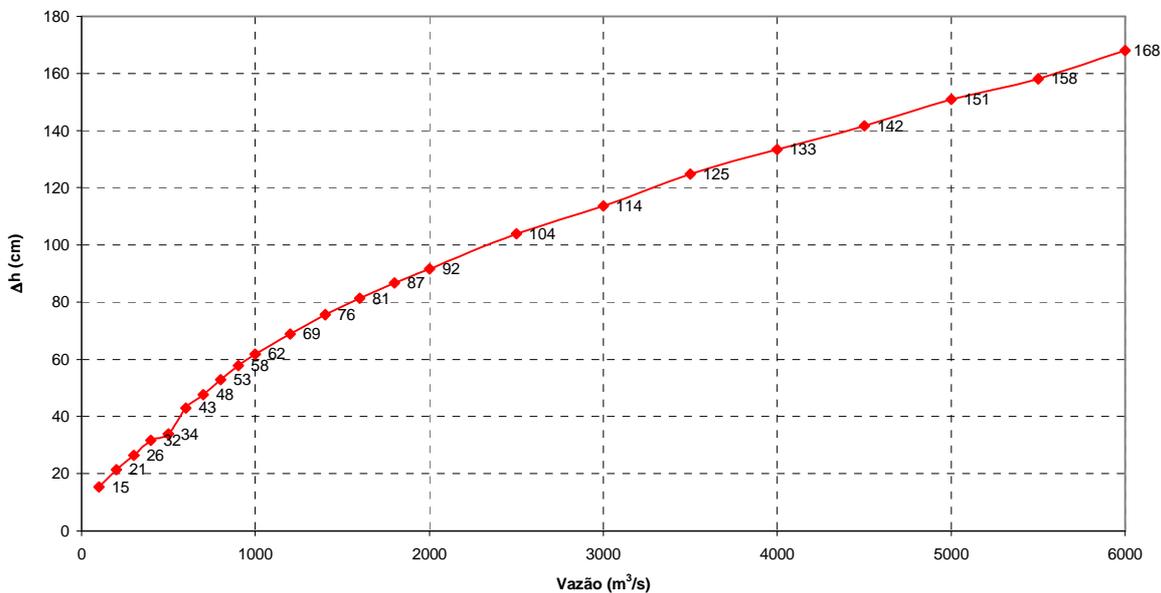
### **9.5 Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR combinada com a duplicação na região da Colônia Coronel Amazonas e com a duplicação no trecho M3-UV7**

Neste item examinam-se os benefícios hidráulicos da combinação em série de três duplicações da calha principal: duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR, duplicação da calha na região da Colônia Coronel Amazonas, e duplicação do trecho “M3-UV7”. Estas três duplicações somam juntas 15.050 m de extensão. Na figura 9.9 visualiza-se a locação das três duplicações no contexto do trecho do rio Iguaçu entre as estações fluviométricas de União da Vitória e Porto Vitória.

O gráfico da figura 9.10 apresenta os resultados simulados. Para efeitos de comparação, o rebaixamento para vazão equivalente à cheia de 1983 foi de 1,51 m. Este valor é 5 cm superior a soma linear dos rebaixamentos obtidos na simulação isolada de cada uma das três duplicações. Esta solução, considerando a duplicação da calha em três trechos, esgota a possibilidade de duplicação real da calha principal. A combinação destas três duplicações corresponde à utilização máxima das planícies de inundação. Isto pode ser observado na figura do apêndice “B”, na qual é possível observar que a locação destas três duplicações ocupa praticamente todo o terreno lateral a calha principal, que esteja localizado abaixo da cota 750 m, e que seja largo o suficiente para permitir a construção de uma calha paralela com largura média de 240 m.



**Figura 9.9 – Combinação das duplicações da curva da Fazenda Brasil com as duplicações nos trechos da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7”**

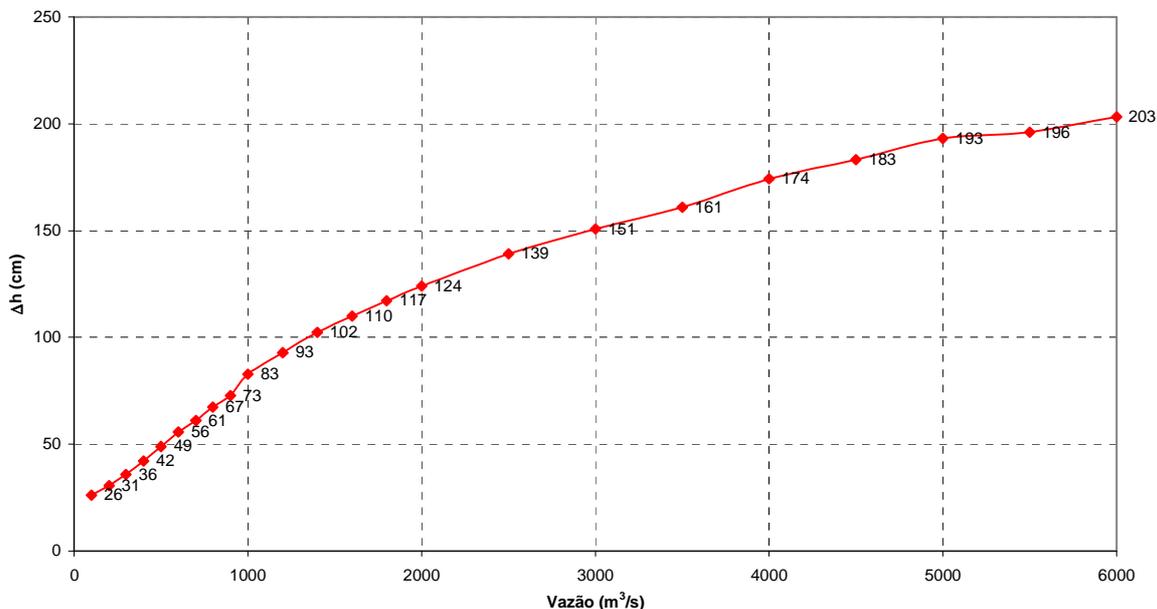


**Figura 9.10 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada à duplicação da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7”**

**9.6 Duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme proposta do CEHPAR, combinada com a duplicação na região da Colônia Coronel Amazonas e no trecho M3-UV7, e com a escavação entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca**

A combinação de soluções estruturais realizada no item anterior foi considerada neste item em associação com a escavação proposta no item 9.1, de rebaixamento de 3 m no fundo da calha principal entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação da curva da Fazenda Brasil (figura 9.1).

Os resultados obtidos adicionando-se a escavação do item 9.1, juntamente com as três duplicações propostas no item 9.5, estão apresentados no gráfico da figura 9.11. Nota-se um ganho de 42 cm devido à adição desta escavação, ou seja, o rebaixamento do nível de cheia calculado para as cidades de União da Vitória e Porto União foi de 1,93 m, contra 1,51 m do item anterior.



**Figura 9.11 – Rebaixamento de níveis obtido em União da Vitória e Porto União com a duplicação da curva da Fazenda Brasil, conforme a proposta do CEHPAR, associada à duplicação da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7”, e com a escavação de 3 m no trecho entre a Ponte Férrea e a confluência de montante da duplicação da curva da Fazenda Brasil**

## 10. SINTESE DAS SOLUÇÕES ESTRUTURAIS ANALISADAS

Este capítulo apresenta um resumo dos resultados de cada simulação estrutural proposta nos capítulos anteriores, e realiza considerações a respeito de cada uma. No item 10.1 são comparados graficamente os resultados das soluções analisadas. No item 10.2 apresenta-se uma estimativa de custo de cada uma das soluções e os resultados de um pré-estudo de viabilidade econômica, que poderá nortear futuras tentativas de implantação de alguma das soluções estruturais propostas.

### 10.1 Análise comparativa das alternativas estruturais simuladas

#### 10.1.1 Efeito da estrutura das pontes

Os efeitos das estruturas das quatro pontes existentes no trecho do rio Iguaçu, entre União da Vitória e Porto Vitória, sobre os níveis de enchente em União da Vitória foram determinados no quinto capítulo. Os resultados obtidos, considerando a influência tanto dos pilares como dos aterros de aproximação, estão ilustrados no gráfico da figura 10.1.

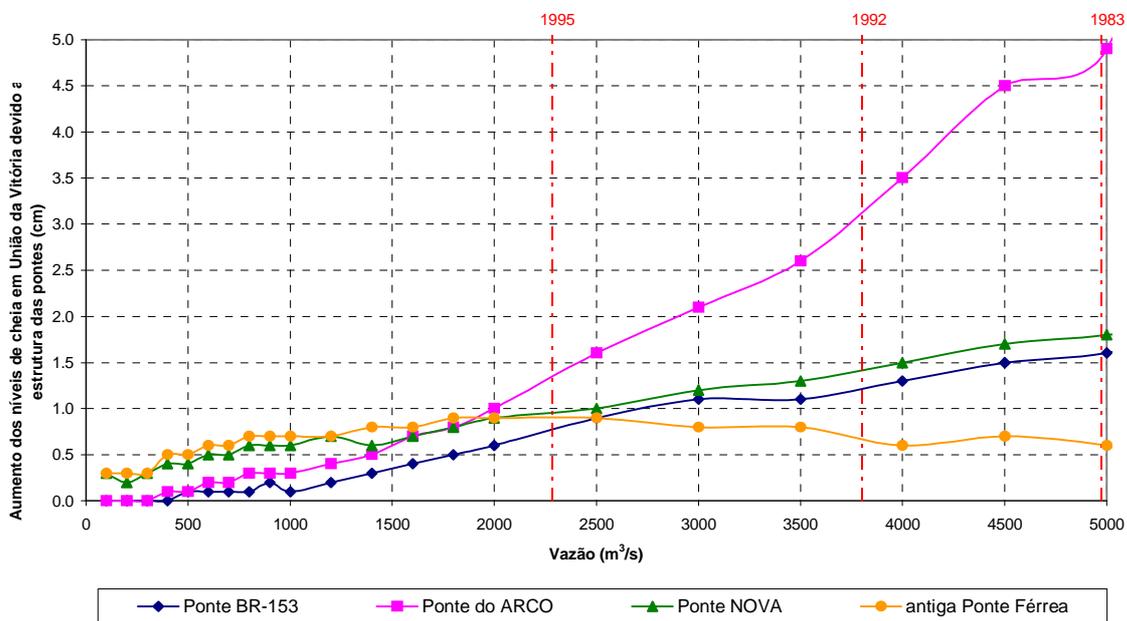


Figura 10.1 – Efeito das pontes sobre os níveis de enchente em União da Vitória e Porto União

A ordem de grandeza destes efeitos é inferior a 5 cm, e é condizente com os resultados encontrados no estudo de TUCCI&VILLANUEVA (1997). Para a cheia de 1992, os autores

deste estudo afirmam que o efeito dos aterros de aproximação é praticamente nulo. Para a cheia de 1983, os autores encontraram um efeito total, dos aterros das quatro pontes, de 12 cm. Considerando as aproximações embutidas na análise do efeito das pontes, devido à falta de dados para calibração dos efeitos, e possíveis diferenças entre os métodos empregados em ambos os estudos, pode-se afirmar que os resultados obtidos são da mesma ordem de grandeza e por isso são praticamente iguais, e demonstram que as pontes pouco influenciam nos níveis de enchente nas cidades.

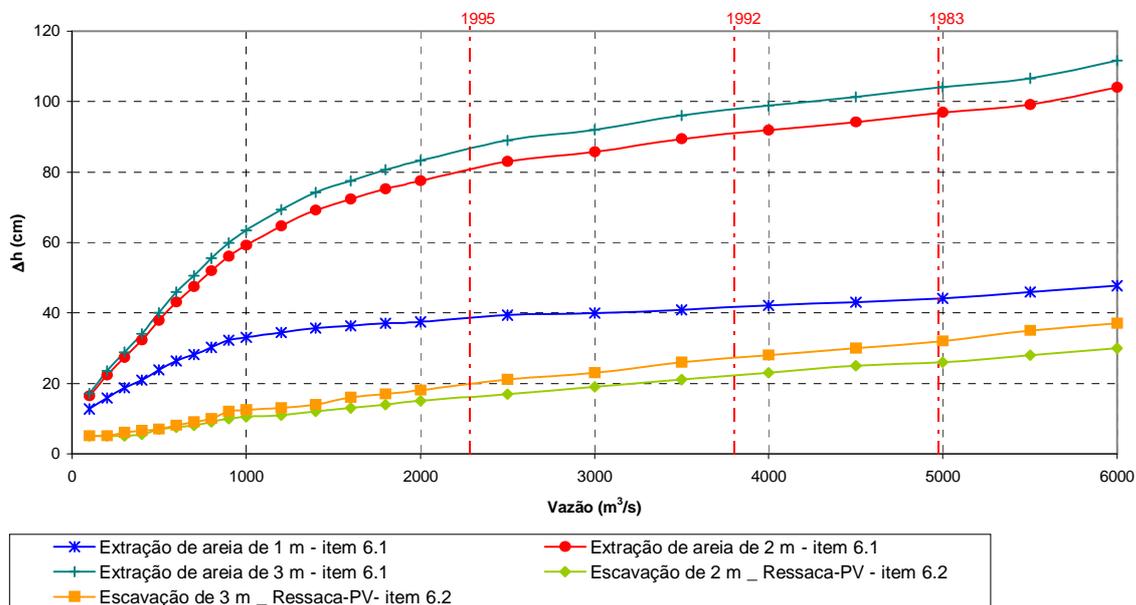
A realização de intervenções estruturais para eliminação do efeito das pontes demandaria grandes obras na região das pontes. Reformar os pilares das pontes a fim de reduzir seus efeitos nas cheias pode ser considerado irrealizável. Pois os custos seriam altíssimos, e o benefício quase nulo. A substituição dos aterros de aproximação por vãos livres causaria a interdição da ponte por tempo prolongado, a necessidade de grande movimentação de terra, e a construção de novos vãos para a estrutura. Seriam necessários investimentos muito superiores aos benefícios, e ainda assim, o efeito das pontes, de poucos centímetros, não desapareceria totalmente nas cheias. Os recursos que seriam necessários nestas obras poderiam ser empregados em outras soluções que gerariam melhores benefícios às cidades, ou então em outras áreas sociais mais prioritárias.

#### *10.1.2 Extração de areia na calha principal e escavações no trecho Ressaca- Porto Vitória*

A possibilidade de escavação na calha principal foi analisada no capítulo seis deste relatório. Nos dois primeiros itens foram analisadas escavações divididas em trechos, a montante e a jusante da curva da Ressaca. Como citado anteriormente, a jusante da Curva da Ressaca, próximo à foz do rio da Prata, existe a transição de rugosidade do fundo do rio, ou seja, a montante deste ponto existem grandes quantidades de areia depositadas no fundo, e a jusante existe um fundo formado por rocha, que se desenvolve em direção a Porto Vitória. As soluções apresentadas no gráfico da figura 10.2 representam três análises de extração de areia no fundo da calha do rio entre a Ponte Domicio Scaramella (Ponte Nova) e a curva da Ressaca, e dois cenários de escavação do fundo rochoso existente entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória.

No gráfico da figura 10.2 pode-se comparar os benefícios das escavações propostas. Nota-se que os rebaixamentos de 2 e 3 m simulados no fundo rochoso existente entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória, não resultam em ganhos significativos de rebaixamento de níveis em União da Vitória e Porto União, os valores de redução de nível são da ordem de 20 ou 30 cm

para as cheias de 1983 e 1992. Para realização desta obra, seria necessário remover volumes de rocha submersa da ordem de 4 a 6 milhões de metros cúbicos. O custo, devido à escavação submersa, seria muito grande perante os benefícios, como será analisado no item 10.2.



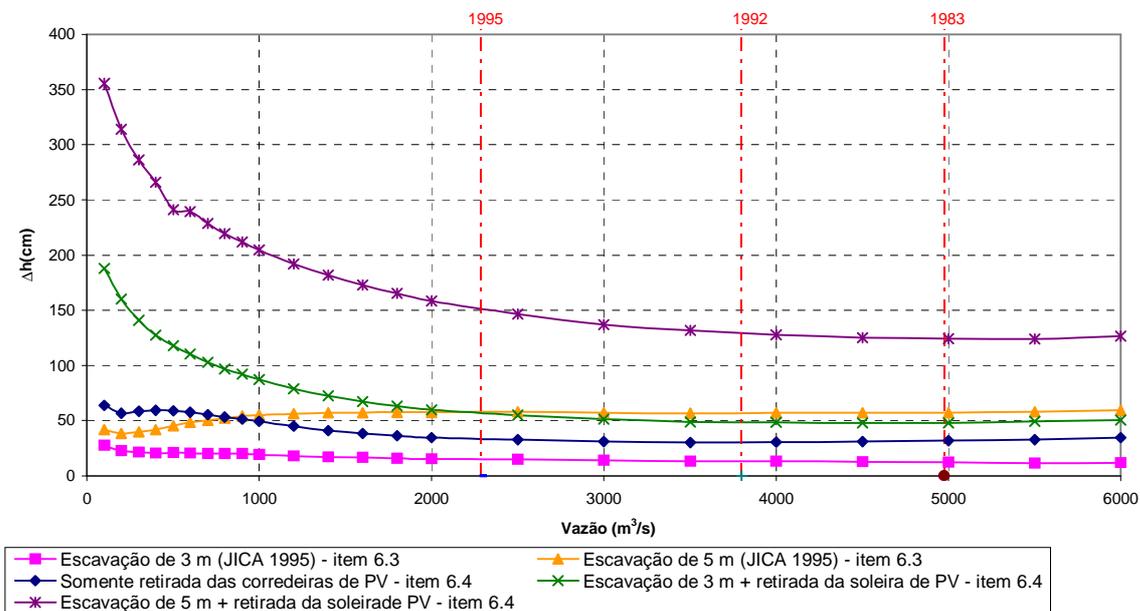
**Figura 10.2 – Resumo dos rebaixamentos de níveis obtidos em União da Vitória para extração de areia a jusante das cidades e escavações entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória**

A análise da extração de areia do fundo da calha demonstrou que rebaixamentos de 2 e 3 m no fundo da calha entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca, podem gerar rebaixamentos nos níveis de cheia da ordem de 1 m para cheia de 1983. Como a extração de areia do fundo da calha principal é uma atividade comercial na região de União da Vitória e Porto União, talvez a criação de uma política de gestão desta atividade, aliada a um incentivo para que fossem realizadas extrações uniformes ao longo do fundo do rio, poderiam contribuir para o barateamento desta solução.

### 10.1.3 Avaliação das soluções propostas pela JICA e análise da retirada das corredeiras de Porto Vitória

No sexto capítulo foram realizadas simulações com intuito de confirmar os resultados obtidos pela JICA(1995) com escavações de 3 e 5 metros ao longo de toda calha principal. Estas escavações consideram o rebaixamento do fundo do rio numa linha de declividade 1:20.000 com rebaixamentos de 3 e 5 m em Porto Vitória. Além de se refazer estas simulações, foram

executadas novas simulações que contemplam o rebaixamento ou a retirada das corredeiras de Porto Vitória. No gráfico da figura 10.3 estão apresentados os resultados da análise. Nas simulações da JICA (1995) foram encontrados rebaixamentos de 30 e 60 cm nos níveis de cheia em União da Vitória para rebaixamentos de 3 e 5 m respectivamente. Nas simulações executadas neste presente projeto, foram encontrados resultados de 12 e 57 cm para os cenários da JICA. A diferença encontrada provém das diferentes seções transversais usadas em ambos os estudos, entretanto confirmou-se novamente, que mesmo diante de escavações severas na calha principal, os rebaixamentos de níveis obtidos não eliminam o problema das cheias.



**Figura 10.3 – Resumo das simulações realizadas considerando escavação em todo o trecho União da Vitória – Porto Vitória e retirada das corredeiras de Porto Vitória**

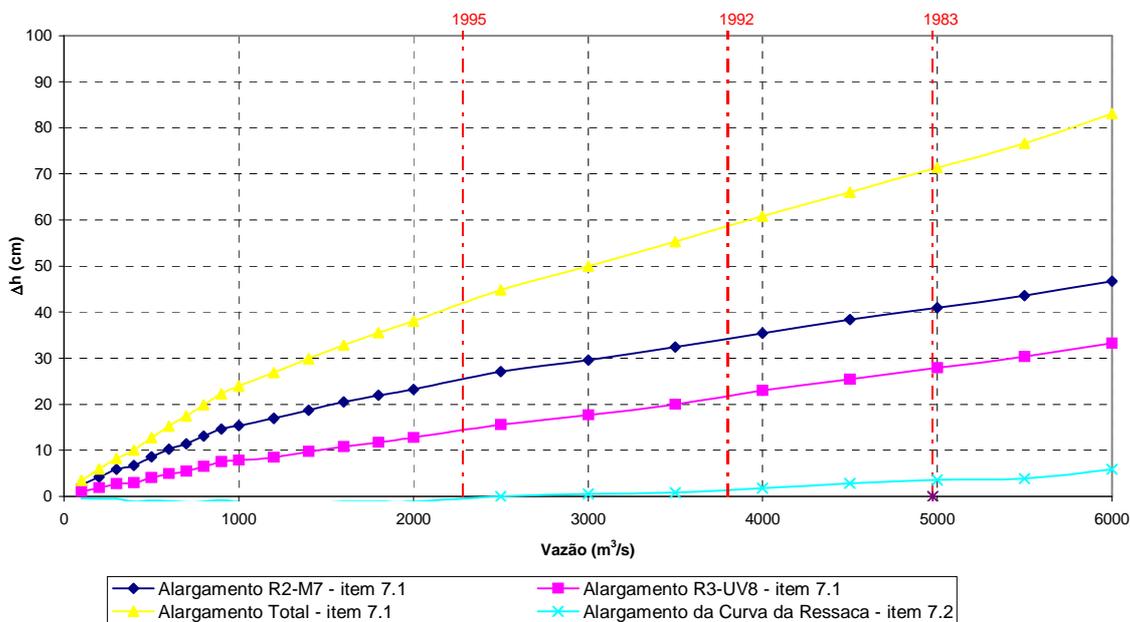
As simulações que contemplaram a retirada das corredeiras de Porto Vitória não obtiveram sucesso no rebaixamento de níveis de cheia em Porto União e União da Vitória. Supondo apenas a retirada das corredeiras de Porto Vitória, os rebaixamentos para as cheias de 1983, 1992, e 1995 são inferiores a 50 cm. Combinando-se a retirada das corredeiras com as escavações da JICA obtêm-se resultados melhores que atingem 1,25 m de rebaixamento.

A execução de uma obra com o intuito de retirar as corredeiras de Porto Vitória apresentaria um custo altíssimo associado a grandes impactos ambientais. A execução desta obra apresentaria uma complexidade enorme, devido à velocidade do rio nesta região. Além disso, o rebaixamento desta corredeira causaria um rebaixamento dos níveis de escoamento no trecho de

montante e um conseqüente aumento na velocidade média do rio. Isto poderia causar arraste de sedimentos em direção ao reservatório de Foz do Areia, além de um grande risco a estabilidade das margens do rio. Como citado pela JICA (1995), esta obra poderia causar um processo erosivo incontrollável neste trecho do rio Iguaçu.

#### 10.1.4 Alargamentos da calha principal

O alargamento da calha principal do rio Iguaçu no trecho entre União da Vitória e Porto Vitória foi estudado no sétimo capítulo deste relatório. A topografia da região do trecho do rio Iguaçu em análise não permite que seja locado um alargamento em toda a extensão do trecho, por isso foram estudadas duas duplicações “M7-R2” e “R3-UV8”. Os resultados obtidos, considerando um alargamento de 50 m, estão apresentados no gráfico da figura 10.4.



**Figura 10.4 – Resumo dos rebaixamentos obtidos em União da Vitória e Porto União considerando alargamentos da calha principal do rio Iguaçu no trecho União da Vitória – Porto Vitória**

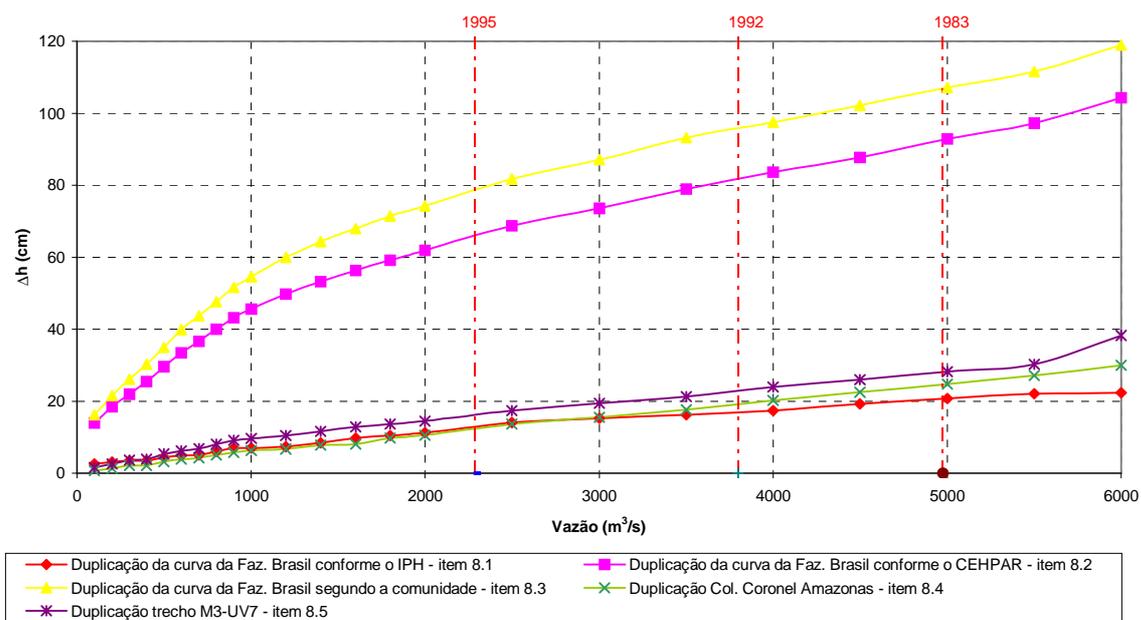
Os resultados individuais do alargamento dos trechos resultam em rebaixamentos de nível que oscilam entre 30 e 40 cm. A combinação dos dois alargamentos em série, resulta num rebaixamento de 70 cm. E o alargamento da Curva da Ressaca, que representa uma constante dúvida por parte das comunidades de União da Vitória e Porto União, não apresenta ganhos significativos nas cidades, sendo o rebaixamento obtido da mesma ordem de grandeza do encontrado por TUCCI & VILLANUEVA (1997), ou seja, aproximadamente 3 cm.

A execução deste tipo de obra poderia representar um impacto ambiental apreciável, pois exigiria o desmatamento de grande extensão da mata ciliar do rio Iguçu.

### 10.1.5 Duplicações da calha principal

A duplicação de trechos da calha principal do rio Iguçu foi analisada no oitavo capítulo. A vantagem da execução destas obras provém da possibilidade de se acrescentar grande capacidade de descarga ao canal, escavando a seco o terreno das planícies de inundação. Mesmo que a permeabilidade do terreno não permita o rebaixamento do lençol freático, pode-se utilizar equipamentos de escavação do tipo “drag-line”, que operem a partir da superfície do terreno.

A desvantagem destas obras deve-se a necessidade de desapropriação de terrenos, a necessidade de desmatamento da mata ciliar e à possibilidade de aumento da sedimentação da região da duplicação devido à diminuição da velocidade média do canal nos trechos duplicados.



**Figura 10.5 – Resumo dos benefícios obtidos com a duplicação da calha principal na curva da Fazenda Brasil, região da Colônia Coronel Amazonas e trecho Curva da Ressaca – Porto Vitória**

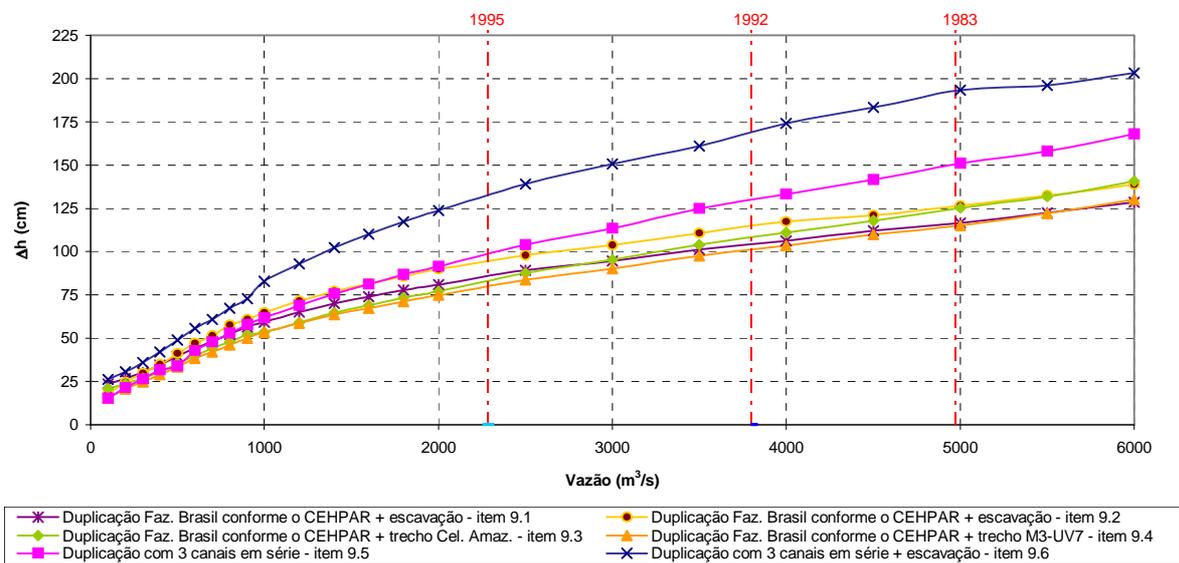
No gráfico da figura 10.5 apresentam-se os rebaixamentos obtidos com as cinco alternativas de duplicação analisadas no oitavo capítulo. Dentre as duplicações analisadas para curva da Fazenda Brasil o melhor resultado foi de 1,15 m para 1983, e o menor da ordem de 20 cm. A solução mais vantajosa, entretanto, denominada de proposta da comunidade, apresenta

grandes volumes de escavação em rocha, e necessidade de realocação de estradas. Além disso, o corte que é necessário para transpor uma região de topografia acidentada, como pode ser observado na figura do apêndice “B”, resultaria em taludes com altura de 35 m, por este motivo, a viabilidade geotécnica desta solução é duvidosa e questionável.

As duplicações da região da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7” apresentam benefícios da ordem de 30 cm para cheia de 1983. Estes benefícios, somados a necessidade de escavação de grandes volumes em rocha, invalidam a implantação de apenas uma destas soluções isoladamente. O relevo desta região, aliado a existência de rocha no sub-solo, e o amortecimento do efeito destas duplicações devido à distância até as cidades, não tornam estas duplicações tão vantajosas quanto as propostas para curva da Fazenda Brasil.

### 10.1.6 Combinações de soluções estruturais

Devido às soluções analisadas neste trabalho não apresentarem rebaixamentos de níveis que eliminassem as cheias em União da Vitória e Porto União, simularam-se combinações de soluções estruturais, cujos resultados estão apresentados no gráfico da figura 10.6.



**Figura 10.6 – Comparação dos rebaixamentos obtidos com a combinação de soluções estruturais propostas no nono capítulo**

Este gráfico apresenta os melhores resultados obtidos neste trabalho. A combinação de soluções estruturais resulta em rebaixamentos na faixa de 1,15 até 1,93 m. Estas soluções foram obtidas através da combinação de duplicações da calha principal com escavações na mesma.

#### *10.1.7 Amortecimento de cheias a montante*

Além das soluções estruturais localizadas a jusante das cidades, como as analisadas neste relatório, e das soluções na própria cidade, como desapropriações e diques, restaria uma tentativa de solução estrutural a montante das cidades, que seria a construção de um reservatório de amortecimento de cheias. Uma análise preliminar demonstrou que esta alternativa é praticamente inviável, pois necessitaria de um volume de reservatório da ordem de 5.000 a 6.000 hm<sup>3</sup>, que considerando uma altura média de 20 metros para o reservatório de amortecimento, e considerando que o vale do Iguaçu é muito plano nesta região, resultaria numa área de reservatório de 250 a 300 km<sup>2</sup>.

### **10.2 Estimativa de custos e resultados da pré-viabilidade econômica das soluções estruturais propostas**

Neste item realizou-se inicialmente uma estimativa preliminar dos custos de implantação de cada uma das alternativas estruturais analisadas do sexto ao nono capítulo deste relatório. A inexistência de perfis geotécnicos ao longo da calha do rio Iguaçu, e ao longo do eixo das duplicações analisadas, constituiu-se num fator importante na precisão da estimativa dos volumes de escavação de terra e rocha. Por este motivo os volumes utilizados nesta estimativa de custo estão sujeitos a erros consideráveis conforme a discrepância existente nas hipóteses adotadas para determinação da existência de rocha no sub-solo das planícies de inundação e da calha principal. Desta forma os custos de implantação destas soluções estão sujeitos a desvios de cálculo. Além disso, é importante salientar que o custo de implantação de algumas soluções, como por exemplo às duplicações da calha principal, não contemplam o custo de desapropriação dos terrenos, constituindo então uma importante simplificação deste orçamento preliminar, e conseqüentemente do estudo de pré-viabilidade econômica realizado.

Na tabela 10.1 apresentam-se os custos unitários das principais atividades a serem realizadas na execução das obras analisadas neste trabalho. Estes custos unitários representam valores médios obtidos durante o primeiro trimestre do ano de 2005. Nesta tabela estão

apresentados valores para desmate, destocamento e limpeza dos terrenos, escavação comum, escavação em rocha a céu aberto, escavação comum submersa em água e escavação em rocha submersa em água.

**Tabela 10.1 – Custos unitários básicos utilizados no orçamento preliminar**

<b>Atividade</b>	<b>Custo Unitário</b>
<b>Desmate, destocamento e raspagem do terreno</b>	R\$ 0,60 / m <sup>2</sup>
<b>Escavação Comum</b>	R\$ 3,75 / m <sup>2</sup>
<b>Escavação em rocha a céu aberto</b>	R\$ 12,50 / m <sup>2</sup>
<b>Escavação comum submersa em água</b>	R\$ 6,75 / m <sup>2</sup>
<b>Escavação em rocha submersa em água</b>	R\$ 33,00 / m <sup>2</sup>

Nota: cotação média para o primeiro trimestre de 2005.

Para efeitos do estudo de pré-viabilidade econômica realizado na seqüência foram contabilizados os custos de cada solução em dólar. A taxa de conversão utilizada foi de R\$ 2,70 / US\$, taxa esta, considerada um valor médio para o primeiro trimestre de 2005.

Para cada uma das alternativas analisadas foram realizados levantamentos quantitativos dos volumes de escavação comum e em rocha, a céu aberto e submersos, e da área necessária para limpeza do terreno. Os volumes das escavações nas planícies de inundação ou nos terrenos laterais foram contabilizados com auxílio da base topográfica apresentada no mapa do Apêndice “B”, que discretiza a altimetria do terreno com curvas de nível de 1 em 1 m. Os cálculos de escavações submersas foram apoiados nas seções transversais utilizadas para modelagem do trecho, e descritas no relatório do projeto HG-175, CEHPAR (2002).

A tabela 10.2 resume os procedimentos realizados para estimativa preliminar dos custos de cada alternativa estrutural analisada. Foi estabelecida uma numeração para identificação de cada alternativa, que também é representada pelo item do capítulo na qual foi analisada do ponto de vista hidráulico. As demais colunas apresentam a quantificação dos volumes de escavação e a área de desmate e limpeza dos terrenos. Com os valores unitários da tabela 10.1 obtiveram-se os custos apresentados nas duas últimas colunas. Nota-se que o custo de algumas alternativas ultrapassa o valor de 86 milhões de dólares, que segundo a JICA (1995), seria o custo de implantação de um sistema de diques para proteção das cidades!

**Tabela 10.2 – Estimativa preliminar dos custos de execução das alternativas estruturais analisadas**

n	Solução Estrutural	item	Estimativas de Volumes de escavação (m <sup>3</sup> )				Destocamento m <sup>2</sup>	Estimativa de custo ***	
			Comum	Rocha céu ab.	Submersa	Roc. Submersa		R\$	US\$
1	Extração de areia - 1 m	6.1	----	----	3,789,396.75	----	----	25,578,428.09	9,473,491.88
2	Extração de areia - 2 m	6.1	----	----	7,578,793.51	----	----	51,156,856.18	18,946,983.77
3	Extração de areia - 3 m	6.1	----	----	11,368,190.26	----	----	76,735,284.26	28,420,475.65
4	Escavação Ressaca_PV - 2 m	6.2	----	----	----	3,917,213.16	----	129,268,034.28	47,877,049.73
5	Escavação Ressaca_PV - 3 m	6.2	----	----	----	5,875,819.74	----	193,902,051.42	71,815,574.60
6	JICA - escavação de 3 m	6.3	----	----	----	2,000,000.00	----	66,000,000.00	24,444,444.44
7	JICA - escavação de 5 m	6.3	----	----	----	7,000,000.00	----	231,000,000.00	85,555,555.56
8	Retirada das corredeiras	6.4	----	----	----	725,600.00	----	71,834,400.00	26,605,333.33
9	Retirada das corredeiras + JICA (3m)	6.4	----	----	----	2,725,600.00	----	137,834,400.00	51,049,777.78
10	Retirada das corredeiras + JICA (5m)	6.4	----	----	----	7,725,600.00	----	368,834,400.00	136,605,333.33
11	Alargamento da calha no trecho M7-R2	7.1	2,474,400.00	----	1,649,600.00	----	50,600.00	20,444,160.00	7,571,911.11
12	Alargamento da calha no trecho UV5-R4	7.1	1,467,900.00	----	----	978,600.00	35,189.00	37,819,538.40	14,007,236.44
13	Alargamento Total	7.1	3,942,300.00	----	1,649,600.00	978,600.00	85,789.00	58,263,698.40	21,579,147.56
14	Alargamento da Curva da Ressaca	7.2	1,900,800.00	----	1,356,298.00	----	356,982.00	16,497,200.70	6,110,074.33
15	Dupl. Faz. Brasil conforme T&Villanueva	8.1	4,051,698.02	----	----	----	603,420.53	15,555,919.87	5,761,451.81
16	Dupl. Faz. Brasil conforme o CEHPAR	8.2	15,554,964.68	----	----	----	1,817,986.56	59,421,909.49	22,008,114.63
17	Dupl. Faz. Brasil conforme a comunidade	8.3	11,312,726.02	885,051.00	----	----	1,199,957.72	54,205,834.70	20,076,235.08
18	Dupl. do trecho Col. Coronel Amazonas	8.4	3,079,860.83	3,788,653.53	----	----	937,414.28	59,470,095.84	22,025,961.42
19	Dupl. do trecho UV7-M3	8.5	2,767,865.84	3,556,192.00	----	----	751,760.82	55,282,953.37	20,475,167.92
20	Comb. Faz. Brasil CEHPAR com E1	9.1	15,554,964.68	----	7,578,793.51	----	1,817,986.56	110,578,765.67	40,955,098.40
21	Comb. Faz. Brasil CEHPAR com E3	9.2	15,554,964.68	----	3,948,653.01	1,217,550.81	1,817,986.56	126,254,494.16	46,760,923.76
22	Comb. Faz. Brasil CEHPAR + Cel Amaz.	9.3	18,634,825.51	3,788,653.53	----	----	2,755,400.84	118,892,005.33	44,034,076.05
23	Comb. Faz. Brasil CEHPAR + UV7-M3	9.4	18,322,830.52	3,556,192.00	----	----	2,569,747.38	114,704,862.87	42,483,282.54
24	3 canais em série	9.5	21,402,691.35	7,344,845.53	----	----	3,507,161.66	174,174,958.70	64,509,243.96
25	3 canais em série + escavação E3	9.6	21,402,691.35	7,344,845.53	3,948,653.01	1,217,550.81	3,507,161.66	241,007,543.38	89,262,053.10

\*\*\* R\$ / US\$ = 2,70

De posse da estimativa preliminar de custos de cada alternativa realizou-se um estudo de pré-viabilidade econômica da implantação de cada alternativa analisada. Este estudo foi denominado de “pré-viabilidade” devido: às aproximações e incertezas existentes na estimativa de custo das obras; e à aproximação utilizada para estimativa dos benefícios anuais com tais obras. Entretanto, apesar de os resultados finais não serem conclusivos, os mesmos são úteis para indicar em quais das alternativas estruturais pesquisadas devem ser investidos estudos mais detalhados para suas implantações. O principal mérito deste estudo de pré-viabilidade econômica não é apontar a solução mais viável, mas sim qualificar um conjunto de soluções estruturais a serem discutidas com outro nível de detalhamento pelas comunidades das cidades e órgãos governamentais.

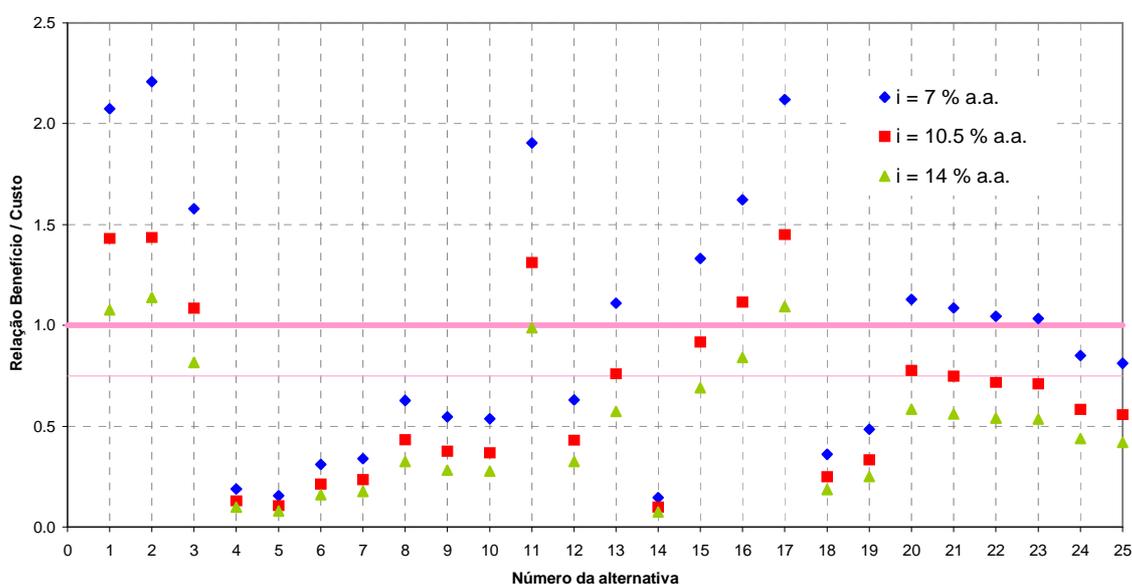
A primeira tarefa realizada neste estudo foi à determinação do benefício médio anual que cada solução analisada forneceria caso fosse implantada. Para isto analisou-se a série histórica de cheias em União da Vitória, e a curva de prejuízo *versus* cota de inundação determinada pela JICA (1995), e apresentada na figura 2.3 da página 10 deste presente relatório. Através da relação determinada pela JICA, contabilizou-se o ganho monetário que o rebaixamento de nível, originado por cada alternativa estrutural, causa em cada cheia superior a cota 745,50 m ao longo da série histórica. Os benefícios totais foram então transformados em benefícios anuais para um período de análise de 50 anos. Estes benefícios anuais foram comparados aos custos anuais de cada alternativa pelo método de análise de investimentos denominado VAUE (Valor Anual Uniforme Equivalente), descrito por CASAROTTO FILHO & KOPITTKKE (1998). A razão entre o benefício monetário anual causado pelo rebaixamento dos níveis de cheia e o custo anual das cobras resulta na relação benefício / custo para as alternativas analisadas, e teoricamente, as alternativas só podem ser ditas viáveis, do ponto de vista econômico, se esta relação for superior a unidade.

Foram utilizadas nesta análise três taxas de juros: 7, 10.5 e 14 % ao ano. O primeiro valor equivale aproximadamente ao rendimento da caderneta de poupança no Brasil, nos últimos anos, a taxa de 14 % a.a. foi utilizada nos estudos da JICA (1995), e o valor de 10,5 % é a média das duas taxas extremas. Na tabela 10.3 apresentam-se os resultados desta pré-viabilidade econômica. Após as colunas de descrição das alternativas apresentam-se: os rebaixamentos do nível de cheia em 1983, 1992 e 1993, o benefício anual e o custo total de cada alternativa, e em seguida, o VAUE para cada alternativa com a respectiva relação benefício/custo.

**Tabela 10.3 – Resumo do estudo de pré-viabilidade econômica das soluções estruturais propostas**

n	Solução Estrutural	item	Rebaixamentos de níveis (cm)			Benefício anual milhões US\$	Custo obra milhões US\$	Análise p/ i = 7 % a.a		Análise p/ i = 10.5 % a.a		Análise p/ i = 14 % a.a	
			1983	1992	1993			VAUE obra	B / C	VAUE obra	B / C	VAUE obra	B / C
1	Extração de areia - 1 m	6.1	44	42	40	1.431	9.47	0.690	<b>2.07</b>	1.000	<b>1.43</b>	1.330	<b>1.08</b>
2	Extração de areia - 2 m	6.1	97	91	84	3.027	18.95	1.370	<b>2.21</b>	2.110	<b>1.43</b>	2.660	<b>1.14</b>
3	Extração de areia - 3 m	6.1	104	98	90	3.253	28.42	2.060	<b>1.58</b>	3.000	<b>1.08</b>	3.980	0.82
4	Escavação Ressaca_PV - 2 m	6.2	26	22	18	0.657	47.88	3.470	0.19	5.060	0.13	6.710	0.10
5	Escavação Ressaca_PV - 3 m	6.2	32	27	22	0.804	71.82	5.200	0.15	7.590	0.11	10.070	0.08
6	JICA - escavação de 3 m	6.3	12	13	15	0.548	24.44	1.770	0.31	2.580	0.21	3.430	0.16
7	JICA - escavação de 5 m	6.3	57	57	58	2.107	85.56	6.200	0.34	9.040	0.23	11.990	0.18
8	Retirada das corredeiras	6.4	32	30	32	1.214	26.61	1.930	0.63	2.810	0.43	3.730	0.33
9	Retirada das corredeiras + JICA (3m)	6.4	48	49	54	2.023	51.05	3.700	0.55	5.400	0.37	7.160	0.28
10	Retirada das corredeiras + JICA (5m)	6.4	124	129	143	5.323	136.61	9.900	0.54	14.440	0.37	19.150	0.28
11	Alargamento da calha no trecho M7-R2	7.1	41	34	28	1.048	7.57	0.550	<b>1.91</b>	0.800	<b>1.31</b>	1.060	0.99
12	Alargamento da calha no trecho UV5-R4	7.1	28	22	16	0.637	14.01	1.010	0.63	1.480	0.43	1.960	0.33
13	Alargamento Total	7.1	71	59	47	1.733	21.58	1.560	<b>1.11</b>	2.280	0.76	3.030	0.57
14	Alargamento da Curva da Ressaca	7.2	4	1	0	0.064	6.11	0.440	0.15	0.650	0.10	0.860	0.07
15	Dupl. Faz. Brasil conforme T&Villanueva	8.1	21	17	14	0.559	5.76	0.420	<b>1.33</b>	0.610	0.92	0.810	0.69
16	Dupl. Faz. Brasil conforme o CEHPAR	8.2	93	82	70	2.599	22.01	1.600	<b>1.62</b>	2.330	<b>1.12</b>	3.090	0.84
17	Dupl. Faz. Brasil conforme a comunidade	8.3	107	96	84	3.073	20.08	1.450	<b>2.12</b>	2.120	<b>1.45</b>	2.810	<b>1.09</b>
18	Dupl. do trecho Col. Coronel Amazonas	8.4	25	19	14	0.577	22.03	1.600	0.36	2.330	0.25	3.090	0.19
19	Dupl. do trecho UV7-M3	8.5	28	23	18	0.718	20.48	1.480	0.49	2.160	0.33	2.870	0.25
20	Comb. Faz. Brasil CEHPAR com E1	9.1	116	104	91	3.355	40.96	2.970	<b>1.13</b>	4.330	0.77	5.740	0.58
21	Comb. Faz. Brasil CEHPAR com E3	9.2	126	115	100	3.686	46.76	3.390	<b>1.09</b>	4.940	0.75	6.560	0.56
22	Comb. Faz. Brasil CEHPAR + Cel Amaz.	9.3	125	108	90	3.335	44.03	3.190	<b>1.05</b>	4.660	0.72	6.170	0.54
23	Comb. Faz. Brasil CEHPAR + UV7-M3	9.4	115	101	86	3.181	42.48	3.080	<b>1.03</b>	4.490	0.71	5.960	0.53
24	3 canais em série	9.5	151	130	107	3.966	64.51	4.670	0.85	6.820	0.58	9.040	0.44
25	3 canais em série + escavação E3	9.6	193	169	143	5.252	89.26	6.470	0.81	9.440	0.56	12.510	0.42

A relação benefício / custo das alternativas está plotada no gráfico da figura 10.7 para as três taxas de juros em questão. Nesta figura é possível visualizar graficamente quais são as alternativas que se demonstram viáveis e quais são potencialmente viáveis. Esta última denominação foi dada às alternativas que se situam com relação benefício / custo entre 0,75 e 1. Isto porque as aproximações na estimativa dos custos podem fazer que determinadas alternativas que apresentem relação benefício / custo pouco inferior à unidade, sejam na verdade viáveis devido a alguma superestimativa de custos. Por este motivo no gráfico da figura 10.7 estão apresentadas duas retas horizontais, para relação benefício / custo igual à unidade e igual a 0,75.



**Figura 10.7 – Relação Benefício / Custo em função da taxa de juros para as 25 alternativas analisadas**

Observando-se a figura 10.7 pode-se concluir, mesmo com as aproximações embutidas no cálculo do custo de cada obra, que 11 das 25 alternativas são inviáveis do ponto de vista econômico. Estas alternativas estruturais que podem ser ditas inviáveis, apresentam relações benefício / custo muito inferior à unidade, e são elas: as simulações de números 4 e 5, que equivalem ao rebaixamento do fundo do rio entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória; as de números 6 a 10, que equivalem às escavações da JICA na calha principal e a retirada das corredeiras de Porto Vitória; o alargamento da calha principal entre as seções UV5 e R4, simulação nº 12; o alargamento da curva da Ressaca, simulação nº 14; e as duplicações isoladas da calha principal no trecho da Colônia Coronel Amazonas e no trecho “M3-UV7”, simulações de nº 18 e 19.

Dentre as soluções que são potencialmente viáveis pode-se listar: a solução nº 13, que equivale ao alargamento da calha principal nos dois trechos “M7-R2” e “UV5-R4”; e as simulações de número 20 a 25, que equivalem às combinações de duplicações em série e combinações com escavações na calha principal nas proximidades de União da Vitória. Estas cinco últimas alternativas apresentam-se viáveis para taxa de juro de 7 % a.a., mas cabe ressaltar novamente que devido à inexistência de perfis geotécnicos do sub-solo ao longo do eixo das duplicações, é possível que existam discrepâncias consideráveis nos custos destas obras, o que poderia tornar viável, ou inviabilizar economicamente estas obras. Por este motivo, recomenda-se, no caso de um estudo futuro de implantação de soluções estruturais, a avaliação mais detalhada dos custos e benefícios destas obras.

Do total das 25 soluções analisadas, sete das análises apresentam relações benefício / custo superior à unidade, com exceção de três destas sete, que apresentam relação benefício / custo inferior à unidade para taxa de juros de 14 % a.a.. Estas sete alternativas são: as soluções de nº 1 a 3, que equivalem à extração de areia entre a Ponte Nova e a Curva da Fazenda Brasil; a solução de nº 11, correspondente ao alargamento do trecho “M7-R2”; e as soluções de nº 5 a 7, que correspondem à duplicação da curva da Fazenda Brasil conforme as propostas de TUCCI & VILLANUEVA (1997), do CEHPAR (2005) e da comunidade das cidades de União da Vitória e Porto União.

Cabe ressaltar novamente que estes resultados são frutos de um estudo aproximado de viabilidade econômica. Os mesmos podem sofrer alterações, deixando de ser viáveis ou inviáveis de acordo com variações da taxa de juros, e de acordo com oscilações nos custos unitários das obras. Além disso, a confiabilidade desta análise está diretamente ligada com a precisão da curva de prejuízo *versus* cota definida pela JICA (1995), que possivelmente sofreu modificações com o crescimento das cidades nesta última década que separa este antigo estudo desta presente análise.

## 11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

A motivação principal para execução deste estudo foi à existência de inúmeras dúvidas das comunidades de União da Vitória e Porto União quanto à eficiência de soluções estruturais de controle de cheias no leito do rio Iguaçu. Além de analisar a eficiência de antigas soluções estruturais propostas em estudos anteriores, esta pesquisa serviu para desmistificar muitas dúvidas e crenças da comunidade local, sobre a influência de determinados trechos ou obstáculos naturais e artificiais, nos níveis de enchente em União da Vitória e Porto União. Além disso, novas alternativas estruturais foram propostas neste presente estudo.

No segundo capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica dos estudos anteriores, respectivos à análise de soluções estruturais para a questão de cheias nesse trecho do rio Iguaçu. Dentre as soluções estruturais analisadas, a construção de um sistema de diques foi à solução mais indicada, pois as demais soluções não conseguiram eliminar a inundação das áreas urbanas. Como solução não-estrutural, o zoneamento das áreas inundáveis, é a solução mais indicada, e ao alcance do poder público, dado o alto custo das soluções estruturais analisadas.

Preliminarmente a apresentação das soluções estruturais estudadas, foi apresentada no terceiro capítulo, uma análise das características hidráulicas do trecho do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória. Esta investigação serviu para demonstrar que a capacidade de descarga do rio Iguaçu neste trecho é reduzida devido à baixa declividade do fundo, e devido às pequenas seções transversais existentes no trecho, principalmente nas proximidades de Porto Vitória.

A influência das pontes sobre os níveis de cheia nas cidades de União da Vitória e Porto União foi assunto do quinto capítulo. Este estudo conclui que, mesmo diante das aproximações existentes nesta avaliação, as estruturas das quatro pontes existentes sobre o rio Iguaçu, neste trecho de análise, tem efeito desprezível sobre os níveis de cheia. O efeito encontrado nesta análise, para as quatro pontes, é inferior a 10 cm, e da mesma ordem de grandeza do efeito total encontrado por TUCCI & VILLANUEVA (1997), que resultou em 12 cm. Isto prova, que mesmo com a utilização de métodos diferentes, a influência das pontes pode ser dita desprezível diante da amplitude dos níveis de cheia nesta região.

As escavações e dragagens da calha principal do rio foram estudadas no sexto capítulo.

Verificou-se que mesmo diante de escavações com volumes da ordem de milhões de metros cúbicos, não se obtém rebaixamentos significativos no nível das cheias, que justifiquem a realização de obras grandes e caras nesta região. Na simulação da retirada das corredeiras de Porto Vitória, que é umas das principais dúvidas da comunidade, verificou-se que apenas a execução desta obra não resultaria em reduções significativas das enchentes. A redução dos níveis de escoamento em Porto Vitória causaria uma aceleração do escoamento, que resultaria numa maior declividade da linha de energia neste trecho de jusante. Desta forma, como observado nas simulações, os rebaixamentos significativos obtidos em Porto Vitória, são perdidos devido à recuperação dos níveis de escoamento em direção de União da Vitória. Mesmo a retirada das corredeiras, associada a uma escavação profunda na calha principal, não eliminaria a inundação da área urbana dos municípios de Porto União e União da Vitória. Verificou-se que a extração de areia da calha principal do rio, entre as cidades e a Curva da Ressaca, se realizada de forma uniforme ao longo do fundo, pode conduzir a rebaixamentos dos níveis de cheia nas cidades. Além dos rebaixamentos do fundo da calha principal, foram simulados alargamentos de 50 m na mesma. Os resultados do estudo de pré-viabilidade econômica demonstraram que o alargamento do trecho de montante, e este combinado com o trecho de jusante, são viáveis. Apesar disto, o efeito do alargamento da calha principal não elimina totalmente o problema das cheias nos municípios.

A alternativa de duplicações da calha principal do rio Iguaçu entre União da Vitória e Porto Vitória foi o tipo de obra mais investigado neste estudo. A topografia das regiões laterais à calha principal do rio permitiu o estudo de duplicações em três locais: Curva da Fazenda Brasil; trecho da Colônia Coronel Amazonas; e um trecho denominado “M3-UV7”, localizado entre a Curva da Ressaca e Porto Vitória. Estas alternativas apresentam a grande vantagem de poderem ser realizadas “a seco”, diminuindo o custo das escavações, tanto a céu aberto, quanto em rocha. As duplicações da curva da Fazenda Brasil demonstraram resultados significativos de redução de nível, para a cheia de 1983, por exemplo, os rebaixamentos variaram de 0,20 m a 1,15 m. As duplicações dos dois outros trechos, só se demonstraram viáveis quando combinadas com a duplicação da Curva da Fazenda Brasil. No nono capítulo foram realizadas combinações de alternativas estruturais, que culminaram com o rebaixamento máximo, obtidos nas simulações para a cheia de 1983, de 1,93 m, combinando três duplicações em série com uma escavação na calha principal entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca.

No décimo capítulo apresentam-se os resultados de um estudo de pré-viabilidade econômica de 25 soluções estruturais analisadas neste relatório. Este estudo, apesar de possuir aproximações consideráveis, serviu para demonstrar quais são as soluções potencialmente viáveis economicamente, e quais soluções podem ser desconsideradas devido à explícita inviabilidade econômica. Como citado anteriormente, o principal mérito deste estudo de pré-viabilidade econômica não foi apontar a solução ideal, dentre as analisadas, mas sim qualificar um conjunto de soluções estruturais a serem discutidas com outro nível de detalhamento pelas comunidades das cidades e órgãos governamentais responsáveis. Dentre as alternativas que se apresentaram mais viáveis estão a extração de areia na calha principal do rio, entre a Ponte Nova e a Curva da Ressaca, e as duplicações propostas para a Curva da Fazenda Brasil. Entretanto, a estimativa do custo destas obras foi realizado sem a existência de um perfil geotécnico na região das duplicações e na calha principal. Por este motivo, os custos estimados, e utilizados nesse estudo de pré-viabilidade econômica, estão sujeitos a erros consideráveis, que podem inclusive alterar as conclusões da pré-viabilidade econômica. Recomenda-se então, que no caso de interesse de implantação de alguma das alternativas estruturais analisadas neste estudo, sejam realizados levantamentos geotécnicos a fim de possibilitar uma estimativa mais precisa do custo destas obras.

Cabe ressaltar que este relatório é fruto de um estudo de alternativas, e nenhuma das alternativas analisadas podem ser implantadas de imediato. É importante salientar que os impactos ambientais destas obras não foram avaliados. Por este motivo, a implantação de qualquer uma das soluções propostas necessitaria da realização de um EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto do Meio Ambiente). Este estudo por sua vez, poderia até tornar inviável ambientalmente uma solução que é dita viável hidraulicamente e economicamente. Isto ocorre porque a execução de tais obras poderia desencadear processos erosivos ou de sedimentação de grandes dimensões neste trecho do rio Iguaçu, principalmente no caso das duplicações da calha principal, onde haveria uma redução da velocidade média do escoamento, favorecendo a sedimentação. E como todas as soluções apresentam variações no nível do rio, poderia haver modificações no ecossistema, não só no trecho analisado, mas também por muitos quilômetros a montante das cidades.

Apesar de nenhuma das 25 soluções analisadas neste trabalho eliminarem as inundações na área urbana de União da Vitória e Porto União, este estudo teve como mérito: sanar dúvidas

das comunidades das cidades; eliminar paradigmas sobre obstáculos naturais e artificiais na calha principal do rio; conscientizar a comunidade da complexidade dos problemas de escoamento do trecho do rio Iguaçu no qual estão localizadas as cidades de União da Vitória e Porto União; e propor novas alternativas estruturais a serem analisadas pela população e órgãos governamentais.

Finalmente cabe ressaltar que a implantação das soluções analisadas envolveria recursos monetários muito além da real disponibilidade da União, dos estados e dos municípios. Ainda mais diante da atual situação econômica do país, e diante de tantas outras necessidades prioritárias em outros problemas sociais. Observa-se que para a obtenção do melhor rebaixamento para a cheia de 1983, através da combinação de três duplicações em série com a escavação da calha principal, seria necessário um volume de 89 milhões de dólares, que é da mesma ordem de grandeza dos 86 milhões de dólares orçados pela JICA(1995) para construção de um sistema de diques de proteção às cidades de União da Vitória e Porto União. Desta forma, a implantação de qualquer alternativa de combate às cheias deve ser fruto de uma extensa discussão entre a população das cidades e os órgãos governamentais competentes. E diante dos altos custos das soluções estruturais, conclui-se que alternativas não-estruturais, como: o zoneamento das áreas inundáveis, e a implantação ou aprimoramento de sistemas de previsão de cheias em tempo real; são soluções “reais” e que estão atualmente ao alcance dos municípios.

## 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASAROTTO FILHO, N., KOPITTKE, B. H. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1998. 458 p.

CEHPAR- Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza. **Projeto HG-79. Análise do escoamento em regime não permanente no Rio Iguaçu entre Fluiópolis e Foz do Areia: relatório técnico nº 05**. Curitiba: CEHPAR, fev. 1996(a). Relatório Técnico.

CEHPAR- Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza. **Projeto HG-79. Análise do escoamento em regime não permanente no Rio Iguaçu entre Fluiópolis e Foz do Areia: relatório técnico nº 06 – Sumário Executivo**. Curitiba: CEHPAR, mar. 1996(b). Relatório Técnico.

CEHPAR- Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza. **Projeto HG-175 – Estudo de Revisão do Comportamento Hidráulico do Rio Iguaçu no Trecho entre União da Vitória e Foz do Areia**. Curitiba: CEHPAR, dez. 2002. Relatório Técnico.

CEHPAR- Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza. **Projeto HG-193 – Estudos de Consistência e Reconstituição de Séries de Vazões Naturais na Bacia do Rio Iguaçu**. Curitiba: CEHPAR, dez. 2003. Relatório Técnico.

COPEL. **Influência do reservatório de Foz do Areia sobre os níveis de enchentes em União da Vitória**. Curitiba: COPEL, 1980. 53 p. Relatório Técnico.

COPEL. **Influência do reservatório de Foz do Areia sobre os níveis de enchentes em União da Vitória: revisão e atualização**. Curitiba: COPEL, 1985. Relatório Técnico.

HEC – Hydrologic Engineering Center. **HEC-RAS – Hydraulic Reference Manual**. Davis: HEC, 2001. 262 p.

HENDERSON, F. M. **Open Channel Flow**. Nova York: Macmillian Company, 1966. 522 p.

IBGE. **União da Vitória**. Superintendência de Cartografia, 1974. 1 mapa: color; 58 x 73 cm. Escala 1:100.000.

JICA - Japan International Cooperation Agency. **The master plan study on the utilization of water resources in Paraná State in the Federal Republic of Brazil: Sectorial Report, Vol “H” – Flood Control**. Tóquio: out. 1996.

MAGNA ENGENHARIA. **Estudos e Projetos do Sistema de Proteção contra Cheias das Cidades de União da Vitória e Porto União: Relatório dos Estudos Preliminares – Volume I**. Porto Alegre: MAGNA Engenharia, set. 1984.

MILDER-KAISER ENGENHARIA. **Cheias em União da Vitória: usina hidrelétrica de Foz do Areia, Rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. Curitiba: 1975. Memorando de projeto nº10.

MILDER-KAISER ENGENHARIA. (1976). **Influência do reservatório de Foz do Areia sobre as cheias de União da Vitória: projeto Foz do Areia, Rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. Curitiba: 1976. Suplemento ao Memorando de projeto nº10.

TUCCI, C. E. M., VILLANUEVA, A.O.N.. **Controle de enchentes das cidades de União da Vitória e Porto Vitória**. União da Vitória: CORPRERI, 1997. 117 p.

Curitiba, 27 de abril de 2005.

<b>LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento</b>	
<b>CEHPAR - Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza</b>	
Execução:	
<b>Giancarlo Castanharo</b> CREA 69.103/D-PR	
Gerente da Unidade de Tecnologia em Recursos Hídricos <b>Eloy Kaviski</b>	Coordenador do CEHPAR <b>Ralph C. Groszewicz</b>

## APÊNDICE “A”

DETALHAMENTO GEOMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
DA ESTRUTURA DAS PONTES EXISTENTES NO  
TRECHO DO RIO IGUAÇU ENTRE UNIÃO DA  
VITÓRIA E PORTO VITÓRIA

## APÊNDICE “B”

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ALTERNATIVAS  
ESTRUTURAIS PROPOSTAS PARA O RIO IGUAÇU  
NO TRECHO ENTRE UNIÃO DA VITÓRIA E PORTO  
VITÓRIA