

CAPÍTULO 7 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A ELEVAÇÃO DAS BARRAGENS DE CONTROLE DE CHEIA EXISTENTES E MODIFICAÇÃO DA OPERAÇÃO DAS BARRAGENS

7.1 Condições Atuais e Política Básica para a Elevação das Barragens

7.1.1 Necessidade da Elevação das Barragens

Existem três barragens para o controle de cheias na bacia do Rio Itajaí, chamadas de Barragem Norte, Barragem Oeste e Barragem Sul. A Barragem Norte tem volume suficiente para o controle de cheias. Por outro lado, como os volumes dos reservatórios das Barragens Oeste e Sul são relativamente pequenos, as cheias frequentemente transbordam pelo vertedouro e causam danos nas áreas à jusante.

O Plano Diretor propôs a elevação das Barragens Oeste e Sul e a modificação das suas operações. Propõe-se a elevação da Barragem Oeste e do vertedouro da Barragem Sul em 2 m. Como a Barragem Sul é do tipo enrocamento, é difícil elevar o corpo da barragem.

7.1.2 Barragens de Controle de Cheia Existentes

(1) Características Gerais

As Barragens Oeste e Sul foram ambas construídas para fins de controle de cheias. Estas barragens devem ser operadas na condição do reservatório vazio.

A Figura 7.1.1 mostra a localização das barragens. As características gerais destas barragens são mostradas na Tabela 7.1.1. A Barragem Oeste é do tipo de concreto por gravidade. A Barragem Sul é do tipo de enrocamento, portanto o vertedouro é independente do corpo da barragem.

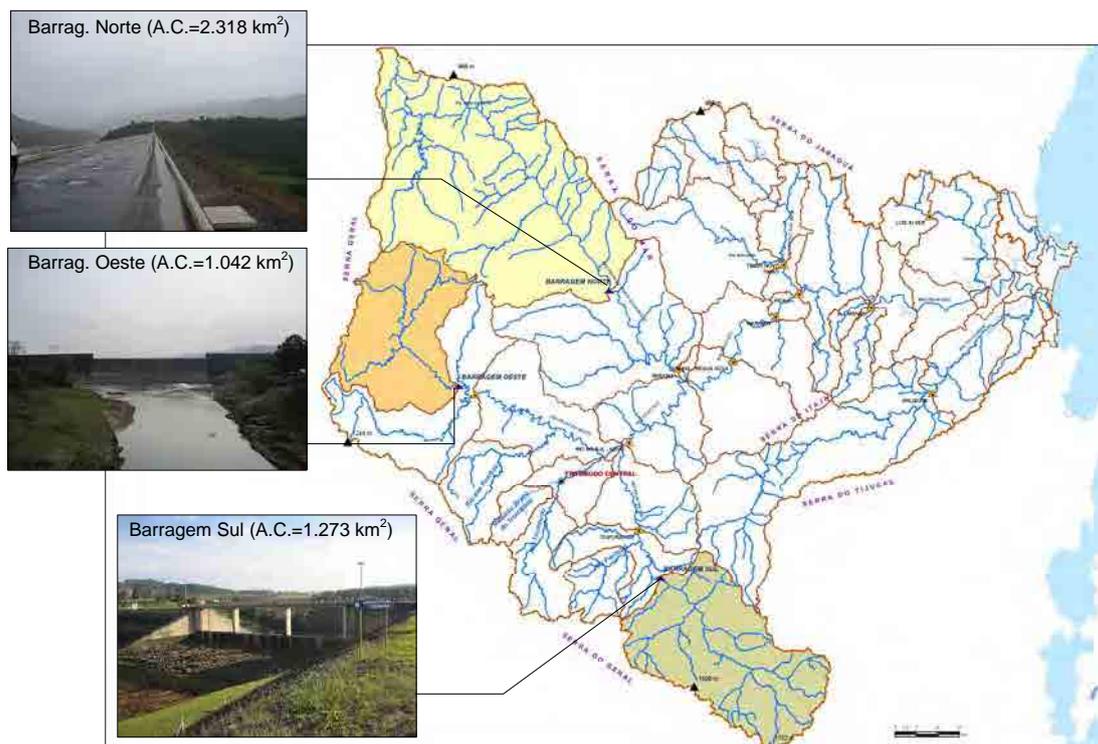
Tabela 7.1.1 - Características Gerais das Barragens Oeste e Sul

		Barragem Oeste	Barragem Sul
Reservatório	Área de Captação	1.042 km ²	1.273 km ²
	Área do Reservatório	950 ha	840 ha
	Capacidade total do reservatório	83.000.000 m ³	93.500.000 m ³
	Nível de água mínimo	EL. 340,0 m	EL. 372,9 m
	Nível de água máximo	EL.362,5 m	EL.408,0 m
Corpo da barragem	Ano de conclusão	1973	1976
	Tipo de barragem	Concreto por gravidade	Enrocamento
	Altura da barragem	25,0 m	43,5 m
	Comprimento da crista da barragem	422 m	390 m
	Altitude da crista da barragem	363,0 m	410,0 m
Conduitos	Número de conduitos	7	5
	Tipo de controle de cheia	Controle de comporta	Controle de comporta
	Diâmetro na comporta	1500 mm	1500 mm
	Altitude no centro do tubo	340,05 m	Aprox. 368 m
	Capacidade de vazão (altitude da crista do vertedouro)	163 m ³ /s (NA.360 m)	194 m ³ /s (NA.399 m)
Vertedouro	Largura	Aprox. 100m	65m
	Altitude da crista do vertedouro	360,0m	399,0m
	Capacidade de vazão (no nível de água máximo)	Vertedouro 175 m ³ /s Conduto 1.125 m ³ /s Total 1.300 m ³ /s	Vertedouro 217 m ³ /s Conduto 3.053 m ³ /s Total 3.270 m ³ /s

Fonte: Hachurado: Site do DEINFRA <http://www.deinfra.sc.gov.br/barragens/sobre-as-barragens/>

Capacidade de vazão: Ver Relatório de Apoio A, Tabela 7.4.6

Outros: Desenho não autorizado, ou audiência do Departamento do Estado de SC



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.1.1 Localização das barragens para o controle de cheias existentes na Bacia do Rio Itajaí

(2) Manual de Operação Existente

O manual de operação destas barragens foi preparado pelo DEINFRA/DENOH em abril de 2007, com o nome de “Manual de Procedimentos para a Operação das Barragens do Alto Vale do Itajaí”. As comportas são operadas com base no nível de água do rio nas cidades à jusante. Este manual de operação é apresentado resumido na Tabela 7.1.2.

Tabela 7.1.2 – Resumo do Manual de Operação da Barragem Oeste e da Barragem Sul

Barragem	Manual de Operação
Barragem Oeste	<p>Quando o nível de água do rio na cidade começa a atingir o nível de emergência mencionado abaixo, as comportas começam a ser fechadas. O número de comportas a ser inicialmente fechado depende da quantidade de chuva que continua a cair sobre a cidade, e a primeira barragem a ser operada depende da distribuição da água da chuva, isto é, a que tiver menor intensidade da chuva na sua área de drenagem.</p> <ul style="list-style-type: none"> - O nível de água do rio previsto em Blumenau está passando de 8,50m. - O nível de água do rio está alcançando 6,50 m em Rio do Sul – início do fechamento das comportas junto com a Barragem Sul. - Quando o nível de água do rio alcança 7,10 em Taió – a primeira comporta começa a ser fechada; quando o nível de água do rio atinge 7,50 m – as sete comportas devem ser fechadas. - Quando o nível de água do rio alcança 8,00 em Rio do Oeste – a primeira comporta começa a ser fechada; quando o nível de água do rio atinge 9,00 m – as sete comportas devem ser fechadas.
Barragem Sul	<p>Quando o nível de água do rio na cidade começa a atingir o nível de emergência mencionado abaixo, as comportas começam a ser fechadas. O número de comportas a ser inicialmente fechado depende da quantidade de chuva que continua a cair sobre a cidade, e a primeira barragem a ser operada depende da distribuição da água da chuva, isto é, a que tiver menor intensidade da chuva na sua área de drenagem.</p> <ul style="list-style-type: none"> - O nível de água do rio previsto em Blumenau está passando de 8,50m. - O nível de água do rio está alcançando 6,50 m em Rio do Sul – início do fechamento das comportas junto com a Barragem Sul. - Quando o nível de água do rio atinge 3,80 em Ituporanga, ou quando a água que transborda do vertedouro alcança Ituporanga com profundidade acima de 2,00 m.
Observações	<ul style="list-style-type: none"> - Quando as comportas são fechadas cada reservatório deve começar a ser monitorado cuidadosamente, para evitar que o armazenamento exceda a capacidade do reservatório e ele comece a transbordar. O operador deve registrar a elevação da água e a porcentagem de armazenamento na planilha, através da relação entre o nível de água e o armazenamento. - A operação das comportas é feita através do painel de comando. Em primeiro lugar, o painel de energia elétrica é ligado (localizado ao lado do painel de comando), a bomba hidráulica é ligada, e o botão “abrir” e/ou “fechar” de cada comporta é pressionado. O movimento de cada comporta termina automaticamente. A operação conjunta de várias comportas não é recomendável, devendo ser operadas em sequência.

Fonte: Manual de Procedimentos para Operação das Barragens do Alto Vale do Itajaí, DEINFRA/DEOH, 4-2007

7.1.3 Elevação das Barragens e Aumento do Volume

(1) Critérios Brasileiros sobre a Altura da Crista das Barragens

A Tabela 7.1.3 apresenta os critérios para a altura das barragens no Brasil.

Tabela 7.1.3 - Critérios para a Altura das Barragens no Brasil

Termos	Casos	Tipos	Critérios
Borda livre	Para Nível de Água Normal	Barragem de Aterro	A borda livre deve ser fixada numa altura maior que a altura da onda causada por vento. A altura da onda deve ser estimada através da Equação de Saville. Borda livre mínima de 3,0 m.
		Barragem de Concreto	Borda livre mínima de 1,5 m.
	Para Nível de Água Máximo	Barragem de Aterro	Borda livre mínima de 1,0 m.
		Barragem de Concreto	Borda livre mínima de 0,5 m.
Vazão de projeto do Vertedouro	Barragens em Geral	Vazão Máxima Provável de Cheia	Deve ser aplicada a barragens com altura superior a 30 m, e também a barragens com residentes em sua área à jusante, que possam sofrer com o colapso das barragens.
	Barragens Pequenas	Cheia Provável 1.000 anos	Deve ser aplicada a barragens com altura inferior a 30 m, ou a barragens com volume de reservatório inferior a $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ e sem residentes em sua área à jusante.

Fonte: Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas, Eletrobras, Outubro/2003

(2) Possibilidade de Elevação das Barragens

1) Barragem Oeste

A altura da Barragem Oeste é inferior a 30 m, e a cheia de 1.000 anos seria aplicada como a vazão de projeto do vertedouro.

A vazão de 1.000 anos da média diária na cidade de Taió (1.570 km^2) foi estimada como sendo $1.143 \text{ m}^3/\text{s}$, como mostrado na Figura 7.1.2. Portanto, o pico instantâneo da vazão de 1.000 anos na Barragem Oeste foi estimado em $1.010 \text{ m}^3/\text{s}$ a partir da razão da área de captação entre Taió e a Barragem Oeste e através da Equação de Fuller, como se segue.

- Vazão de 1.000 anos média diária na cidade de Taió. $1.570 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 7.1.2)

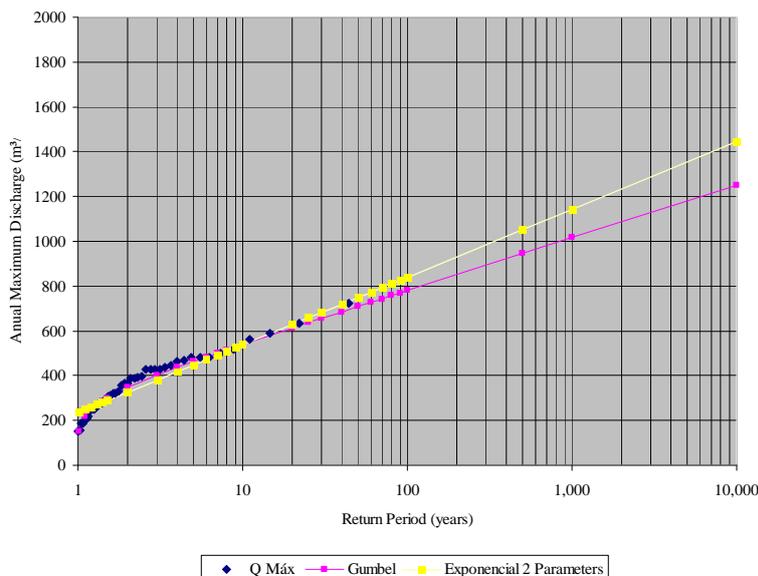
- Vazão de 1.000 anos média diária na Barragem Oeste $1.143 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.042/1.570 \text{ km}^2 = 759 \text{ m}^3/\text{s}$

- Pico instantâneo da vazão de 1.000 anos na Barragem Oeste

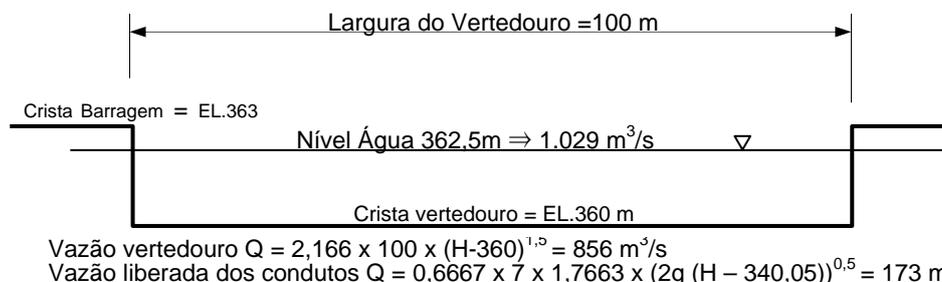
$$759 \times (1 + 2,66/1.042^{0,3}) = 1.010 \text{ m}^3/\text{s}$$

As atuais elevações das cristas da barragem e do topo do vertedouro são 363 m e 360 m, respectivamente. O nível de água máximo na cheia de 1.000 anos é EL. 362,5 m. Portanto, o bordo livre tem 0,5 m, como ilustrado na Figura 7.1.3. Isto satisfaz o bordo mínimo exigido na Tabela 7.1.3. Portanto, ambas as cristas da barragem e do vertedouro podem ser elevadas em 2 m.

A altura máxima possível de alteamento da Barragem Oeste é considerada como sendo 2,0 m, do ponto de vista da condição topográfica nos pontos de contato da barragem. Portanto, a Barragem Oeste deve ser planejada para ser elevada em 2,0 m em ambas as cristas da barragem e do vertedouro.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.1.2 – Análise da Frequência da Vazão Média Diária na Cidade de Taió

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.1.3 – Nível de Água Máximo na cheia de 1.000 anos na Barragem Oeste

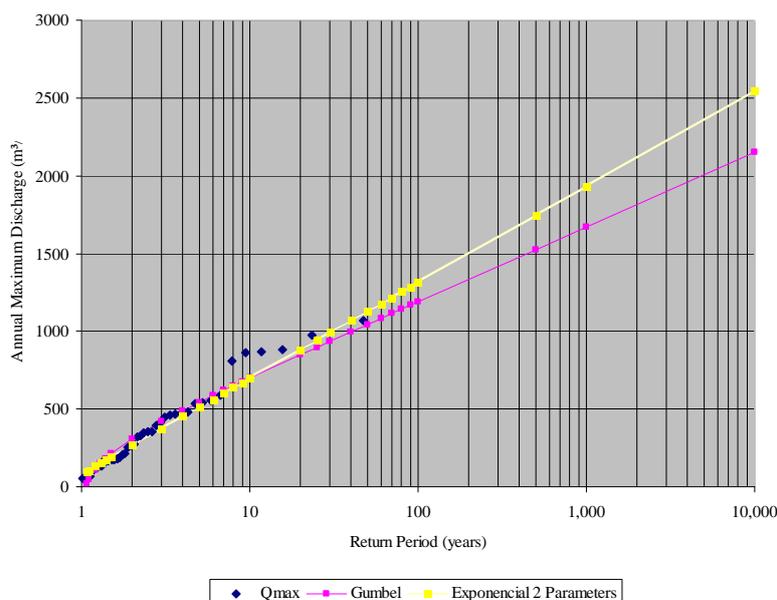
2) Barragem Sul

Como a Barragem Sul é de enrocamento, com altura superior a 30 m, a borda livre necessária é de 1,0 m, como mostrado na Tabela 7.1.3. A vazão de projeto do vertedouro deveria ser a “Cheia Máxima Provável” segundo especificado na Tabela 7.1.3, mas, desde que os vertedores das grandes barragens brasileiras para geração de energia elétrica (Itaipu no Rio Paraná, Itá e Machadinho no Rio Uruguai, Salto Santiago, Salto Osório e Segredo, no Rio Iguaçu, e muitos outros vertedores de médias e grandes barragens em todo o Brasil), são dimensionados para a cheia de 10.000 anos de tempo de recorrência, esta descarga foi utilizada no presente estudo. Considerou-se também, durante a fase de desenvolvimento dos estudos, a dificuldade de se obter os dados meteorológicos necessários para o cálculo da PMP (Precipitação Máxima Provável), a qual é necessária para a obtenção da QMP (Descarga Máxima Provável).

A vazão média diária da cheia de 10.000 anos de recorrência na cidade de Ituporanga (1.645 km²) é de 2.530 m³/s como mostrado na Figura 7.1.4. Portanto, a vazão de pico instantânea da cheia de 10.000 anos na Barragem Sul deve ser estimada em 2.567 m³/s a partir da razão das áreas de captação entre Ituporanga e a Barragem Sul, e pela Equação de Fuller, como se segue.

- Vazão de 10.000 anos média diária na cidade de Ituporanga. 2.530 m³/s (ver Figura 7.1.4)
- Vazão de 10.000 anos média diária na Barragem Sul $2.530 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.273/1.645 \text{ km}^2 = 1.958 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pico instantâneo da vazão de 10.000 anos na Barragem Sul

$$1.958 \times (1 + 2,66/1.273^{0,3}) = 2.567 \text{ m}^3/\text{s}$$

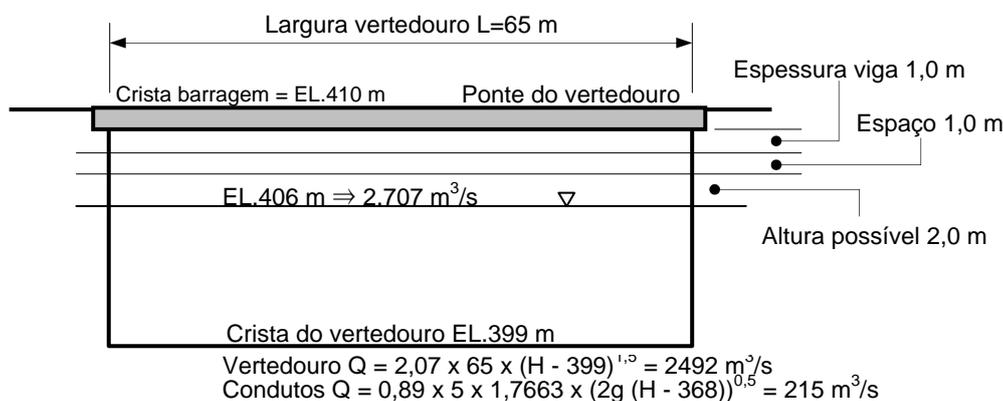


Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.1.4 – Análise da Frequência da Vazão Média Diária na Cidade de Itaporanga

A vazão total do vertedouro e condutos existentes na Barragem Sul é estimada em 2.706 m³/s ao nível de água EL.406 m. Ela é maior que a vazão para a cheia de 10.000 anos. Portanto, a crista da barragem (EL.410 m) tem um bordo livre suficiente de 4,0 m a partir do nível máximo de água para a cheia de 10.000 anos.

O vertedouro poderia ser elevado utilizando-se o excedente da borda livre. A altura possível do vertedouro seria de 2,0 m, considerando a borda livre e o espaço entre a superfície da água e a viga da ponte.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.1.5 - Nível de Água Máximo na cheia de 10.000 anos na Barragem Sul

(3) Aumento da Capacidade do Reservatório pela Elevação das Barragens

A Relação entre a elevação das barragens e o aumento esperado da capacidade do reservatório é resumida na Tabela 7.1.4. As capacidades esperadas dos reservatórios a serem aumentadas são de 16,2 x 10⁶ m³ para a Barragem Oeste e 16,6 x 10⁶ m³ para a Barragem Sul.

Tabela 7.1.4 – Relação entre Elevação das Barragens e Aumento da Capacidade do Reservatório

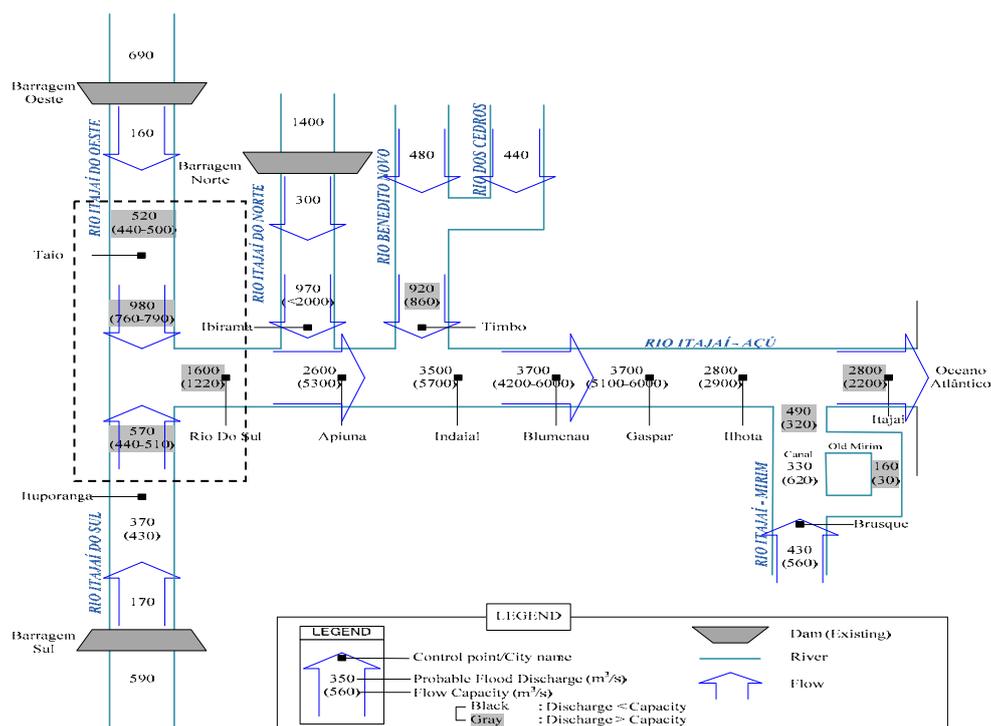
Barragem Oeste				Barragem Sul			
Altitude da crista do vertedouro	Alteamento da Barragem	Capacidade Total do Reservatório	Aumento da Capacidade	Altitude da crista do vertedouro	Alteamento da Barragem	Capacidade Total do Reservatório	Aumento da Capacidade
EL.m	m	x 10 ³ m ³	x 10 ³ m ³	EL.m	m	x 10 ³ m ³	x 10 ³ m ³
360,0		83.100		399,0		93.600	
360,5	0,5	87.000	3.900	399,5	0,5	97.600	4.000
361,0	1,0	91.000	7.900	400,0	1,0	101.700	8.100
361,5	1,5	95.100	12.000	400,5	1,5	105.900	12.300
362,0	2,0	99.300	16.200	401,0	2,0	110.200	16.600

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

7.1.4 Plano de Controle de Cheias e Hidrogramas

(1) Plano de Controle de Cheias

As atuais capacidades de vazão e as vazões de projeto da cheia de 10 anos nas principais cidades ao longo do Rio Itajaí são mostradas na Figura 7.1.6. As capacidades de vazão em Rio do Sul e Taió são inferiores às vazões de projeto para a cheia de 10 anos. Especialmente na cidade de Rio do Sul, todos os três rios (Itajaí do Oeste, Itajaí do Sul e Itajaí) não possuem capacidade de vazão suficiente. A elevação das barragens e a modificação de suas operações têm o objetivo de amortecer as vazões de projeto da cheia de 10 anos nos reservatórios, de modo que as vazões defluentes sejam reduzidas para as capacidades de vazão das calhas dos rios, evitando transbordamentos e, conseqüentemente, inundações.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

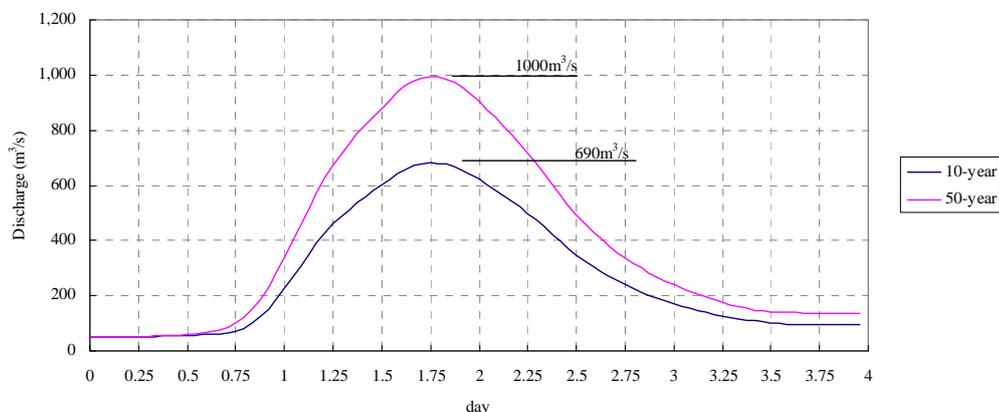
Figura 7.1.6 – Distribuição da Vazão de Projeto da Cheia de 10 anos com as Condições Atuais e Capacidade de Vazão nas Principais Cidades

Deve-se notar que a elevação das barragens seria planejada com a altura máxima possível considerando devidamente a topografia e os critérios adotados no Brasil. Isto significa que a altura da barragem não é determinada a partir da capacidade de controle da cheia.

A falta da função de controle de cheia deve ser complementada por outras medidas, tais como armazenamento de água nos arrozais e armazenamento na bacia (pequenas barragens).

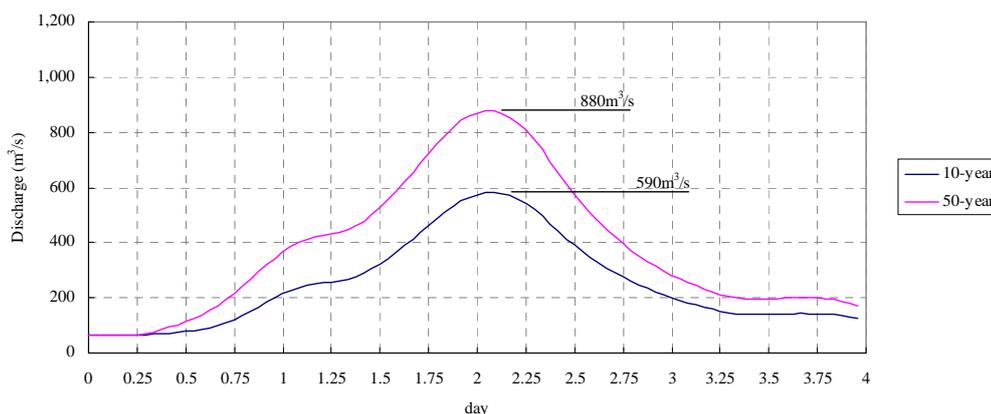
(2) Hidrogramas de Cheia nas duas Barragens

As Figuras 7.1.7 e 7.1.8 mostram os tipos de hidrogramas de entrada das cheias de 10 anos e de 50 anos nas Barragens Oeste e Sul, que foram estimados através da análise de escoamento utilizando os dados de chuvas e vazões da cheia de 1984.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.1.7 – Hidrograma de Cheia na Barragem Oeste



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.1.8 – Hidrograma de Cheia na Barragem Sul

7.2 Projeto de Viabilidade para as Barragens

As formas de alteamento da Barragem Oeste e do vertedouro da Barragem Sul e a necessidade de reforço da estrutura metálica das comportas são estudadas no Relatório de Apoio Anexo F.

As formas das barragens e as condições da rocha de fundação foram investigadas através de levantamentos geométricos e de perfuração. As formas da elevação das barragens foram projetadas para satisfazer as condições de estabilidade dos critérios adotados no Brasil, com base em informações dos levantamentos mencionados anteriormente.

A estrutura metálica das comportas dos condutos também foi investigada através de levantamentos de campo, e confirmou-se que não precisaria ser reforçada.

7.3 Modificação da Operação

7.3.1 Método de Operação para Controle de Cheias

(1) Ponto de Referência para a Operação das Barragens

1) Barragem Oeste

Como mencionado na Seção 7.1, propõe-se que a Barragem Oeste seja elevada em 2 m.

A Barragem Oeste pode ser eficaz no controle de cheias em Taió e Rio do Sul ao longo do Rio Itajaí do Oeste. As medidas de mitigação das cheias ao longo do Rio Itajaí do Oeste propostas no Plano Diretor são mostradas na Tabela 7.3.1.

O atual nível de segurança da cidade de Taió é inferior ao da cheia de 10 anos. A elevação da barragem Oeste e a modificação de sua operação podem combater a cheia de 10 anos na cidade de Taió. O armazenamento na bacia (pequenas barragens) e as melhorias hidráulicas também são necessários contra cheias superiores à cheia de 25 anos.

Por outro lado, o nível de segurança em Rio do Sul ao longo do Rio Itajaí do Oeste é inferior ao da cheia de 5 anos. Como a elevação da Barragem Oeste não pode atingir o nível de segurança de 5 anos na cidade de Rio do Sul, o armazenamento na bacia (pequenas barragens) no Rio Trombudo será inevitavelmente necessário. A elevação da Barragem Oeste, o armazenamento na bacia (pequenas barragens) e as melhorias hidráulicas podem combater as cheias de 25 e 50 anos.

Considerando o anteriormente mencionado, a cidade de Taió poderia ser selecionada como ponto de referência para a modificação do manual de operação da Barragem Oeste.

Tabela 7.3.1 – Medidas de Mitigação das Cheias nas Cidades de Taió e Rio do Sul

Cidade	Nível de segurança do controle de cheias	Elevação das barragens, Modificação da operação	Armazenamento na bacia (pequenas barragens)	Melhoria hidráulica (Dique)
Taió	Cheia de 5 anos	-	-	-
	Cheia de 10 anos	o	-	-
	Cheia de 25 anos	o	-	o
	Cheia de 50 anos	o	-	o
Rio do Sul (ao longo do Rio Itajaí do Oeste)	Cheia de 5 anos	-	o	-
	Cheia de 10 anos	o	o	-
	Cheia de 25 anos	o	o	-
	Cheia de 50 anos	o	o	o

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

2) Barragem Sul

Como mencionado na Seção 7.1, propõe-se que o vertedouro da Barragem Sul seja elevado em 2 m.

A Barragem Sul pode ser eficaz para as cidades de Ituporanga e Rio do Sul ao longo do Rio Itajaí do Sul. As medidas de mitigação das cheias ao longo do Rio Itajaí do Sul propostas no Plano Diretor são mostradas na Tabela 7.3.2.

O atual nível de segurança em Rio do Sul ao longo do Rio Itajaí do Sul é inferior ao da cheia de 10 anos. A elevação da Barragem Sul e a modificação de sua operação podem combater apenas a cheia de 10 anos. E o armazenamento na bacia (pequenas barragens) e as melhorias hidráulicas também são necessários contra cheias superiores às cheias de 25 anos e de 50 anos.

Por outro lado, a cidade de Ituporanga tem um nível de segurança para a cheia de 25 anos, e o nível de segurança para a cheia de 50 anos deve ser alcançado com a elevação do vertedouro da Barragem Sul e com a modificação de sua operação.

Considerando o exposto acima, a cidade de Rio do Sul ao longo do Rio Itajaí do Sul deve ser selecionada como ponto de referência para a modificação do manual de operação da Barragem Sul.

Tabela 7.3.2 – Medidas de Mitigação das Cheias nas Cidades de Ituporanga e Rio do Sul

Cidade	Nível de segurança do controle de cheias	Elevação das barragens, Modificação da operação	Armazenamento na bacia (pequenas barragens)	Melhoria hidráulica (Dique)
Ituporanga	Cheia de 5 anos	-	-	-
	Cheia de 10 anos	-	-	-
	Cheia de 25 anos	-	-	-
	Cheia de 50 anos	o	-	-
Rio do Sul (ao longo do Rio Itajaí do Sul)	Cheia de 5 anos	-	-	-
	Cheia de 10 anos	o	-	-
	Cheia de 25 anos	o	o	-
	Cheia de 50 anos	o	o	o

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

(2) Nível Meta de Proteção contra Cheias

As barragens são geralmente construídas e também operadas para o nível de proteção meta do Plano Diretor (isto é, nível de proteção contra cheia de 50 anos). Mas se a segurança do rio à jusante não atinge o nível de proteção meta, as barragens devem ser operadas considerando o nível de segurança das cidades à jusante.

No Plano Diretor, a elevação das barragens é planejada para a cheia de 50 anos. Mas a segurança do rio à jusante deve ser provisoriamente alcançada para a cheia de 10 anos através dos projetos da primeira fase. Portanto, o manual de operação deve ser preparado provisoriamente para a cheia de 10 anos.

As cheias transbordam das barragens Oeste e Sul uma vez a cada vários anos (uma vez a cada 5 anos em média segundo entrevistas feitas com os operadores das barragens). Portanto, mesmo que os manuais de operação sejam preparados para a cheia de 10 anos, a probabilidade de transbordamento não deve aumentar em relação a situação atual.

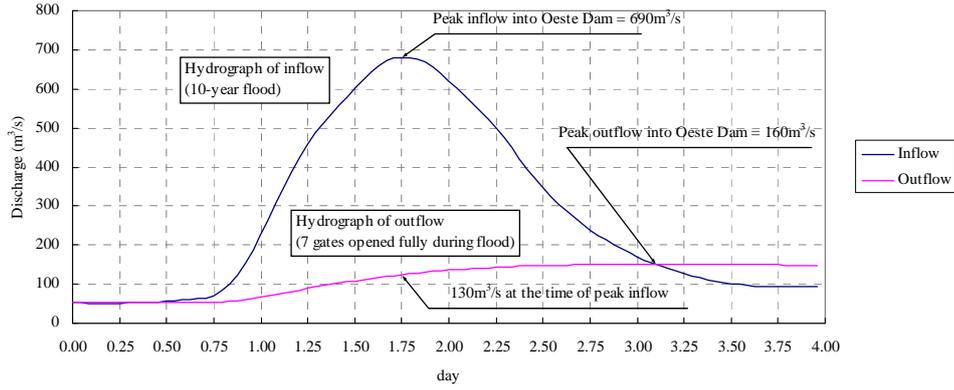
(3) Método de Controle de Cheias

1) Barragem Oeste

Como mostrado na Figura 7.3.1, a cheia de 10 anos na Barragem Oeste é estimada em 690 m³/s a partir da análise de escoamento utilizando os dados de chuvas e vazões da cheia de 1984. Se todas as comportas forem totalmente abertas durante a cheia, a vazão de saída máxima das comportas é estimada em 160 m³/s, e a vazão de saída no momento da vazão de entrada máxima de cheia é estimada em 130 m³/s.

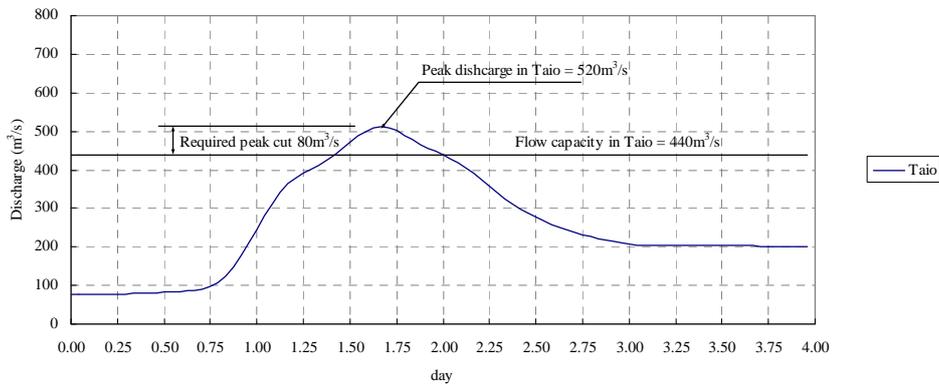
Como mostrado na Figura 7.3.2, se todas as comportas forem totalmente abertas durante a cheia como mencionado acima, a vazão máxima da cheia na cidade de Taió é estimada em 520 m³/s. Esta vazão excede a atual capacidade de vazão de 440 m³/s na cidade de Taió.

Portanto, a operação das comportas deve ser realizada de modo a não exceder a atual capacidade de vazão de 440 m³/s.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

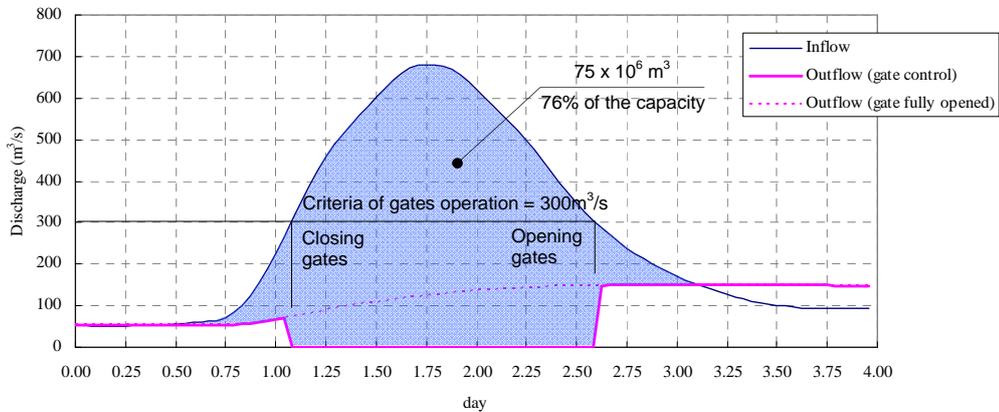
Figura 7.3.1 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do fluxo da cheia de 10 anos na Barragem Oeste



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.3.2 – Hidrograma da cheia de 10 anos na Cidade de Taio

Embora o corte de pico necessário para a cheia de 10 anos na Barragem Oeste seja estimado em $80\text{m}^3/\text{s}$, é desejável o fechamento integral das comportas durante a cheia o maior tempo possível, esperando-se um efeito na cidade de Rio do Sul e a simplificação da operação. Os critérios para a abertura e fechamento das comportas serão definidos para uma vazão de entrada da cheia no reservatório fixada em $300\text{m}^3/\text{s}$, considerando mais de 20% da capacidade de armazenamento como capacidade de reserva, tendo em vista a incerteza da variedade da distribuição da chuva e a ocorrência de cheias extraordinárias.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

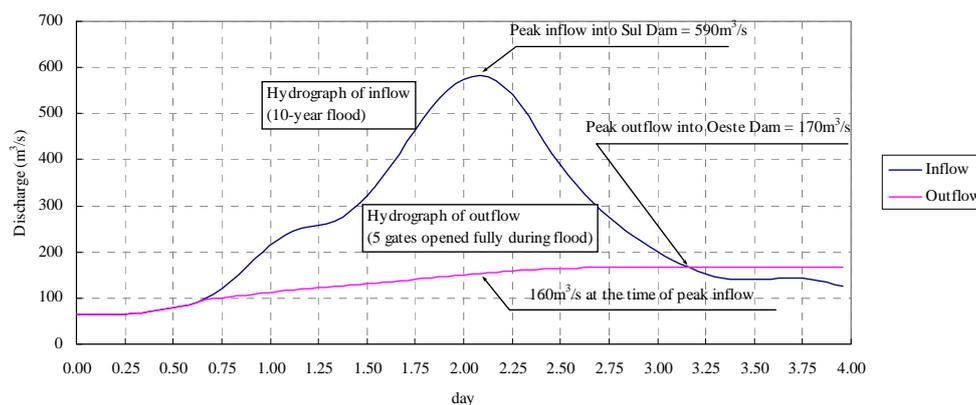
Figura 7.3.3 – Método de Controle de Cheias na Barragem Oeste

2) Barragem Sul

Como mostrado na Figura 7.3.4, a cheia de 10 anos na Barragem Sul é estimada em $590 \text{ m}^3/\text{s}$. Se todas as comportas forem totalmente abertas durante a cheia, a vazão de saída máxima das comportas é estimada em $170 \text{ m}^3/\text{s}$, e a vazão de saída no momento da vazão de entrada máxima de cheia é estimada em $160 \text{ m}^3/\text{s}$.

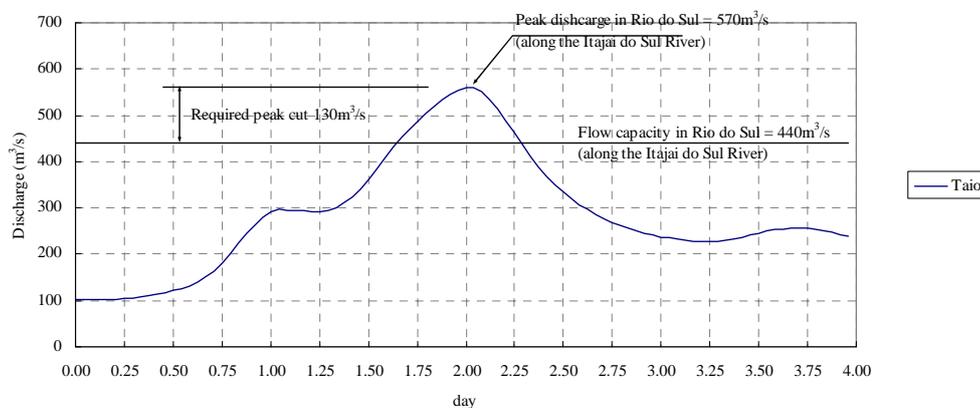
Como mostrado na Figura 7.3.2, se todas as comportas forem totalmente abertas durante a cheia como mencionado acima, a vazão máxima da cheia na cidade de Rio do Sul é estimada em $570 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta vazão excede a atual capacidade de vazão de $440 \text{ m}^3/\text{s}$ na cidade de Rio do Sul.

Portanto, a operação das comportas deve ser realizada de modo a não exceder a atual capacidade de vazão de $440 \text{ m}^3/\text{s}$.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

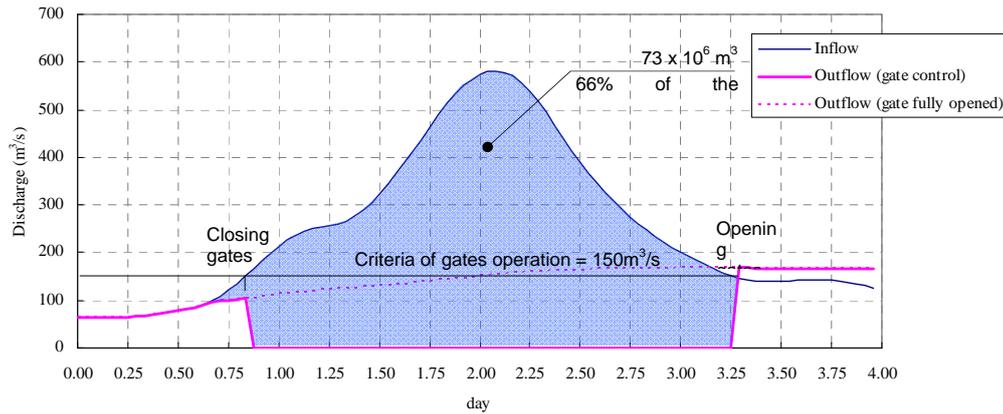
Figura 7.3.4 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do fluxo da cheia de 10 anos na Barragem Sul



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.3.5 - Hidrograma para Cheia de 10 anos na Cidade de Rio do Sul no Rio Itajaí do Sul

Embora o corte de pico necessário para a cheia de 10 anos na Barragem Sul seja estimado em $130 \text{ m}^3/\text{s}$, as comportas devem ser fechadas integralmente durante a cheia o maior tempo possível, como na Barragem Oeste. Os critérios de abertura e fechamento das comportas serão definidos tendo como vazão de entrada da cheia no reservatório o valor de $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Como o volume de armazenamento para a cheia de 10 anos deve ser $73 \times 10^6 \text{ m}^3$, a capacidade de reserva deve equivaler a 34% da capacidade de armazenamento tendo em vista a incerteza da variedade da distribuição da chuva e a ocorrência de cheias extraordinárias.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.3.6 – Método de Controle de Cheias na Barragem Sul**(4) Método de Operação das Comportas**

Como mencionado na sub-seção anterior, a operação das comportas nas Barragens Oeste e Sul deve começar quando a vazão da entrada da cheia exceder 300 m³/s na Barragem Oeste e 150 m³/s na Barragem Sul, respectivamente. O método de operação das comportas será simples, mas o operador das comportas deverá conhecer a vazão de entrada. A vazão de entrada será estimada através da seguinte equação.

$$Q_{in} = \frac{\Delta V}{\Delta t} + \bar{Q}_{out}$$

onde, Q_{in} : vazão de entrada na barragem (m³/s)

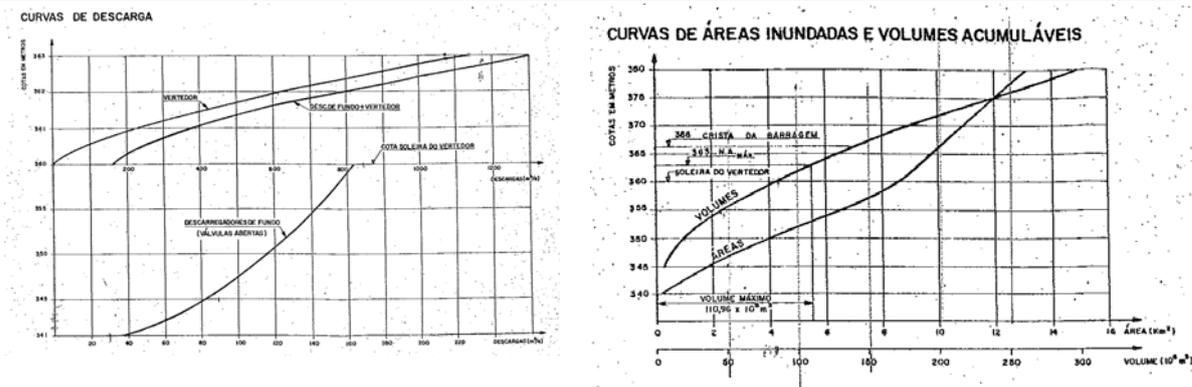
ΔV : aumento do volume do armazenamento no reservatório durante Δt (m³)

\bar{Q}_{out} : vazão média de saída durante Δt (m³/s)

Portanto, o operador das comportas deve obter dados precisos sobre o nível de água no reservatório e sobre a vazão de saída através dos condutos a cada 30 minutos ou 1 hora para operar as comportas adequadamente. Com relação a isto, os operadores de comportas também devem preparar uma curva de classificação mostrando o relacionamento entre o nível de água do reservatório e o volume de armazenamento, e uma curva de classificação entre o nível de água no reservatório, a abertura das comportas e a taxa de saída do fluxo.

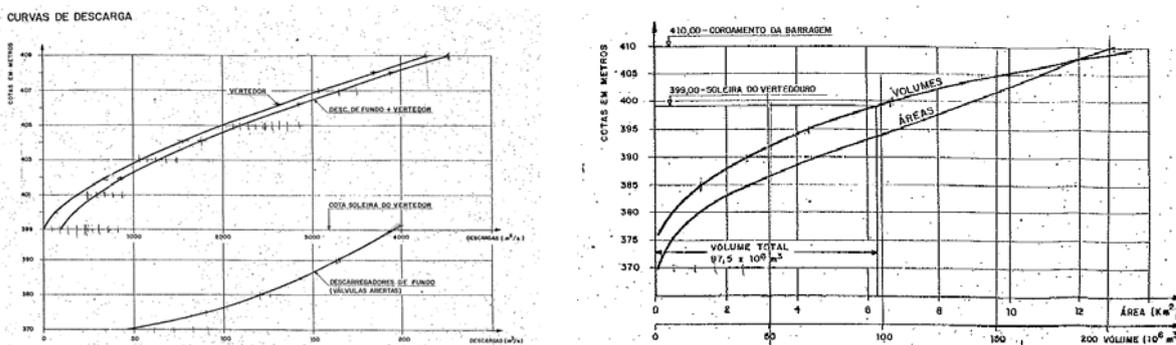
As Figuras 7.3.7 e 7.3.8 mostram essas curvas de classificação das Barragens Oeste e Sul. Mas esses desenhos não consideraram a abertura das comportas, e podem ser bastante velhos e sujeitos à confirmação pelos desenhos finais (as-built) do fabricante ou dos documentos de conclusão. Portanto, estas curvas de classificação devem ser revisadas no projeto de elevação das barragens.

As Figuras 7.3.7 e 7.3.8 também mostram a relação entre os níveis de água e os volumes acumulados nos reservatórios. Mas esta relação não foi atualizada para refletir a influência da sedimentação nos reservatórios, embora esta relação seja também importante para conhecer a vazão de entrada nos reservatórios. O órgão responsável pela administração das barragens (DEINFRA) deve confirmar esta relação regularmente através de levantamento topográfico periódico dos reservatórios.



Fonte: Desenhos (Obras Existentes de Controle de Cheias, Barragem Oeste), CAEEB MME/DNAEE

Figura 7.3.7 – Curvas de Classificação relacionando o Nível de Água e o volume de Armazenamento, Vazão de Saída da Barragem Oeste



Fonte: Desenhos (Obras Existentes de Controle de Cheias, Barragem Sul), CAEEB MME/DNAEE

Figura 7.3.8 – Curvas de Classificação relacionando o Nível de Água e o volume de Armazenamento, Vazão de Saída da Barragem Sul

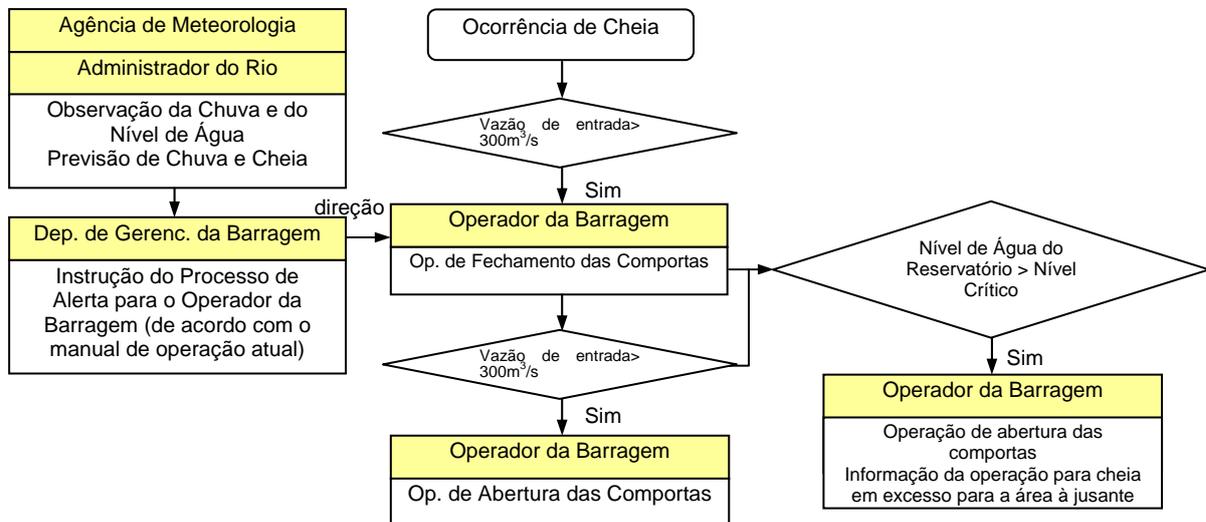
O DEINFRA deveria ser considerado o responsável pelos projetos de sobre-elevação das barragens de controle de cheia existentes e pela sua administração depois da implementação do projeto. Na atual operação destas barragens, uma pessoa responsável pela operação da barragem vive do lado do corpo da barragem e trabalha na gestão ordinária da barragem e na operação das comportas para controle de cheias. No momento da cheia, um gerente do DEINFRA responsável pela administração das barragens vem de Florianópolis para dar apoio e instruir o operador para a operação das comportas de controle de cheia. Quando a cheia chega, o operador tem que verificar as régua no reservatório para saber o nível de água no reservatório. Portanto, é adequado que o operador e o gerente verifiquem o nível de água do reservatório, a vazão de saída, a situação do rio à jusante no intervalo de uma hora para calcular o volume acumulado no reservatório, a vazão de entrada e para operar as comportas.

7.3.2 Operação contra Cheias Extraordinárias

Se cheias extraordinárias que excedam a cheia de projeto (doravante denominada “cheia em excesso”) atingirem a barragem durante a operação do controle de cheias, o operador deve parar a operação normal do controle de cheias. A cheia em excesso pode causar o transbordamento do vertedouro e o rápido aumento no nível de água no rio à jusante. O operador deve se esforçar para mitigar a taxa de subida do nível de água e reduzir os danos na área à jusante, como resumido a seguir.

- i) Todas as comportas devem ser abertas devagar e em ordem, quando o nível de água do reservatório alcançar o nível crítico. Geralmente adota-se como nível crítico o nível de água considerando 80% da capacidade do reservatório. Esta operação pode, embora levemente, mitigar a taxa de subida do nível de água na área à jusante, quando a água armazenada transbordar do vertedouro.

ii) O operador deve informar a operação de abertura das comportas e a possibilidade de transbordamento antecipadamente através das sirenes de alerta para as pessoas que vivem ao longo do rio à jusante, de Taió a Rio do Sul (as sirenes de alerta são mencionadas no Relatório de Apoio D).



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 7.3.9 – Fluxograma da Operação das Comportas (no caso da Barragem Oeste)

7.4 Aumento da Capacidade de Descarga da Vazão Defluente das Barragens Sul e Oeste

Em Setembro de 2011, após as atividades do Estudo de Viabilidade (Fevereiro a Julho de 2011), ocorreu enchente de grande porte. Em setembro de 2011, na fase da apresentação do Relatório Final Preliminar, foi efetuado o levantamento da condição de descarga da vazão defluente das barragens Sul e Oeste e proposta a construção adicional dos condutos, conforme a explanação abaixo, como medidas de solução dos problemas existentes.

De acordo com a informação da Secretaria de Estado da Defesa Civil, na enchente ocorrida em 09/2011, a chuva acumulada que caiu em toda a Bacia do Rio Itajaí foi de 200 mm em 4 dias. No presente estudo foram estabelecidos os tempos de recorrências baseados nas chuvas de 4 dias como sendo 188 mm para enchente provável de 25 anos e 209 mm para enchente provável de 50 anos. Portanto, podemos estimar que a chuva que caiu em 09/2011 equivale à enchente provável de 30 a 40 anos. Os níveis da água do Rio Itajaí-açu em Blumenau nas enchentes de 1983 e 1984 (enchente provável em torno de 70 anos) foram 15,8 m e 15,5 m respectivamente (medição dos níveis na estação hidrológica), na enchente de 1992 (enchente provável em torno de 30 anos) foi 10,6 m e na enchente de 2001 (enchente provável de 7 anos) foi 11,0 m e na enchente de 2011 foi 12,8 m, portanto, a avaliação acima é plausível.

Na estação pluviométrica da Barragem Sul foi registrado 220 mm acumulado em 4 dias, entre os dias 6 a 9 de setembro, porém, há registro de 300 mm na montante da barragem nesse período, de acordo com a informação do DEINFRA, portanto, podemos imaginar que choveu muito intensamente na bacia do Rio Itajaí a montante da barragem. Houve transbordamento na Barragem Sul e Barragem Oeste.



Situação de transbordamento da barragem Oeste



Fonte: DEINFRA

Situação de inundação em Taió



Área afetada em Rio do Sul



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Area afetada em Rio do Sul



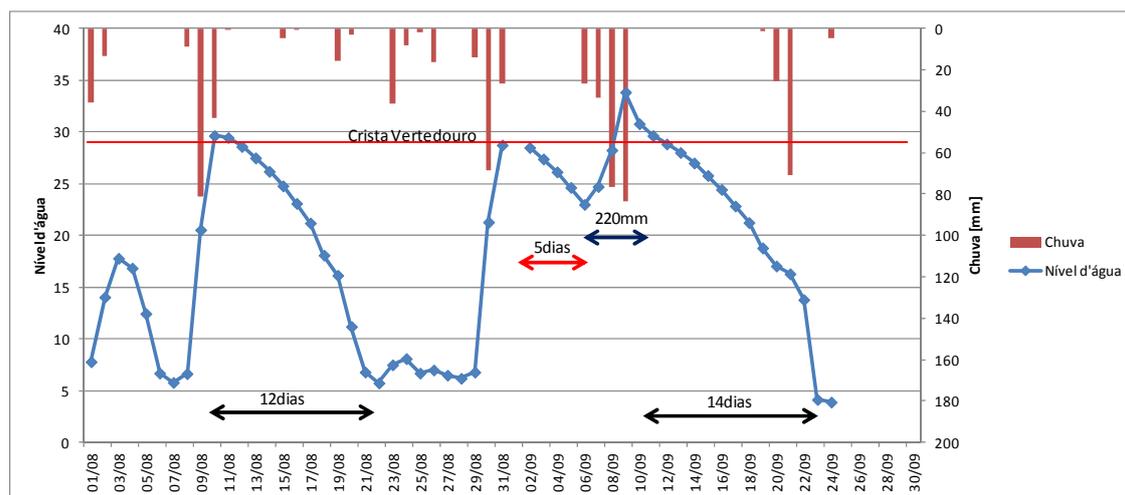
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Marca das enchentes em Rio do Sul (em frente à Prefeitura)

Abaixo, a ilustração dos dados diários de chuvas e níveis da água dos meses de agosto e setembro, obtidos no escritório da barragem Sul.

- Volume de chuva concentrada nos dias 10 e 30 de agosto e entre os dias 06 a 09 de setembro;
- Houve necessidade de 12 dias na enchente de 10/08 e 14 dias na enchente de 06/09 para reduzir o nível da água do reservatório;
- Atingiu o pico de enchente em 06/09 após 5 dias da última enchente ocorrida em 30/08 quando o nível do reservatório ainda estava com o nível da água bem alto;
- O nível máximo atingido acima da crista do vertedouro da Barragem Sul foi 5,08 m, estima-se que o volume da vazão defluente foi $1600\text{m}^3/\text{s}$, considerando a descarga do vertedouro e dos 5 condutos forçados.

O transbordamento foi inevitável em função de 2 picos de enchentes quase que sucessivos (intervalo de 5 dias), no entanto, as capacidades de descarga da vazão defluente das barragens Sul e Oeste que são $190\text{m}^3/\text{s}$ e $160\text{m}^3/\text{s}$ respectivamente (nível máximo de reservatório) são baixas em relação à área de captação ($1,042\text{km}^2$ e $1,273\text{km}^2$ respectivamente).



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura 7.4.1 Chuva e Nível da Água da Barragem Sul de Agosto e Setembro de 2011

A casa de máquinas e a galeria de acesso que fica sobre o conduto de descarga foram danificadas na última enchente ocorrida, impossibilitando o acesso às comportas. No entanto, o restabelecimento do funcionamento das comportas foi realizado imediatamente, possibilitando a operação e o acesso às comportas, porém, a destruição da galeria de acesso e do conduto de descarga é um problema sério que compromete a segurança de toda a barragem.

De acordo com a informação do Administrador da barragem Sul, o motivo da destruição do conduto de descarga poderá ser conforme abaixo:

- As ondas causadas pela turbulência das águas de transbordamento do vertedouro destruíram a parede inferior da casa de máquinas, avançaram para dentro da casa das máquinas e destruíram a porta que fica a montante e colidindo por último com o corpo da barragem.
- O piso de concreto da galeria de acesso que se localiza sobre o conduto de descarga foi destruído em função da pressão da água exercida de baixo para cima durante a descarga da vazão de enchente.





Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Situação após a destruição da casa de máquina e do conduto de descarga que se localiza na parte subterrânea da barragem Sul

Na 4ª reunião com a contraparte brasileira, com a concordância do representante do DEINFRA, foi decidida a construção de novo conduto de descarga da vazão defluente que irão proporcionar a melhoria do controle da enchente e a segurança do corpo da barragem.

O conduto adicional de descarga da barragem Sul será construído, passando um túnel subterrâneo no morro à margem direita por fora do vertedouro. O conduto adicional de descarga da barragem Oeste será construído na margem esquerda do reservatório, no corpo da barragem durante a sobre-elevação do vertedouro. Foi proposta a construção dos condutos levando em consideração que o aumento da capacidade com os condutos adicionais **a) irá dobrar a velocidade atual para redução do nível de reservatório, b) servirão de instalações alternativas dos condutos existentes.**

- i) **Barragem Oeste:** instalar o conduto de descarga com a comporta de regulação da enchente na ombreira direita do corpo da barragem no ato da sobre-elevação da barragem e efetuar a descarga através do canal aberto, direcionando-o para o bloco dissipador de energia.
 - Vazão de projeto: $180\text{m}^3/\text{s}$
 - Comporta de regulação: largura = $5,0\text{ m} \times$ altura = $4,4\text{ m}$
 - Elevação da soleira da comporta: EL 350,4 m
 - Canal adutor de jusante: largura = $5,0\text{ m} \times$ comprimento = 180 m
- ii) **Barragem Sul:** Instalar o conduto de descarga em forma de túnel subterrâneo na margem direita. A regulação da vazão de enchente será efetuada na tomada da água do conduto e a descarga será realizada através do aqueduto subterrâneo a jusante da barragem (conduto não forçado).
 - Vazão de projeto: $200\text{m}^3/\text{s}$
 - Comporta de regulação: largura = $3,9\text{ m} \times$ altura = $3,9\text{ m}$
 - Elevação da soleira da comporta: EL.380 m
 - Aqueduto subterrâneo: comprimento = 430 m , túnel seção ferradura 2R (D = 6.0m), declividade do canal 1/60.

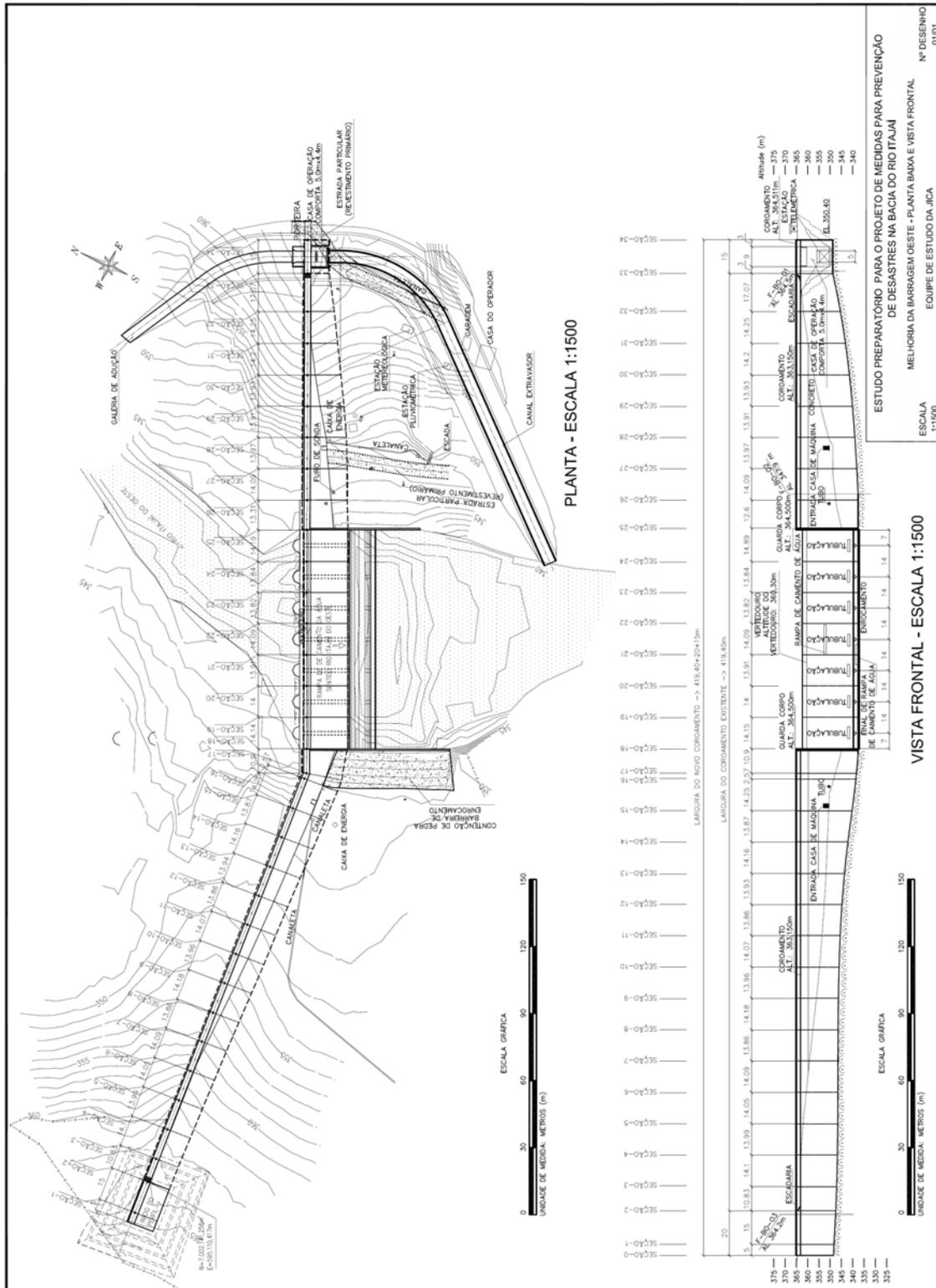


Figura 7.4.2 Desenho técnico da barragem Oeste após a sobre-elevação (1/2)

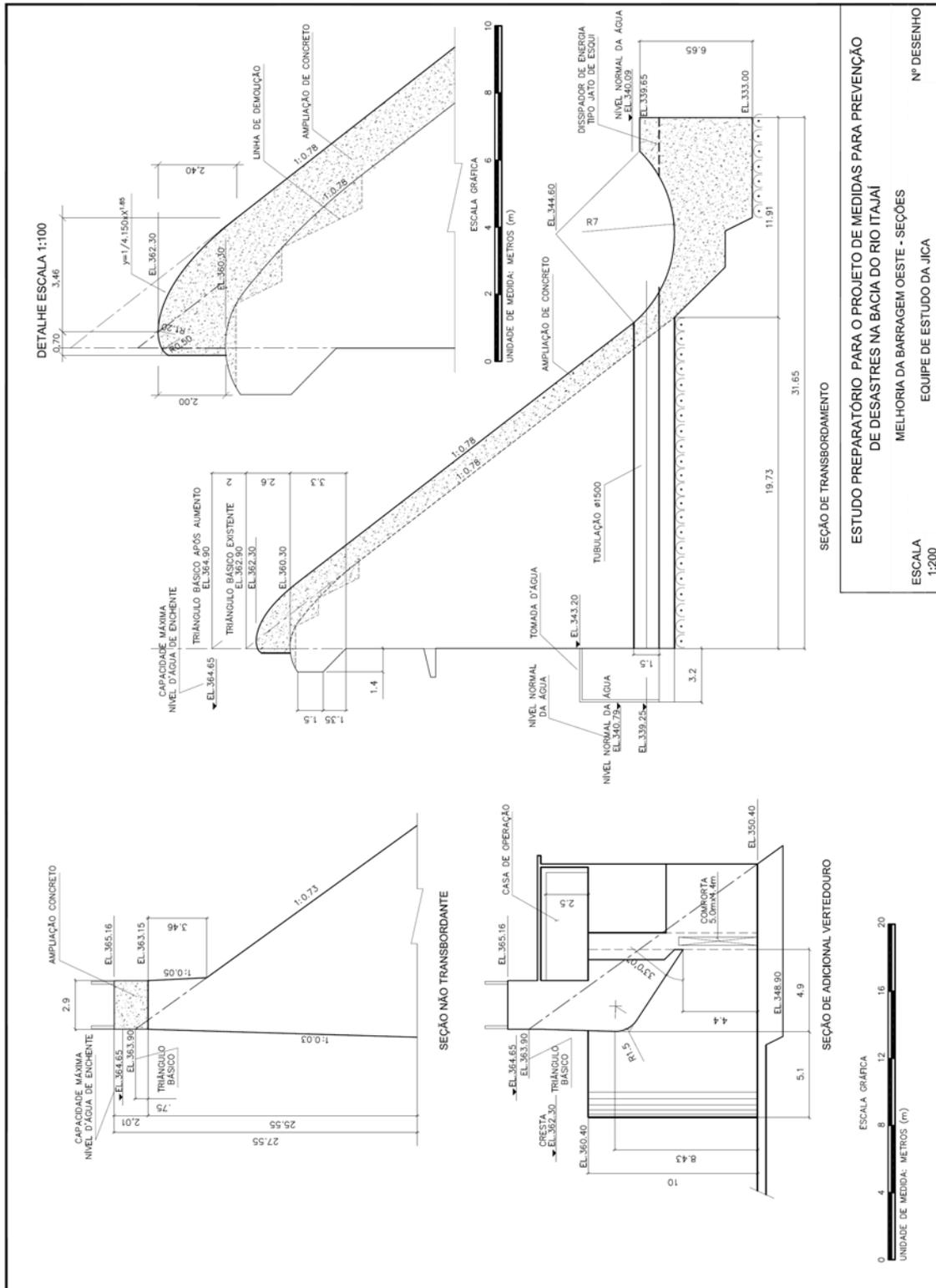


Figura 7.4.3 Desenho técnico da barragem Oeste após a sobre-elevação (2/2)

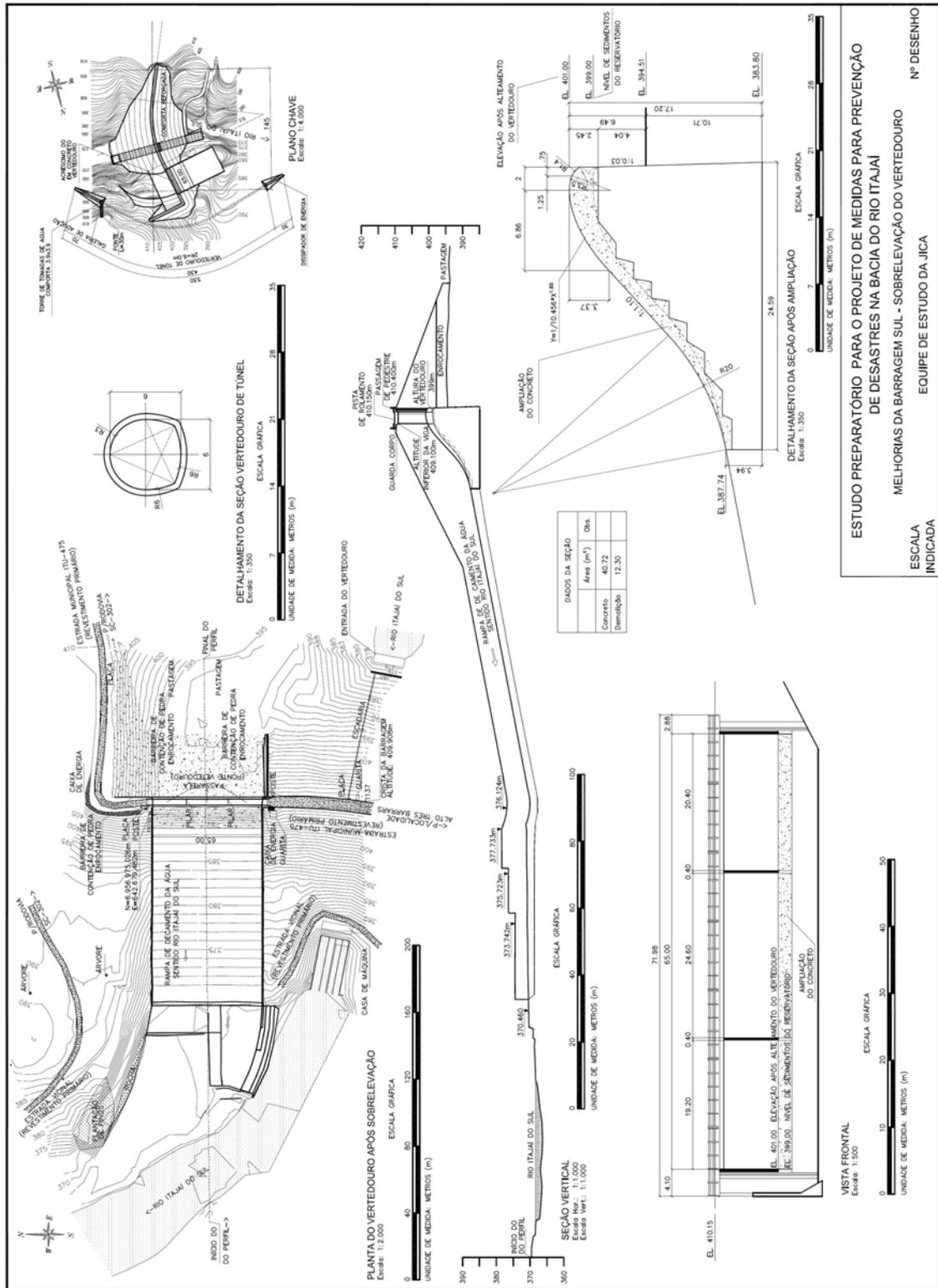


Figura 7.4.4 Desenho técnico da barragem Sul após a sobre-elevação

CAPÍTULO 8 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A MODIFICAÇÃO DA OPERAÇÃO DAS BARRAGENS DE USINAS HIDRELÉTRICAS EXISTENTES

8.1 Plano de Controle de Cheias e Instalações Existentes

8.1.1 Plano de Controle de Cheias

As duas barragens da CELESC no Rio Benedito, chamadas de Barragem Rio Bonito e Barragem Pinhal, são atualmente utilizadas somente para geração de energia hidrelétrica. No Plano Diretor, propõe-se que estas barragens sejam utilizadas também para o controle de cheias através da pré-liberação de um volume nos reservatórios.

A atual capacidade de vazão do Rio Benedito na cidade de Timbó é aproximadamente 860 m³/s, sendo que a vazão da cheia de 10 anos é aproximadamente 920 m³/s. Portanto, a capacidade de vazão não é suficiente para uma cheia com retorno em 10 anos.

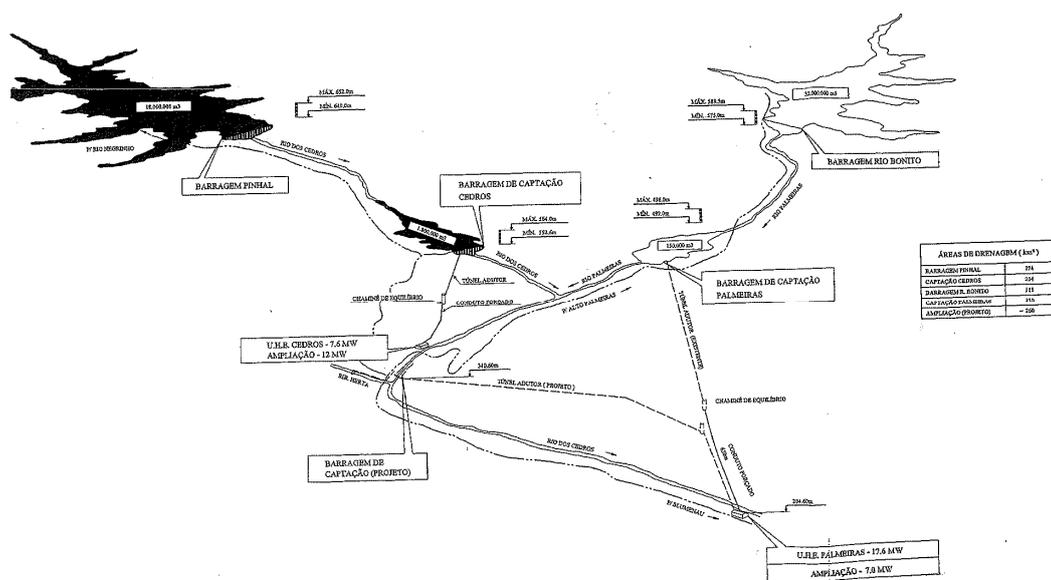
A vazão total de entrada da cheia de 10 anos nestas duas barragens é 210 m³/s. A vazão total de saída destas duas barragens deve ser reduzida em 140 m³/s para não exceder a atual capacidade de vazão na cidade de Timbó.

8.1.2 Instalações Existentes

(1) Características Gerais das Duas Barragens

As Barragens do Rio Bonito e do Pinhal são do tipo enrocamento, sendo que a área de captação da Barragem do Rio Bonito é 120 km², e da Barragem do Pinhal é 180 km².

A Figura 8.1.1 mostra o atual sistema de geração hidrelétrica realizada pela CELESC no Rio dos Cedros. Como mostra a figura, o sistema compreende dois reservatórios para armazenamento de água (Barragens Rio Bonito e Pinhal), duas barragens de captação (Barragens Palmeiras e Cedros) e duas usinas hidrelétricas.



Fonte: CELESC

Figura 8.1.1 – Características Gerais das Duas Barragens

As Tabelas 8.1.1 e 8.1.2 mostram as características gerais das duas barragens. Ambas as barragens têm vertedouros com comportas e tomadas de água. A água das tomadas destas barragens de acumulação é liberada diretamente no rio à jusante.

Tabela 8.1.1 – Características Gerais da Barragem do Rio Bonito

		Características	Observações
Barragem	Tipo de barragem	Enrocamento	
	Ano de conclusão	1963	
	Altura da barragem	19,0 m	
	Altitude da crista da barragem	Aprox. EL. 592 m (incerto)	Estimativa visual
Reservatório	Área de Captação	119,8 km ²	
	Volume total	32.000.000 m ³	
	Nível de água máximo	EL.589,5 m	Informação não baseada no sistema IBGE
	Nível de água mínimo	EL.583,5 m	Informação não baseada no sistema IBGE
Tomada	Altitude do fundo	EL.573,7 m	Informação não baseada no sistema IBGE
	Tamanho da comporta	Altura 3,0 m x Largura 2,6 m	
	Tipo de comporta	Porta de eclusa (com guindaste / içamento)	
	Controle de comporta	A comporta pode ser controlada para qualquer posição de abertura através de controle local com energia elétrica	
Vertedouro	Altitude da crista	EL.587,3 m	Informação não baseada no sistema IBGE
	Tipo de comporta	Tipo com aba (com guindaste / içamento)	
	Tamanho da comporta	Altura 2,2m x Largura 9,0m x 2 comportas	Crista da Comporta: EL.589,5 m
	Controle de comporta	A comporta pode ser controlada para qualquer posição de abertura através de controle local com energia elétrica	

Fonte: CELESC (a partir de materiais existentes e entrevista)



Comporta do Vertedouro (esquerda) e Torre de Tomada d'Água (direita) da Barragem do Rio Bonito

Tabela 8.1.2 – Características Gerais da Barragem do Pinhal

		Características	Observações
Barragem	Tipo de barragem	Aterro e enrocamento	
	Ano de conclusão	1949	
	Altura da barragem	19,0 m	
	Altitude do topo da barragem	Aprox. EL. 654 m (incerto)	Estimativa visual
Reservatório	Área de Captação	179,9 km ²	
	Volume total	18.000.000 m ³	
	Nível de água máximo	EL.652,0 m	Informação não baseada no sistema IBGE
	Nível de água mínimo	EL.641,0 m	
Tomada	Altitude do fundo	EL.638,2 m	
	Tamanho da comporta	Altura 2,6 m x Largura 1,35 m x 2 comportas	
	Tipo de comporta	Porta de eclusa (tipo rack)	
	Controle de comporta	A comporta pode ser controlada para qualquer posição de abertura através de controle local com energia elétrica	
Vertedouro (com comporta)	Altitude da crista	EL.651,0 m	Informação não baseada no sistema IBGE
	Tipo de comporta	Porta de eclusa (tipo rack)	
	Tamanho da comporta	Altura 1,0 m x Largura 4,0 m x 2 comportas	Crista da Comporta: EL.652,0m
	Controle de comporta	A comporta pode ser controlada para qualquer posição de abertura através de controle local com	

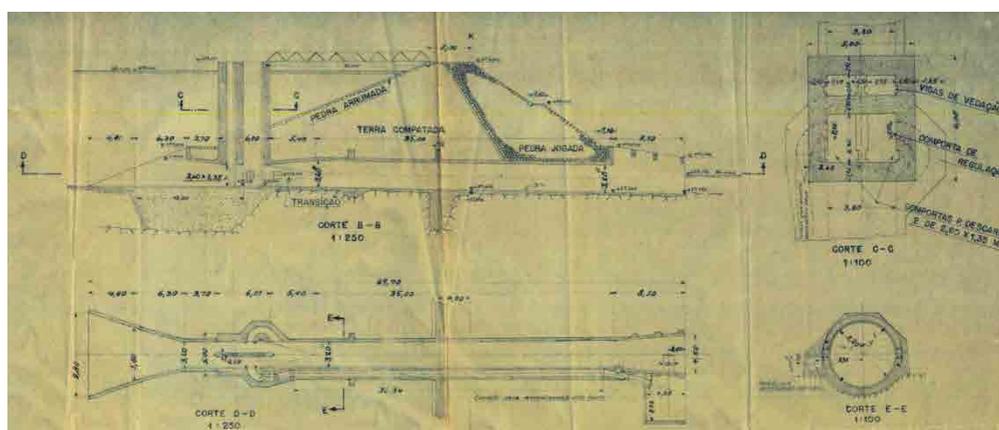
		energia elétrica	
Vertedouro (sem comporta)	Altitude da crista	EL.652,0 m	Informação não baseada no sistema IBGE
	Comprimento da crista	53 m	

Fonte: CELESC (a partir de materiais existentes e entrevista)



Vertedouro (esquerda) e Torre de Tomada d'Água (direita) da Barragem do Pinhal

A Figura 8.1.2 é um desenho do conduto e da saída do rio da Barragem do Pinhal. A saída do rio tem seção transversal circular com 3,2 m de diâmetro. Por outro lado, não há desenho disponível das instalações de captação da Barragem do Rio Bonito.



Fonte: CELESC

Figura 8.1.2 - Desenho do Canal de Adução da Barragem do Pinhal

(2) Relação do Nível de Água do Reservatório – Volume de Armazenamento e Vazão de Saída

A Tabela 8.1.3 mostra a relação entre o nível de água e o volume de armazenamento do reservatório (doravante denominada de curva H-V), e a relação entre o nível de água do reservatório e a vazão de saída (doravante denominada curva H-Q) de ambas as barragens. A vazão de saída é a vazão total a ser liberada dos condutos e vertedouros quando as comportas são totalmente abertas.

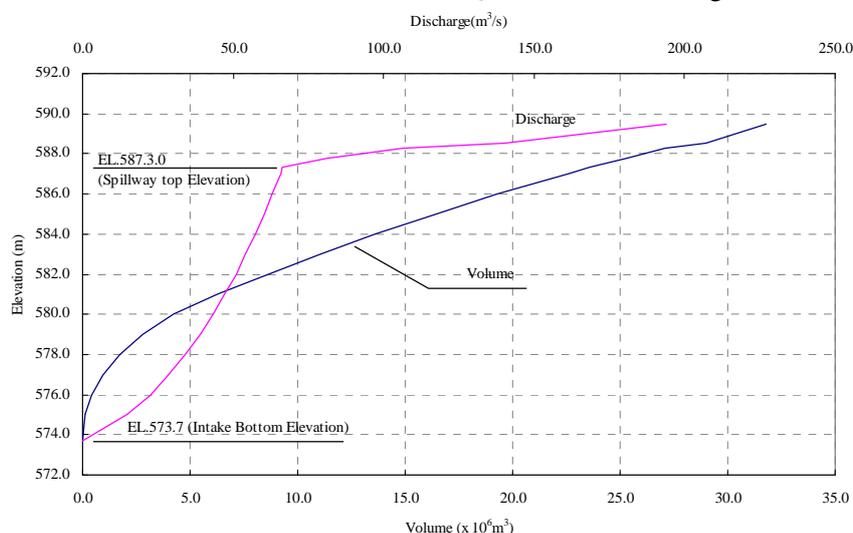
Tabela 8.1.3 - Curvas H-V e H-Q

Barragem do Rio Bonito			Barragem do Pinhal		
EL (EL.m)	Volume (x 10 ⁶ m ³)	Vazão (m ³ /s)	EL (EL.m)	Volume (x 10 ⁶ m ³)	Vazão (m ³ /s)
573,7	0,0	0,0	638,2	0,2	0,0
575,0	0,1	15,0	643,0	1,1	34,9
576,0	0,4	22,5	644,0	2,0	39,6
577,0	1,0	28,5	645,0	3,1	43,7
578,0	1,7	34,0	646,0	4,4	47,5
579,0	2,8	39,0	647,0	6,0	51,1
580,0	4,2	43,2	648,0	7,9	54,4
581,0	6,3	47,2	649,0	9,9	57,5
582,0	8,6	50,9	650,0	12,4	60,4
583,0	11,0	54,1	651,0	15,2	63,2
584,0	13,6	57,3	651,2	15,7	65,0
585,0	16,4	60,3	651,4	16,4	67,8
586,0	19,3	63,0	651,6	17,0	71,2
587,0	22,6	65,9	651,8	17,7	75,1
587,3	23,6	66,5	652,0	18,4	79,5

587,8	25,3	81,1	652,2	19,1	92,4
588,3	27,1	106,3	652,4	19,9	112,2
588,5	29,0	140,1			
589,5	31,8	193,7			

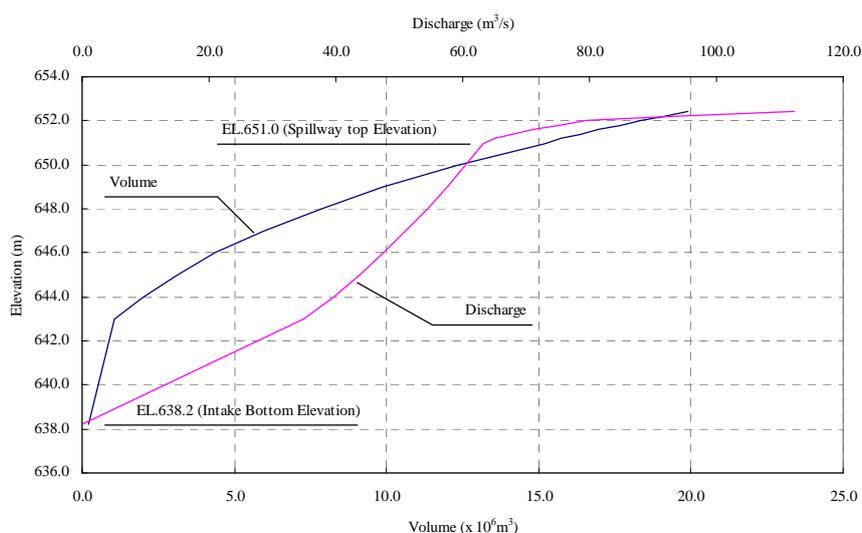
Fonte: CELESC

As Figuras 8.1.4 e 8.1.5 mostram as curvas H-V e H-Q em ambas as barragens.



Fonte: CELESC

Figura 8.1.3 - Curvas H-V e H-Q da Barragem do Rio Bonito



Fonte: CELESC

Figura 8.1.4 - Curvas H-V e H-Q da Barragem do Pinhal

(3) Operação Atual para as Cheias

Os operadores das usinas hidrelétricas geralmente ficam no escritório da usina de Palmeiras, e dois operadores visitam cada barragem uma ou duas vezes ao dia para operar as comportas e inspecionar as instalações. Quando ocorre uma cheia, um operador fica na barragem durante toda a cheia para a operação das comportas.

No passado, a CELESC sempre mantinha o nível de água do reservatório de ambas as barragens 1 m abaixo do nível máximo de água para evitar o transbordamento dos vertedouros.

No entanto, atualmente, quando existe previsão de cheia na área de captação destas barragens, o CIRAM informa para a CELESC e esta decide liberar a água armazenada para abaixar o nível de água

no reservatório em 50 cm a partir do nível máximo de água, de acordo com seu próprio critério. A CELESC tenta manter este nível de água durante a cheia para evitar o transbordamento das barragens.

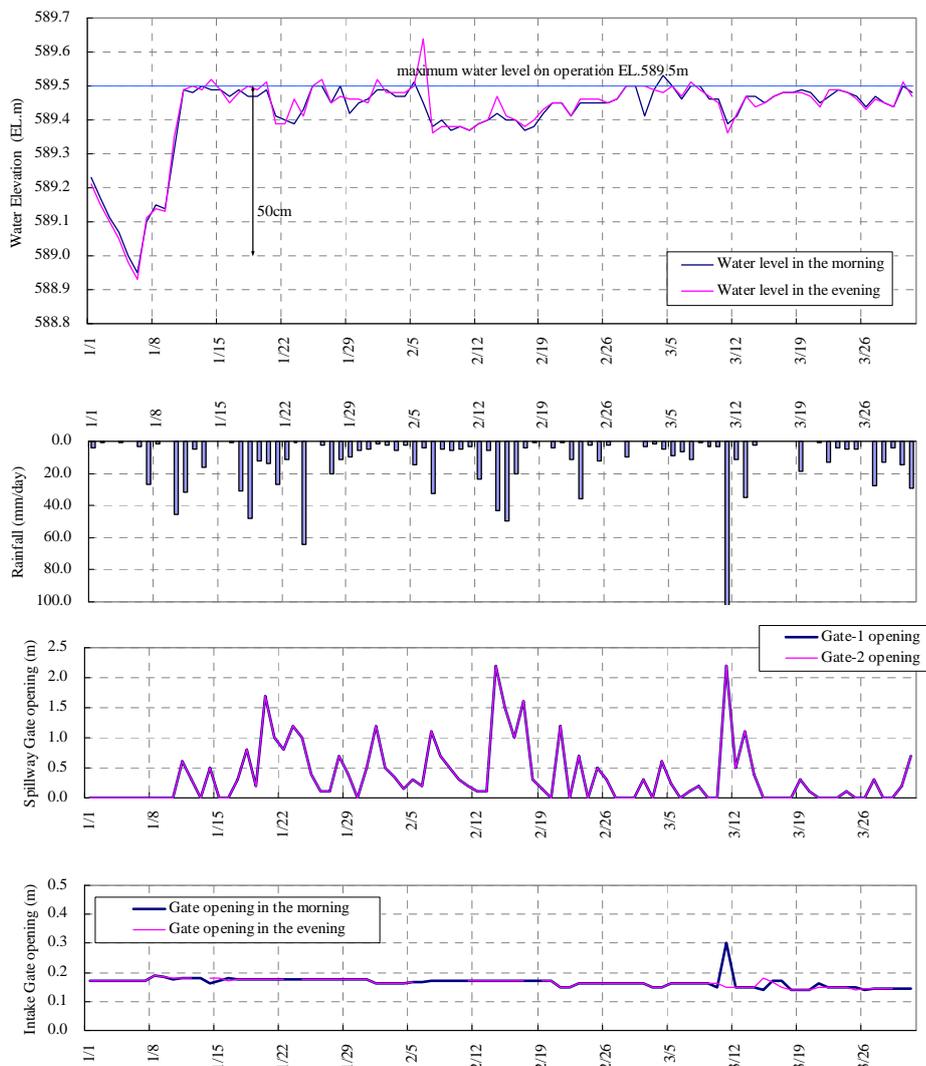
As Figuras 8.1.5 e 8.1.6 mostram a operação de ambas as barragens no período de janeiro a março de 2011.

Na Barragem do Rio Bonito, a precipitação total de janeiro a março de 2011 foi 1.048 mm.

As precipitações totais neste período (janeiro a março, considerando as médias dos períodos indicados) medidas nas estações da ANA situadas na bacia do Rio dos Cedros, é de 552 mm, em Timbó (1950 a 2006), 563 mm em Arrozeira (1950 a 2009) e 559 mm em Barra do Avencal (1985 a 2006). A precipitação na área de drenagem da Barragem do Rio Bonito, nesse período, foi muito superior à precipitação média de janeiro a março na bacia do Rio dos Cedros.

O nível da água na Barragem do Rio Bonito foi uma vez reduzido para 589 m de altitude (50 cm do nível de água máximo) do início de janeiro, logo voltando no meio de janeiro. O nível de água foi quase constante entre 589,4 m e 589,5 de altitude do meio de janeiro a março.

A abertura da comporta do vertedouro normalmente varia de 0 a 1,0 m, sendo maior que 2,0 durante período de chuva forte. Por outro lado, a abertura da comporta da tomada foi quase constante entre 0,15 e 0,2 m.

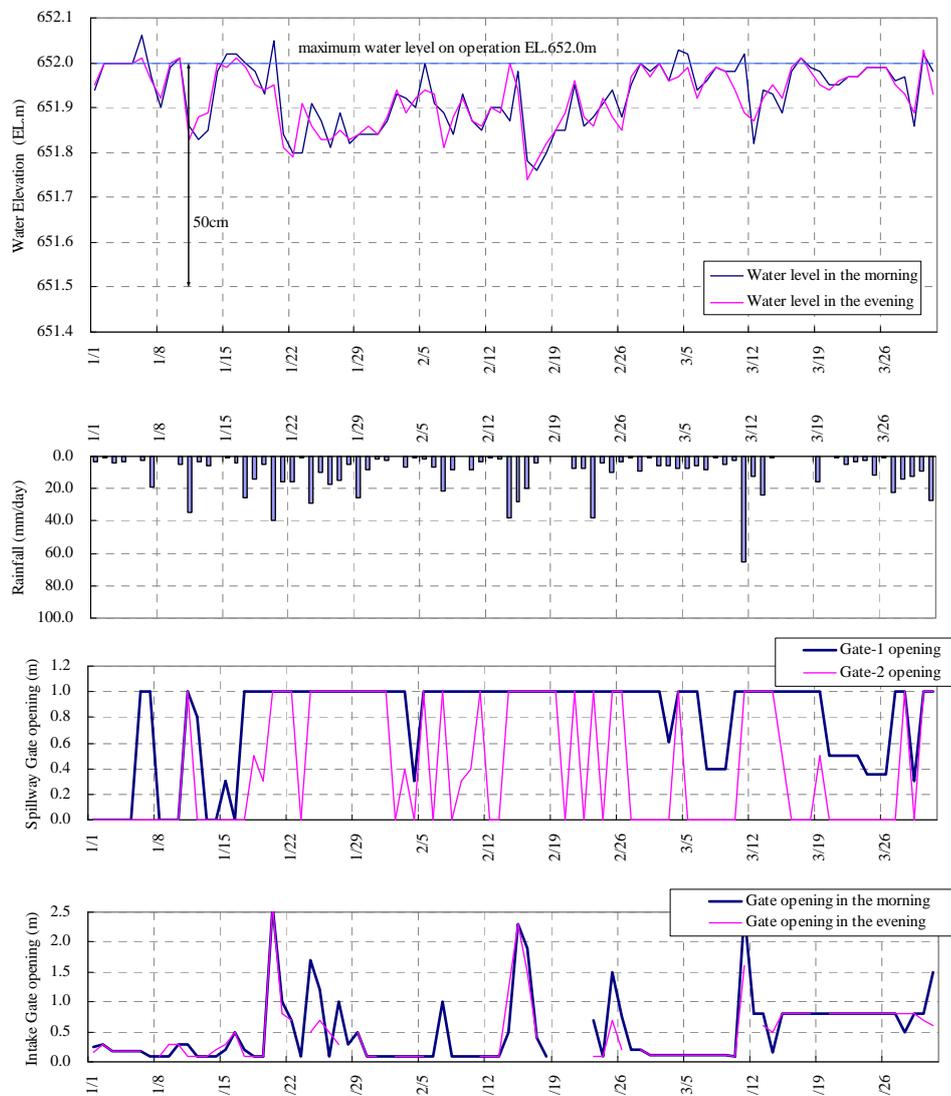


Fonte: CELESC

Figura 8.1.5 – Operação da Barragem do Rio Bonito

Na Barragem do Pinhal, a precipitação total de janeiro a março de 2011 foi 825 mm. Esta também foi muito superior à precipitação média de janeiro a março no Rio dos Cedros.

O nível de água da Barragem do Pinhal tem se mantido quase constante, variando 20 cm da EL.651,8 m para EL.652 m. A abertura da comporta do vertedouro estava normalmente totalmente aberta com 1,0 m. Por outro lado, a abertura da comporta da tomada normalmente varia de 0,1 a 0,3 m, sendo maior que 2,0 m durante período de chuva pesada.



Fonte: CELESC

Figura 8.1.6 – Operação da Barragem do Pinhal

Os níveis de água de ambas as barragens foram controlados para se manter quase constantes. O nível de água na Barragem do Rio Bonito foi controlado principalmente pela comporta do vertedouro, e o nível de água da Barragem do Pinhal foi controlado principalmente pela comporta de tomada.

8.2 Operação das Barragens para Pré-liberação

8.2.1 Operação das Barragens das Usinas Hidrelétricas para Controle de Cheias

(1) Política Básica

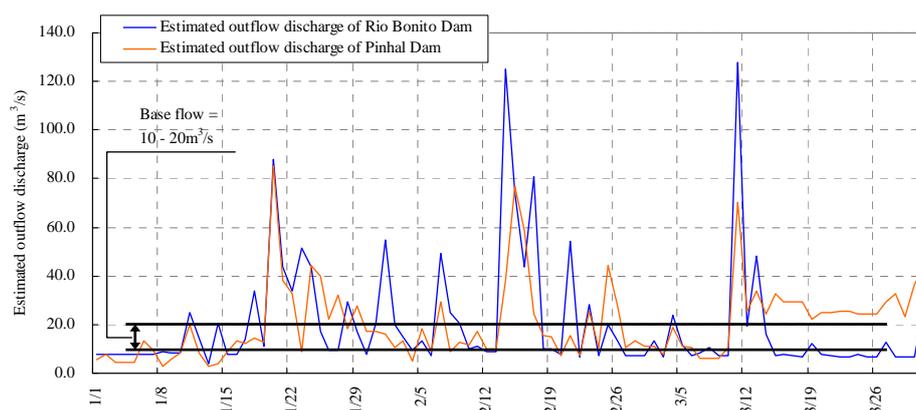
A CELESC libera a água armazenada para abaixar o nível de água do reservatório em 50 cm na operação atual, quando cheias são previstas pelo CIRAM. Com relação a isto, o método de pré-liberação é proposto para mitigar os danos das cheias nas cidades de Timbó e Rio dos Cedros.

(2) Vazão Possível para Pré-liberação das Barragens

De acordo com a curva H-Q, em ambas as barragens, mostrada nas Figuras 8.1.3 e 8.1.4, a capacidade total de vazão é aproximadamente 190 m³/s na Barragem do Rio Bonito ao nível máximo de água de 589,5 m de altitude, 80m³/s na Barragem do Pinhal ao nível máximo de água de 652 m de altitude, quando as comportas estão totalmente abertas.

Por outro lado, a Figura 8.2.1 mostra a vazão de saída estimada, em ambas as barragens, com base nos registros de operação de abertura de comportas e níveis de água.

A vazão de saída estimada é aproximadamente 10 a 20 m³/s durante o período de janeiro a março, exceto em cheias. Como os níveis de água das barragens durante este período é quase constante, a vazão afluente às barragens também é considerada como sendo de 10 a 20 m³/s.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 8.2.1 – Vazão de Saída Estimada das Barragens do Rio Bonito e do Pinhal

(3) Volume Necessário de Controle de Cheia para Pré-liberação

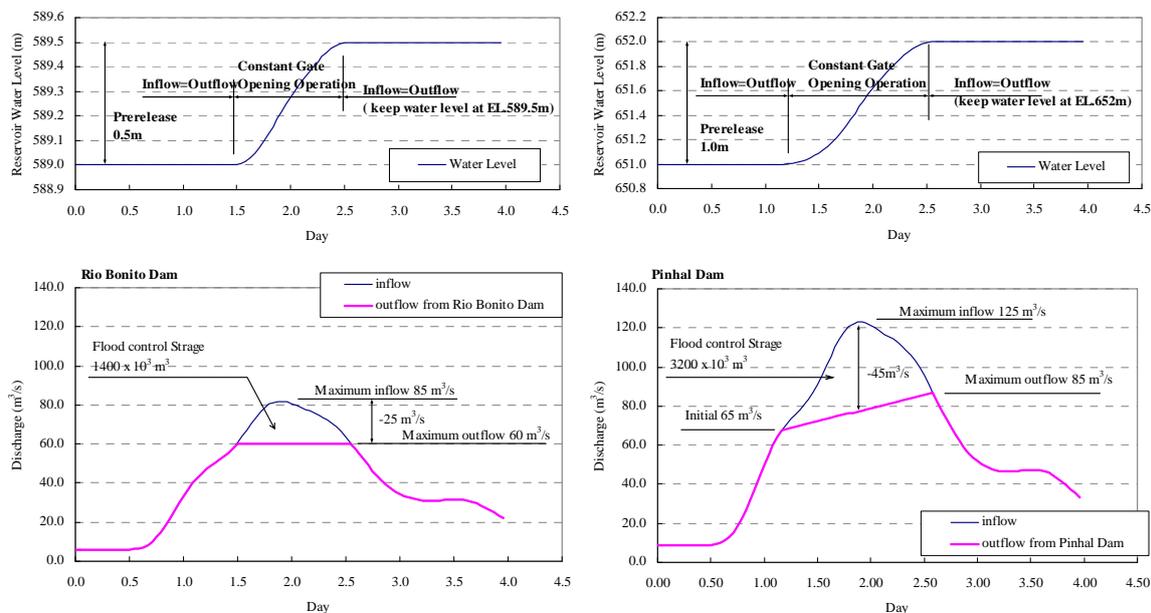
Para regular a vazão de saída de ambas as barragens para não exceder 140 m³/s para a cheia de 10 anos com a vazão de pico de 210 m³/s, o volume necessário de controle de cheia a ser criado para a pré-liberação foi analisado através de simulação da operação do reservatório em ambas as barragens. Os resultados da análise são apresentados na Tabela 8.2.1. Como indicado na tabela, o volume necessário para a pré-liberação foi estimado em 1,4 milhões de m³ para a barragem do Rio Bonito e em 3,2 milhões de m³ para a barragem do Pinhal. A Figura 8.2.1 mostra os resultados da simulação para a operação proposta de controle de cheia de ambas as barragens

Tabela 8.2.1 – Volume Necessário de Controle de Cheia a ser Criado pela Pré-liberação nas Duas Barragens

	Barragem do Rio Bonito	Barragem do Pinhal
Nível máximo de água em operação	EL.589,5 m	EL.652,0 m
Redução pela pré-liberação	-0,5 m	-1,0 m
Nível de água após a pré-liberação	EL.589,0 m	EL.651,0 m
Volume para controle de cheias por pré-liberação	1400 x 10 ⁶ m ³	3200 x 10 ⁶ m ³
Vazão de entrada máxima	85 m ³ /s	125 m ³ /s
Vazão de saída máxima	60 m ³ /s	85 m ³ /s
Redução da vazão no pico do fluxo de entrada	25 m ³ /s	45 m ³ /s

Operação das comportas durante o controle de cheias Abertura da comporta do vertedouro Abertura da comporta na tomada	Constantemente aberta 0,5 m 2,6 m	Constantemente aberta 1,0 m 2,6 m
Operação das comportas antes do controle de cheias	Manter o nível de água a 589 m de altitude (vazão de entrada = vazão de saída) através da operação da comporta de tomada	Manter o nível de água a 651 m de altitude (vazão de entrada = vazão de saída) através da operação da comporta de tomada
Operação das comportas após o controle de cheias	Manter o nível de água a 589,5 m de altitude (vazão de entrada = vazão de saída) através da operação da comporta do vertedouro	Manter o nível de água a 652 m de altitude (vazão de entrada = vazão de saída) através da operação da comporta do vertedouro

Fonte: Equipe de Estudo da JICA



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 8.2.2 – Operação das Barragens do Rio Bonito e do Pinhal para Controle de Cheias

É muito importante que a vazão de saída de ambas as barragens seja mantida inferior ou igual à vazão de entrada durante qualquer cheia.

O nível de água deve alcançar o nível máximo (589,5 m na Barragem do Rio Bonito, 652 m na Barragem do Pinhal em altitude) antes do tempo esperado no caso de cheias em excesso. O nível de água deve ser mantido no nível máximo acima controlando a vazão de saída para que seja igual à vazão de entrada através da operação das comportas do vertedouro.

(4) Método de Operação de Pré-liberação

Com base no volume necessário de controle de cheia pela pré-liberação acima, a vazão e a duração da pré-liberação foram determinadas como mostrado na Figura 8.2.3.

A capacidade de vazão da Barragem do Pinhal é aproximadamente 60 a 80 m³/s ao nível de água de 651 a 652 m de altitude, como indicado na Figura 8.1.4. Entretanto, como a vazão base de entrada na Barragem do Pinhal é aproximadamente 10 a 20 m³/s, como mostrado na Figura 8.2.1, a vazão possível para pré-liberação da Barragem do Pinhal é estimada em cerca de 40 a 60 m³/s.

Por outro lado, o volume total necessário para pré-liberação é estimado em 3200 x 10⁶ m³. Portanto, o tempo necessário para pré-liberação é de aproximadamente 18 horas.

- Tempo Necessário para pré-liberação 18 horas

- Vazão média de pré-liberação Barragem do Rio Bonito 1400 x 10³ m³ / 18 horas = 22 m³/s

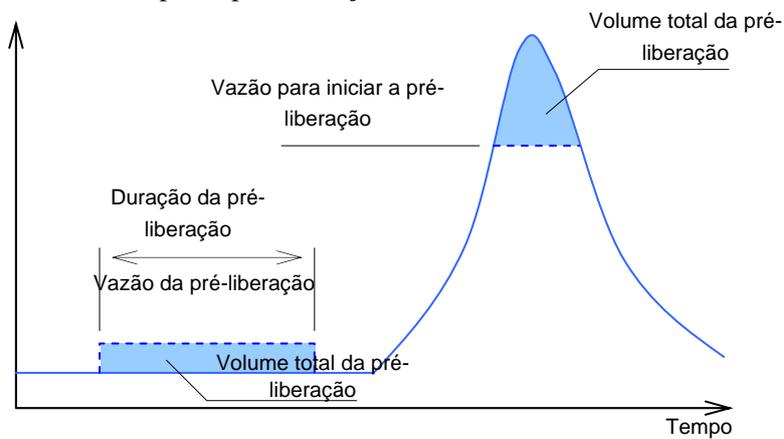
Barragem do Pinhal 3200 x 10³ m³ / 18 horas = 50 m³/s

Total 72 m³/s

Como a pré-liberação aumenta o fluxo no rio à jusante, os operadores das barragens e o administrador do rio devem prestar atenção à segurança ao longo das áreas à jusante do rio. Alguns pontos que devem ser observados para a execução da pré-liberação são apresentados a seguir.

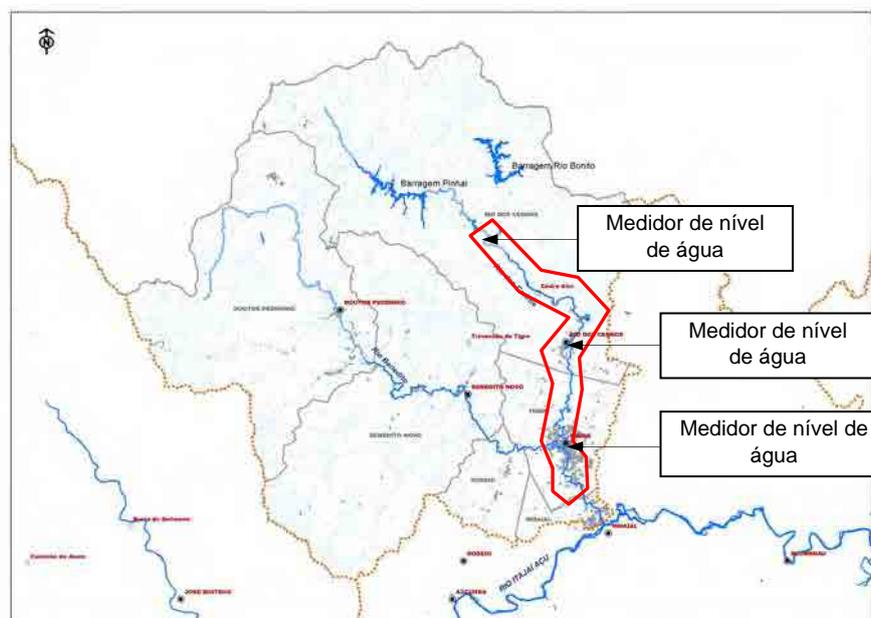
- Para evitar o transbordamento do leito do rio pela pré-liberação, o nível de água ao longo dos trechos à jusante do rio deve ser monitorado nas cidades de Timbó e Rio dos Cedros. A instalação de 3 estações medidoras do nível de água foi planejada no Relatório de Apoio Anexo D.
- Aviso e alerta devem ser feitos por sirenes aos residentes ao longo dos trechos à jusante do rio antes da pré-liberação. A instalação de 3 sirenes no rio à jusante das barragens também foi planejada no Relatório de Apoio Anexo D.

Comparativamente, um longo período é necessário para a pré-liberação devido à pequena capacidade de vazão do vertedouro e da tomada na barragem do Pinhal. Recomenda-se o aumento da capacidade de vazão do vertedouro da barragem do Pinhal através do rebaixamento do topo do vertedouro para reduzir o tempo da pré-liberação.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 8.2.3 – Ilustração do Método de Pré-Liberação



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 8.2.4 – Mapa de Localização das Estações de Monitoramento e Aviso para Pré-Liberação

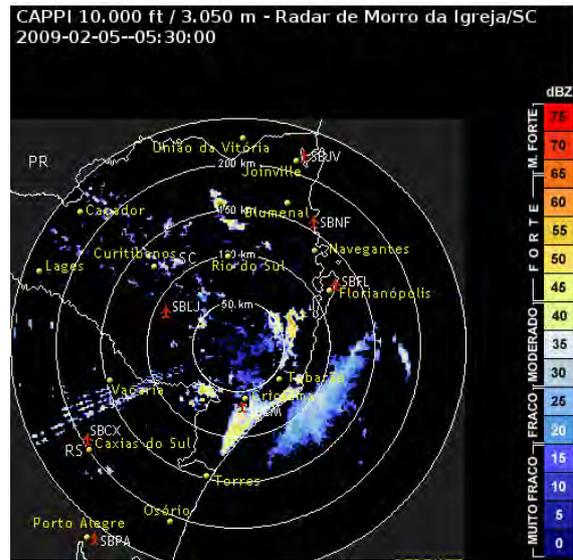
(5) Critérios para a Pré-liberação

1) Previsão Atual de Cheias

Como mencionado na Seção 8.1, a CELESC rebaixa o nível de água do reservatório previamente através da pré-liberação com base na previsão de chuvas feita pelo CIRAM. A previsão da chuva é feita pelo modelo ETA do INPE e pelo modelo WRF dos EUA para os 5 dias seguintes. A escala da grade de análise é de 40 km x 40 km e de 20 km x 20 km, respectivamente.

Mas a precisão da previsão não tem sido satisfatória, uma vez que foi instalado radar meteorológico apenas em Urubici, longe da cidade do Rio dos Cedros (ver Figura 8.2.5).

Por outro lado, algumas organizações de SC como a Defesa Civil, EPAGRI, SDS, pretendem estabelecer um novo sistema de previsão de chuvas com dados de satélite do INPE, e também estabelecer um sistema de previsão de cheias. Espera-se melhorar a precisão da previsão através do desenvolvimento destes novos sistemas.



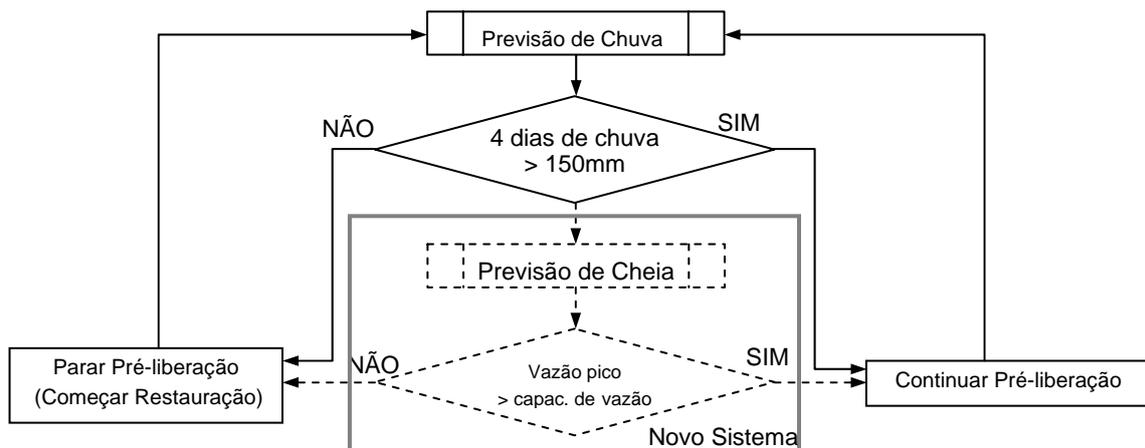
Fonte: SDS

Figura 8.2.5 – Localização do Atual Radar Meteorológico e sua Área de Cobertura

2) Critérios para a Pré-liberação

A capacidade de vazão do Rio Benedito na cidade de Timbó é estimada como sendo maior que a vazão de pico da cheia de 5 anos, porém inferior à vazão da cheia de 10 anos.

Quando a vazão de pico prevista é maior que a capacidade de vazão em Timbó (cheia de 5 a 10 anos), considera-se necessária a realização da pré-liberação. Um dos critérios para a pré-liberação pode ser uma precipitação de 150 mm/4 dias (precipitação provável de 5 anos). Entretanto, após a primeira decisão, a previsão e a decisão devem ser repetidas continuamente através da adição de informações hidrológicas.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

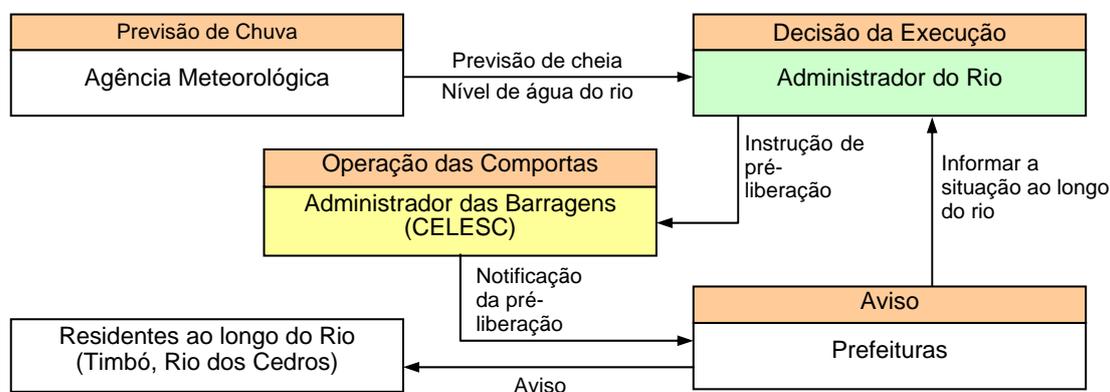
Figura 8.2.6 – Fluxograma da Decisão da Pré-liberação

A determinação dos critérios para a pré-liberação requer um estudo mais detalhado durante a fase de implementação.

8.2.2 Recomendações para a Organização da Operação

A Figura 8.2.7 mostra as recomendações para a organização da execução da pré-liberação das duas barragens.

- Como o administrador do rio é responsável pela decisão e operação da pré-liberação, ele instrui a execução da pré-liberação para a CELESC com base na cheia prevista pelo CIRAM e monitora o nível de água ao longo do Rio dos Cedros.
- A operação das comportas das barragens é realizada pelos operadores da CELESC.
- A CELESC deve informar a pré-liberação às prefeituras (Timbó e Rio dos Cedros) ao longo do Rio dos Cedros antes da pré-liberação, e as prefeituras devem soar o alarme para os residentes que vivem ao longo do rio.
- Se uma cheia afetar a área de captação de ambas as barragens mesmo que a pré-liberação seja executada, os níveis de água baixos dos reservatórios das barragens podem não ser restaurados. O órgão estadual responsável pela gestão das cheias e a CELESC devem discutir e decidir sobre a regulamentação de tais compensações.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 8.2.7 - Recomendações para a Organização da Operação

CAPÍTULO 9 ESTUDO DE VIABILIDADE DAS COMPORTAS DE ENCHENTES NO RIO ITAJAÍ MIRIM

9.1 Características das Enchentes no Rio Itajaí Mirim

9.1.1 Características Topográficas da Cidade de Itajaí

(1) Rio Itajaí Mirim

A cidade de Itajaí é uma famosa cidade portuária localizada na foz do Rio Itajaí. A área urbana da cidade de Itajaí está localizada à jusante da BR-101 e a área à montante da BR-101 é principalmente utilizada para agricultura e pastagem.

O Rio Itajaí Mirim é um dos maiores afluentes do Rio Itajaí, confluindo com este rio na área urbana da cidade de Itajaí. O Rio Itajaí Mirim originalmente corria de maneira tortuosa através da cidade de Itajaí, mas nos anos 70 foi construído um canal retificado para o mesmo. Neste relatório, o canal original é chamado de “o Mirim Velho”, e o canal retificado, de “o Canal” (o Canal aparece nos mapas topográficos do IBGE).

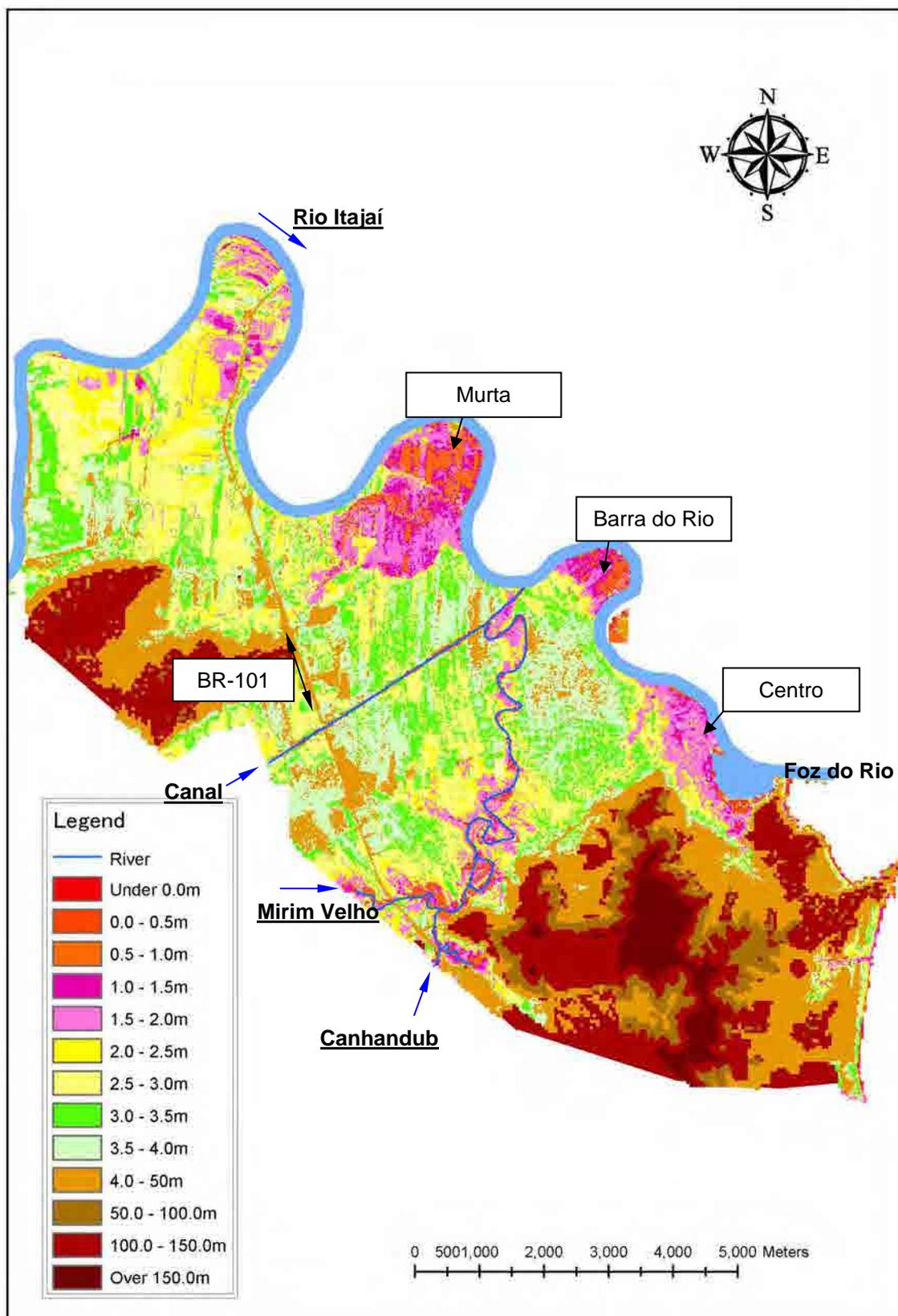
O Canal se desvia do Mirim Velho à montante da BR-101, encontrando novamente com o Mirim Velho aproximadamente 1 km à montante da confluência com o Rio Itajaí. Um pequeno afluente chamado de Ribeirão Canhanduba flui para o Mirim Velho.

(2) Características Topográficas e Medidas de Mitigação para as Enchentes

A Figura 9.1.1 apresenta a distribuição das cotas da cidade de Itajaí baseada no mapa topográfico 1/2000 preparado pela prefeitura de Itajaí. Como indicado na figura, a área ribeirinha ao longo do Mirim Velho é geralmente baixa, variando de 1,0 a 3,0 m. Por outro lado, a área ao longo do Canal é relativamente alta, com elevações de aproximadamente 3,0 a 4,0 m. O Canal tem maior capacidade de vazão, sendo que o Mirim Velho causa enchentes e inundações frequentes em sua área ribeirinha. As “comportas” no Mirim Velho propostas no plano diretor têm o objetivo de mitigar as inundações ao longo do Mirim Velho.

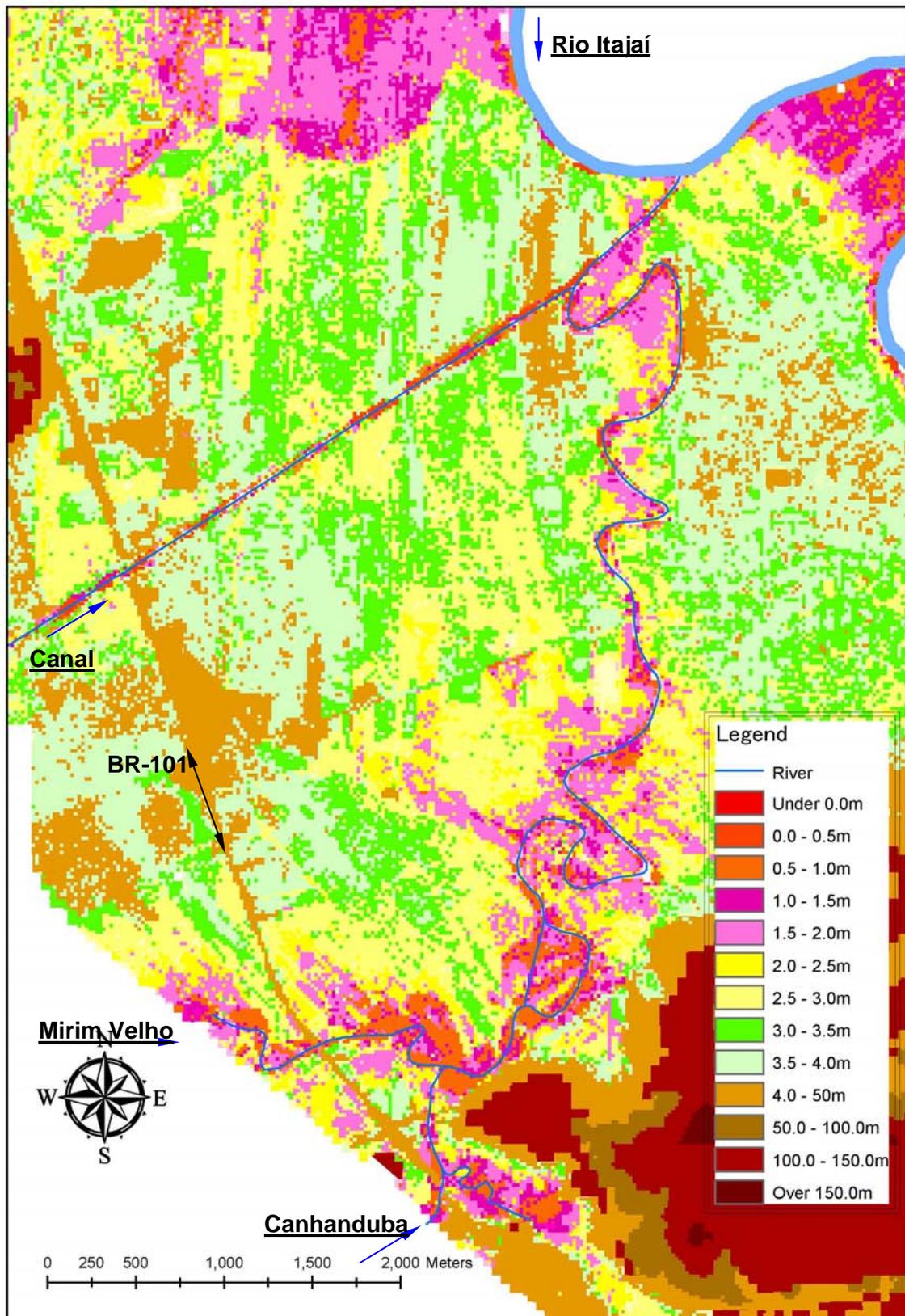
A área interna do trecho sinuoso do Rio Itajaí, Centro, Barra do Rio, bairro de Murta, na cidade de Itajaí, é extremamente baixa, com elevações de 1,0 a 2,0 m. Estas áreas tendem a inundar apenas com a onda da maré de primavera, e sofrem maiores inundações mesmo durante a ocorrência de pequenas enchentes, quando a maré está alta. O plano diretor propõe “leito de cheia e dique de desvio” contra enchentes com período de retorno de 50 anos no rio Itajaí.

As áreas de agricultura e pastagem à montante da BR-101 ao longo dos rios Itajaí e Itajaí Mirim são planícies de inundação, tendo a função de bacia de retardamento natural para a cidade de Itajaí. As medidas de mitigação propostas, tais como “comportas”, “leito de inundação”, foram planejadas com a premissa de que a planície de inundação deverá ser preservada. Portanto, qualquer desenvolvimento na planície de inundação deve ser restringido, ou o aumento da vazão causado pelo desenvolvimento deve ser compensado pelo estabelecimento de outras medidas.



Fonte: Prefeitura do município de Itajaí

Figura 9.1.1 – Distribuição das Cotas de Elevação na Cidade de Itajaí (1/2)



Fonte: Prefeitura do município de Itajaí

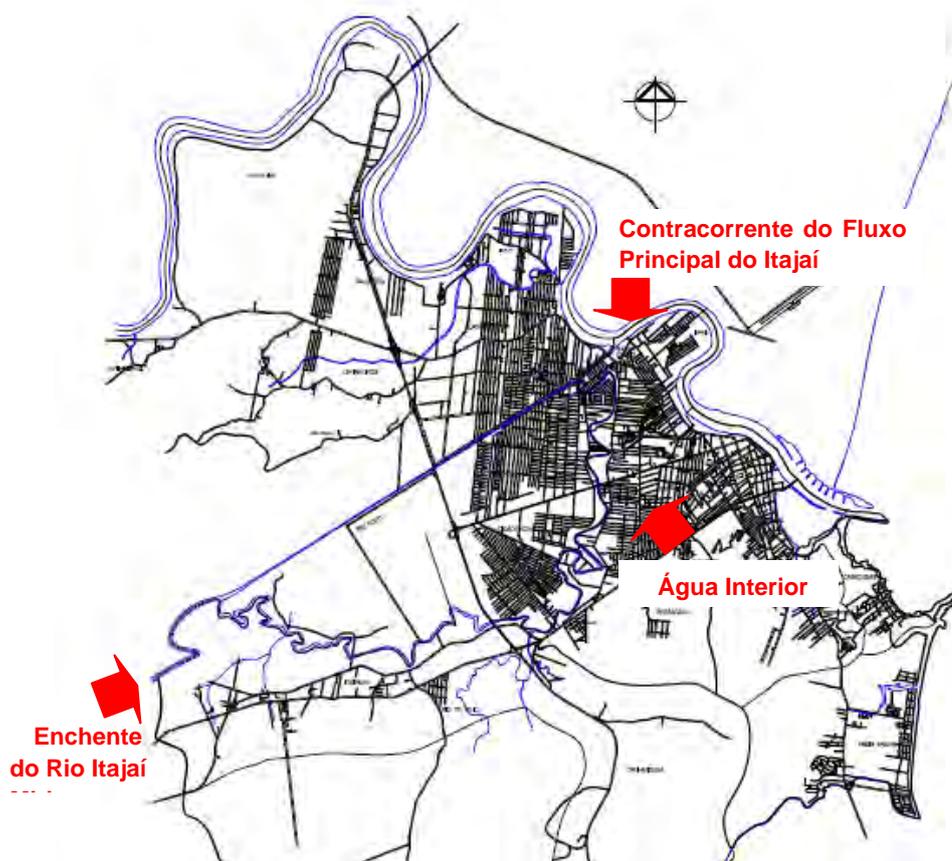
Figura 9.1.1 – Distribuição das Cotas de Elevação na Cidade de Itajaí (2/2)

9.1.2 Características das Enchentes no Rio Itajaí Mirim

(1) Causas da Inundação na Área Ribeirinha do Mirim Velho

Considera-se que existem três principais causas para a inundação da cidade de Itajaí ao longo do Mirim Velho.

A primeira é a enchente da própria bacia do Rio Itajaí Mirim, a segunda é a contracorrente do Rio Itajaí (quando há cheias no rio Itajaí suas águas barram o fluxo do rio Itajaí-Mirim e também invadem o seu leito) e a terceira é a água interior devido à chuva sobre a área ilustrada a seguir.



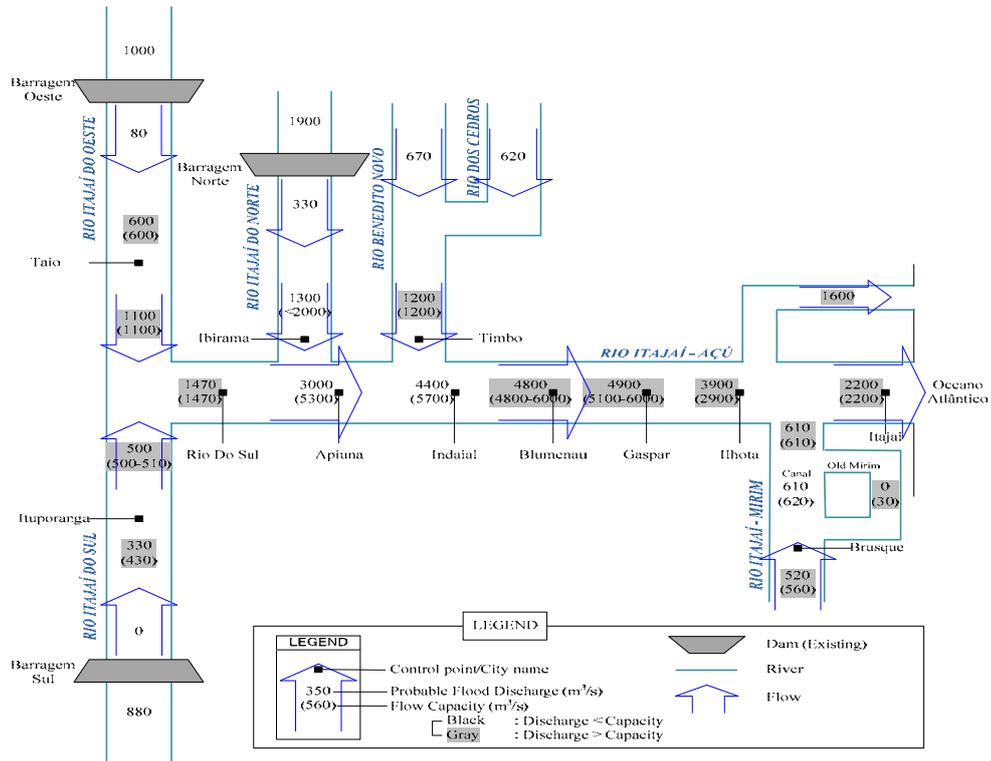
Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.1.2 – Causas da Inundação ao longo do Mirim Velho

(2) Vazão de Cheia Provável no Itajaí Mirim

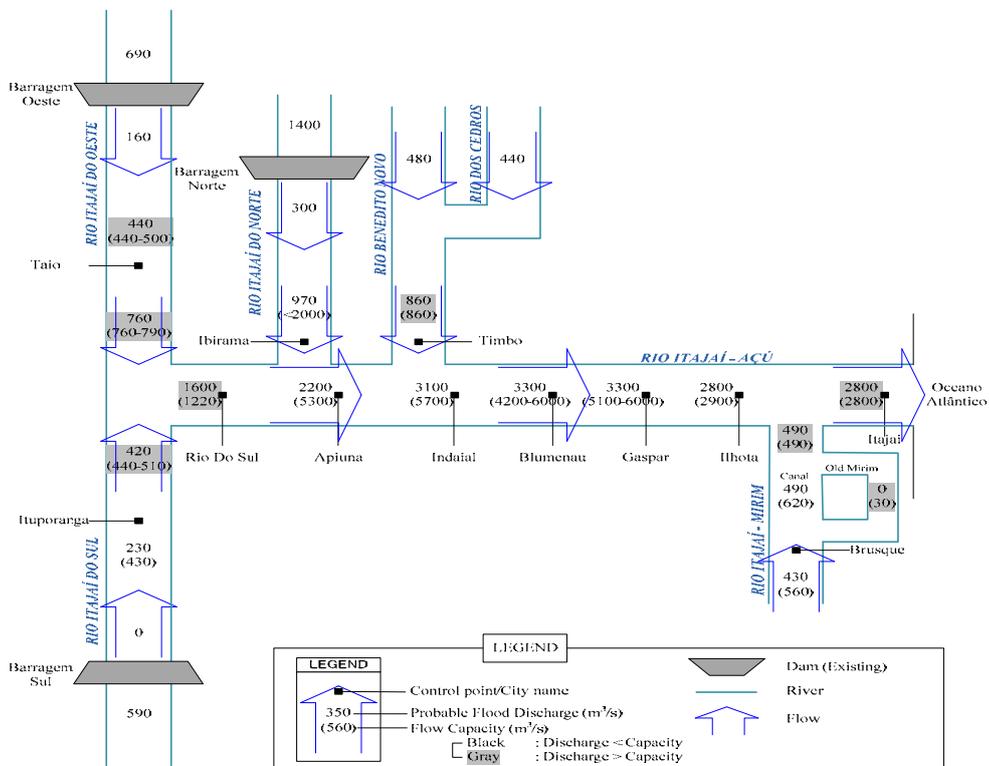
O governo do estado decidiu que a bacia do Rio Itajaí deverá ser protegida contra cheias com tempo de retorno de 50 anos como meta principal. Considerando o elevado custo das medidas de proteção, o governo também decidiu um desenvolvimento escalonado para a implementação dessas medidas, sendo que o plano diretor recomendou que a primeira fase do projeto seja a proteção para uma cheia com tempo de retorno de 10 anos.

As Figuras 9.1.3 e 9.1.4 mostram a distribuição da vazão de projeto para as enchentes de 50 anos e de 10 anos de tempo de retorno. Estas vazões são calculadas com a premissa da implementação das medidas de mitigação na área à montante, tais como leito de enchente, elevação das barragens, melhorias hidráulicas, etc.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.1.3 – Distribuição das Vazões de Projeto para Enchente com 50 anos de retorno (Unidade: m³/s)



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.1.4 - Distribuição das Vazões de Projeto para Enchente com 10 anos de retorno (Unidade: m³/s)

(3) Características de Cheias Prováveis na Cidade de Itajaí

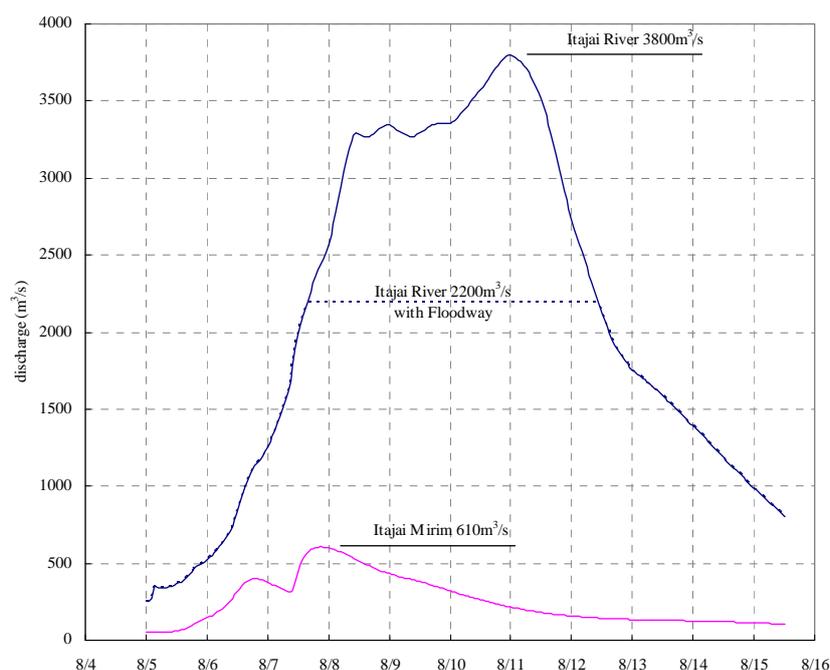
Hidrogramas para enchentes com 50 e 10 anos de retorno, para os rios Itajaí e Itajaí Mirim na cidade de Itajaí, são mostrados nas Figuras 9.1.5 e 9.1.6. Esses hidrogramas foram estimados através da análise dos hidrogramas obtidos do estudo de transformação chuva-vazão e da análise do fluxo no regime não permanente. Os detalhes da análise de escoamento da enchente foram preparados e são apresentados no Relatório de Apoio A “Hidrologia”.

A Figura 9.1.5 mostra os hidrogramas da enchente com 50 anos de retorno do Rio Itajaí, juntamente com o hidrograma de corte de pico planejado pelo leito de inundação. O hidrograma da enchente de 50 anos do Itajaí Mirim já inclui o efeito de controle de enchentes por uma nova barragem que está planejada no plano diretor na área à montante da cidade de Brusque.

Neste Estudo de Viabilidade a enchente de projeto para o dimensionamento da comporta utiliza uma enchente de 50 anos, considerando que, se as comportas forem construídas para uma enchente de 10 anos, será difícil modificá-las no futuro, sem reconstrução total, para a proteção contra a enchente de 50 anos.

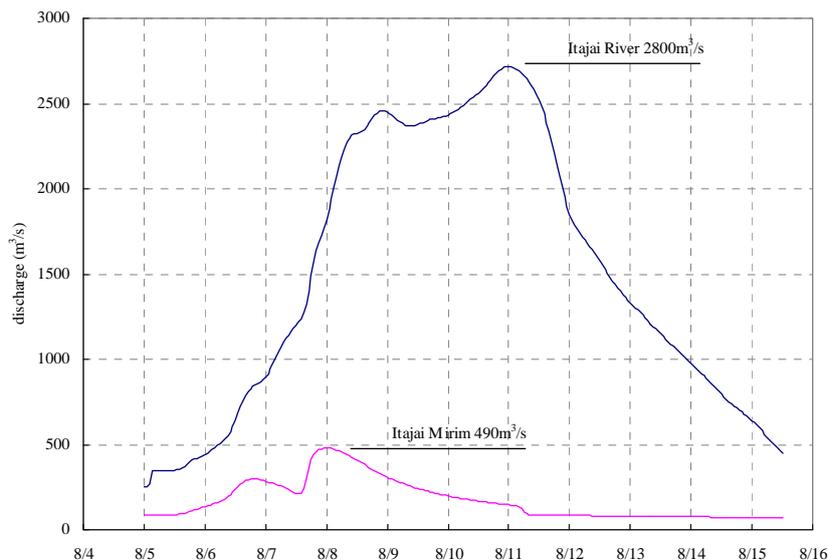
As características destes hidrogramas estão descritas a seguir.

- A vazão de pico do Rio Itajaí ocorre aproximadamente três dias após o pico no Itajaí Mirim.
- A duração da enchente no Rio Itajaí é muito maior do que no Itajaí Mirim.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.1.5 – Hidrograma para Enchente de 50 anos na Cidade de Itajaí, dos Rios Itajaí e Itajaí Mirim



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

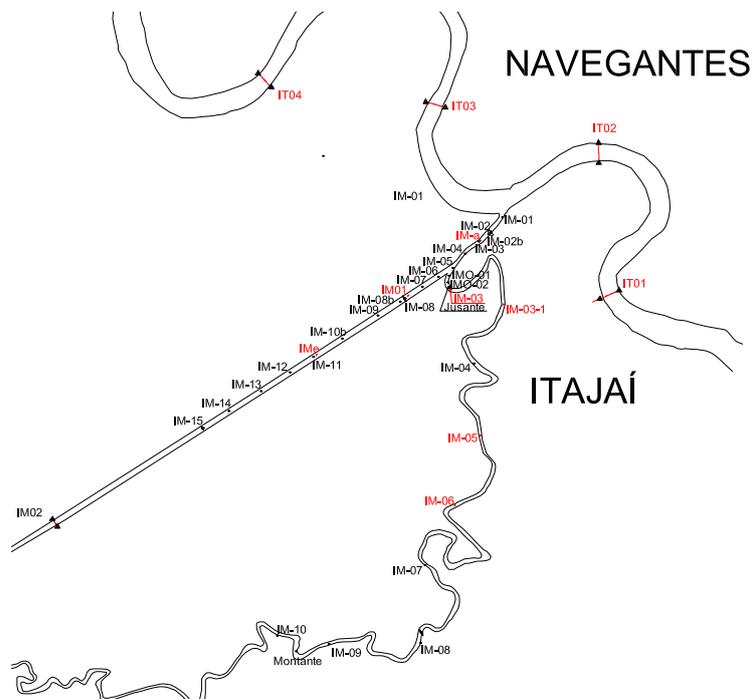
Figura 9.1.6 - Hidrograma para Enchente de 10 anos na Cidade de Itajaí, dos Rios Itajaí e Itajaí Mirim

9.2 Capacidade de Vazão do Rio Itajaí Mirim

9.2.1 Seções Transversais do Rio Itajaí Mirim

O levantamento das seções transversais foi realizado em 25 locais ao longo do Rio Itajaí Mirim (tanto no Canal como no Mirim Velho), de março a maio de 2011, para analisar a capacidade de vazão do Rio Itajaí Mirim, de modo a obter o nível de água de projeto para as comportas e diques associados.

Assim, 9 seções transversais já foram levantadas em 2010, totalizando 34 seções transversais disponíveis na análise. Entre elas, 21 seções transversais estão ao longo do Canal, e 13, ao longo do Mirim Velho.

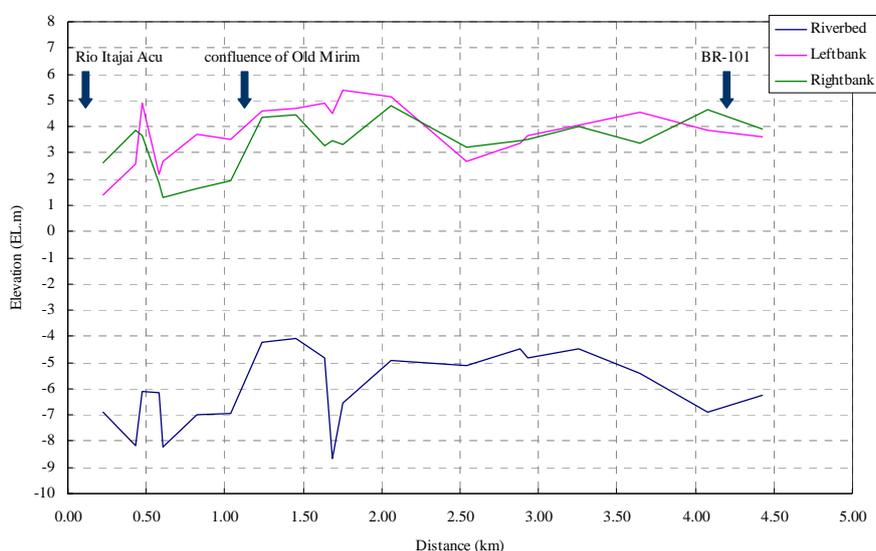


Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.1 – Locais do Levantamento de Seções Transversais do Rio Itajaí Mirim

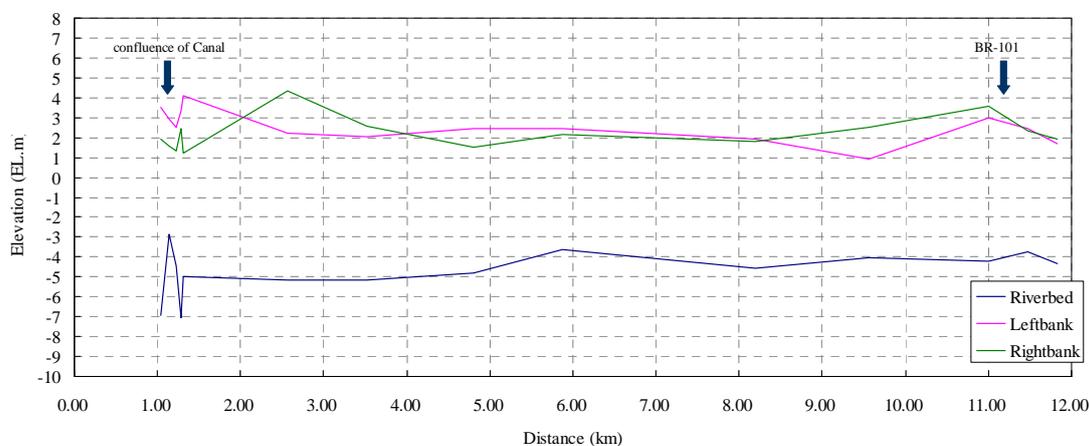
As Figuras 9.2.2 e 9.2.3 e a Tabela 9.2.1 mostram as elevações do leito do rio, margem esquerda, margem direita, largura do canal em cada seção transversal. As características geométricas do canal são descritas a seguir.

- Não é reconhecida uma declividade longitudinal significativa em nenhum dos rios.
- A elevação do leito do rio do Canal está entre -8 e -4m, e a elevação do leito do rio do Mirim Velho varia de -5 a -3,5m, exceto próximo da confluência.
- A elevação das margens do Canal varia de 1,5 a 5,5m, e é notadamente baixa (1,5 a 2,0m) especialmente à jusante do trecho entre km 0,6 e 1,0.
- A elevação das margens do rio no trecho próximo ao km 2,5 ao longo do Canal também é baixa (cerca de 3,0 m).
- A elevação da margem do Mirim Velho é extremamente baixa, exceto no trecho da margem direita próximo ao km 2,5.
- A largura do Canal varia de 55 a 85 m, variando de 45 a 70 m no Mirim Velho.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.2 – Perfil Longitudinal do Canal



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.3 – Perfil Longitudinal do Mirim Velho

Tabela 9.2.1 – Dados de Elevação de Cada Seção Transversal

Canal

Section surveyed in 2010	Section surveyed in 2011	Interval (m)	Distance (km)	Riverbed Elevation (EL.m)	Leftbank Elevation (EL.m)	Rightbank Elevation (EL.m)	Channel Width (m)	remarks
	IM-01	-209.2	0.2209	-6.873	1.371	2.622	70.586	
	IM-02	-39.7	0.4301	-8.16	2.588	3.848	88.235	
	IM-02b	-112.9	0.4698	-6.109	4.9	3.651	65.205	
IMa		0.0	0.5827	-6.152	2.171	1.853	56.757	surveyed in 2010
	IM-03	23.5	0.6062	-8.243	2.657	1.281	57.733	
	IM-04	216.2	0.8224	-6.993	3.729	1.633	61.092	
	IM-05	212.5	1.0349	-6.945	3.494	1.915	67.639	
	IM-06	198.6	1.2335	-4.214	4.615	4.333	64.867	
	IM-07	216.1	1.4496	-4.081	4.713	4.467	83.126	
IM01		184.1	1.6337	-4.846	4.917	3.272	76.052	surveyed in 2010
	IM-08	52.6	1.6863	-8.68	4.475	3.478	79.121	
	IM-08b	67.4	1.7537	-6.548	5.399	3.301	71.085	
	IM-09	302.8	2.0565	-4.932	5.154	4.775	67.965	
	IM-10b	483.7	2.5402	-5.123	2.673	3.219	64.833	
IMe		344.3	2.8845	-4.46	3.374	3.472	80.243	surveyed in 2010
	IM-11	45.9	2.9304	-4.804	3.658	3.534	77.642	
	IM-12	322.4	3.2528	-4.488	4.073	4.011	75.318	
	IM-13	394.6	3.6474	-5.397	4.562	3.374	78.767	
	IM-14	432.6	4.0800	-6.909	3.874	4.627	67.88	
	IM-15	350.4	4.4304	-6.267	3.602	3.925	76.005	
IM02			6.4432	-3.759	2.387	2.243	56.343	surveyed in 2010
IM03			11.3117	-3.494	4.177	4.456	66.062	surveyed in 2010

Old Mirim

Section surveyed in 2010	Section surveyed in 2011	Interval (m)	Distance (km)	Riverbed Elevation (EL.m)	Leftbank Elevation (EL.m)	Rightbank Elevation (EL.m)	Channel Width (m)	remarks
	IM-05	-99.0	1.0414	-6.945	3.494	1.915	67.639	Itajaí River
	IMO-01	-79.0	1.1404	-2.881	2.922	1.573	59.542	
	IMO-02	-59.2	1.2194	-4.439	2.483	1.313	45.63	
	Jusante	-33.2	1.2786	-7.056	3.366	2.471	54.19	flood control gate site
IMb	IMO-03	0.0	1.3118	-4.993	4.098	1.21	64.194	surveyed in 2010
IM11	IMO-03-1	1,247.0	2.5588	-5.166	2.215	4.334	60.974	surveyed in 2010
	IMO-04	963.3	3.5221	-5.19	2.049	2.574	48.482	
IMc	IMO-05	1,279.9	4.8020	-4.835	2.437	1.533	49.267	surveyed in 2010
IMd	IMO-06	1,073.9	5.8759	-3.646	2.469	2.146	68.921	surveyed in 2010
	IMO-07	2,315.1	8.1910	-4.583	1.922	1.805	73.487	
	IMO-08	1,377.7	9.5687	-4.04	0.892	2.49	67.582	
IM12	IMO-09	1,439.8	11.0085	-4.24	2.993	3.55	51.927	surveyed in 2010
	Montante	458.1	11.4666	-3.728	2.453	2.338	52.78	flood control gate site
	IMO-10	362.1	11.8287	-4.306	1.682	1.919	52.849	
IM03			23.1546	-3.494	4.177	4.456		surveyed in 2010

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

9.2.2 Estimativa da Capacidade de Vazão do Rio Itajaí Mirim

(1) Capacidade de Vazão

A capacidade de vazão do Rio Itajaí Mirim foi estimada pela análise de fluxo não uniforme. A análise de fluxo foi realizada nas seguintes condições.

1) Condições Hidráulicas

a) A condição limite do cálculo de fluxo não uniforme é definida pelo nível de água na extremidade à jusante do Itajaí Mirim (confluência com o Rio Itajaí), que é calculado através do cálculo do fluxo não uniforme ao longo do Rio Itajaí.

i) Neste Relatório de Apoio, as variáveis são definidas como se segue.

Q_1 : vazão do Rio Itajaí Mirim

WL_1 : nível da água em qualquer ponto do Rio Itajaí Mirim quando Q_1 flui para o Itajaí Mirim

Q_0 : vazão do Rio Itajaí quando Q_1 flui para o Rio Itajaí Mirim

WL_0 : nível da água na extremidade à jusante do Rio Itajaí Mirim quando Q_0 flui para o Rio Itajaí

ii) Relação entre WL_0 e Q_0 é dada pela seguinte equação, estimada pelo cálculo do fluxo não uniforme, quando o nível da água do mar está em alta (=1,49 m).

$$WL_0 = 0,0000000434 Q_0^2 + 0,0001505921 Q_0 + 1,3959645420$$

iii) Relação entre Q_1 e Q_0 é definida como a relação da vazão de pico provável em cada rio.

$$Q_1 = 0,00002 Q_0^2 + 0,106 Q_0 + 39,4$$

iv) Condição limite quando a vazão do Itajaí Mirim é Q_1 poderá ser calculada a partir de ii) e iii).

b) Coeficientes de atrito do Rio Itajaí, do Canal e do Mirim Velho são estimados como sendo 0,030, 0,032 e 0,040 (ver tabela xxx)

c) A seção inicial do canal do cálculo do fluxo não uniforme é a extremidade à jusante do Rio Itajaí Mirim, segundo a vazão dada para o cálculo do nível de água. Então, a vazão dada é tentativamente dividida em duas vazões. Esta taxa de distribuição tentativa é finalizada através de vários cálculos experimentais para obter o mesmo nível de água na bifurcação à montante do Rio Itajaí Mirim. A distribuição da vazão é resumida na Tabela 9.2.2.

Tabela 9.2.2 – Distribuição da Vazão entre o Canal e o Mirim Velho

Vazão do Itajaí Mirim	Vazão do Canal (2)	Vazão do Mirim Velho (3)	Taxa de distribuição para o Canal (2)/(1)
100 m ³ /s	75 m ³ /s	25 m ³ /s	0,75
200 m ³ /s	148 m ³ /s	52 m ³ /s	0,74
300 m ³ /s	216 m ³ /s	84 m ³ /s	0,72
400 m ³ /s	276 m ³ /s	124 m ³ /s	0,69
500 m ³ /s	325 m ³ /s	175 m ³ /s	0,65
600 m ³ /s	378 m ³ /s	222 m ³ /s	0,63
700 m ³ /s	441 m ³ /s	259 m ³ /s	0,63
800 m ³ /s	504 m ³ /s	296 m ³ /s	0,63

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

2) Resultados do Cálculo de Fluxo Não Uniforme

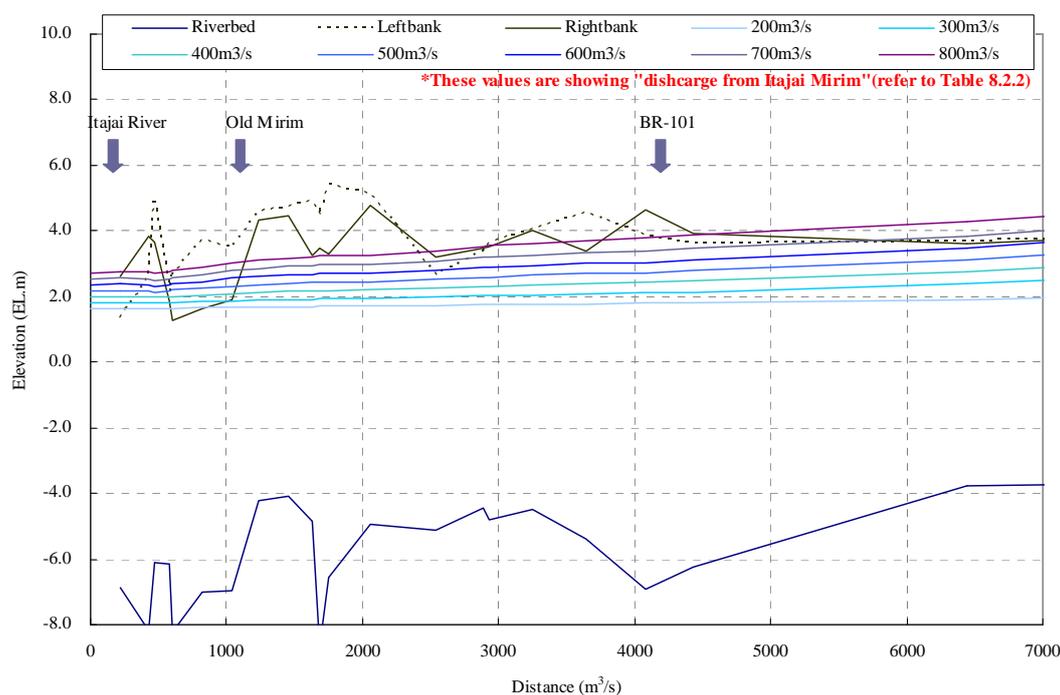
Os resultados do cálculo do fluxo não uniforme estão resumidos a seguir.

a) Canal

- A capacidade de fluxo na margem direita do trecho à jusante (de km 0,6 a 1,0) é extremamente baixa. Portanto, considera-se que pode ocorrer inundação, mesmo quando a vazão for inferior a

200 m³/s. A capacidade de fluxo deste trecho é inferior à vazão da enchente com 5 anos de tempo de retorno (ver Figura 9.2.6).

- A elevação das margens do rio no trecho próximo ao km 2,5 também é baixa (cerca de 3,0 m). A capacidade de fluxo deste trecho foi estimada em aproximadamente 600 m³/s no Itajaí Mirim (378 m³/s no Canal, ver Tabela 9.2.2). Isto é equivalente à vazão de enchentes com 20 a 25 anos de tempo de retorno (veja Figura 9.2.6).
- O trecho à montante da BR-101 ao longo do Canal também tem uma margem baixa, e a capacidade de fluxo deste trecho é de aproximadamente 500 a 600m³/s (325 a 378m³/s no Canal) que é equivalente a enchentes de 15 a 20 anos de tempo de retorno.
- Outro trecho (vide Figura 9.2.4) tem capacidade de fluxo superior a 800m³/s (504m³/s no Canal). A capacidade de fluxo neste trecho é superior a de enchente de 50 anos de tempo de retorno.

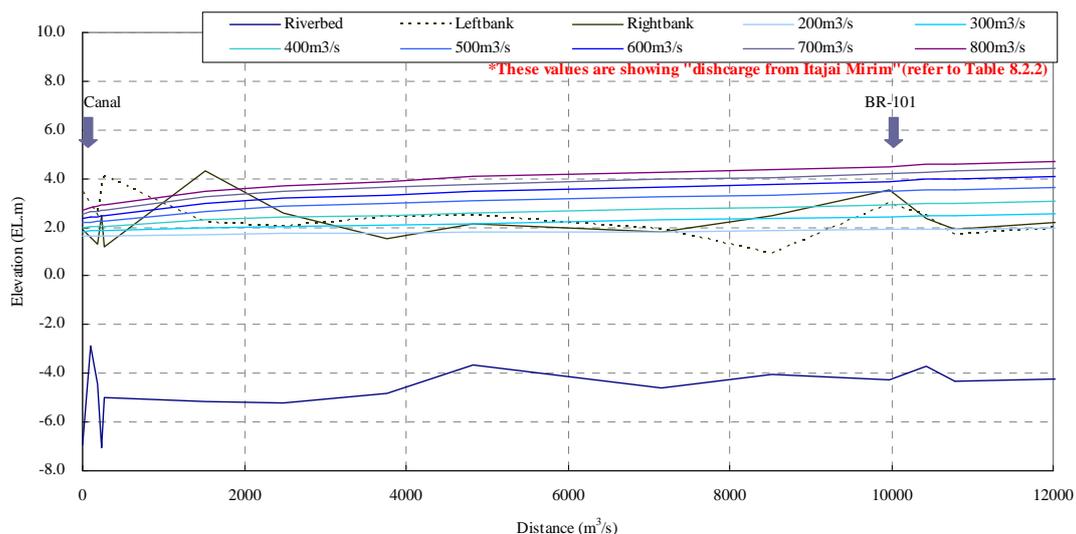


Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.4 – Nível de Água por Vazão no Canal

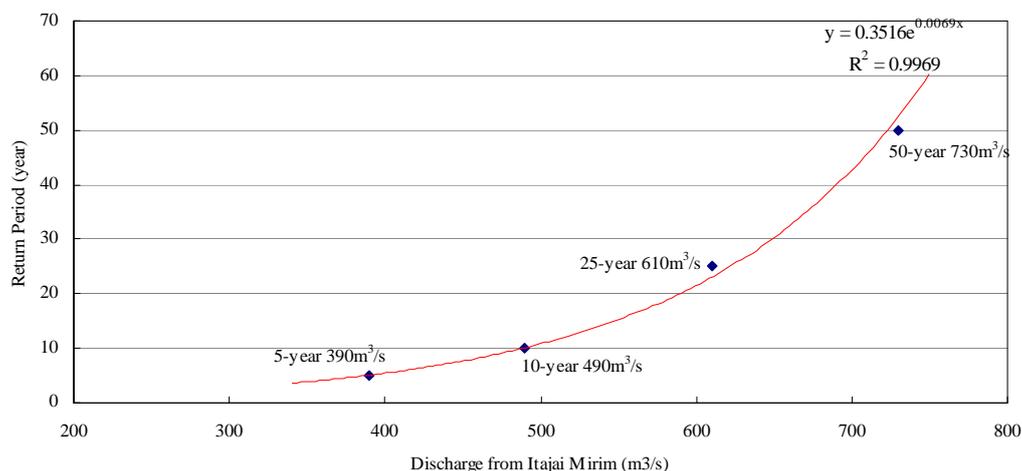
b) Mirim Velho

- A elevação da margem é extremamente baixa, exceto no trecho da margem direita próximo ao km 2,5.
- A capacidade de fluxo varia de 200 a 400m³/s no Rio Itajaí Mirim (52 a 124m³/s no Mirim Velho), que se estima seja inferior a uma enchente de 5 anos de tempo de retorno.
- As elevações nos trechos entre 0 e 300m na margem direita, e perto do km 8,5 na margem esquerda, são extremamente baixas. De acordo com a Defesa Civil da cidade de Itajaí, esta área fica inundada mesmo apenas com a maré de primavera ou com pequenas enchentes.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.5 – Nível de Água por Vazão no Mirim Velho



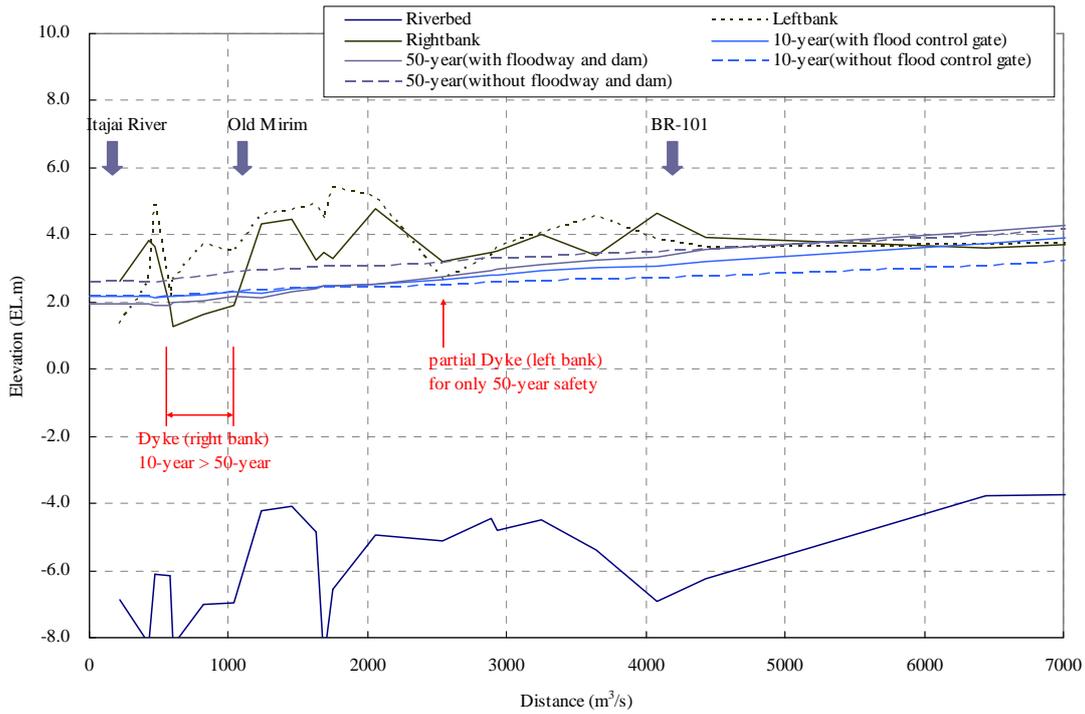
Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.6 – Relação entre o Período de Retorno e a Vazão no Itajaí Mirim

(2) Nível de Água por Enchente Provável

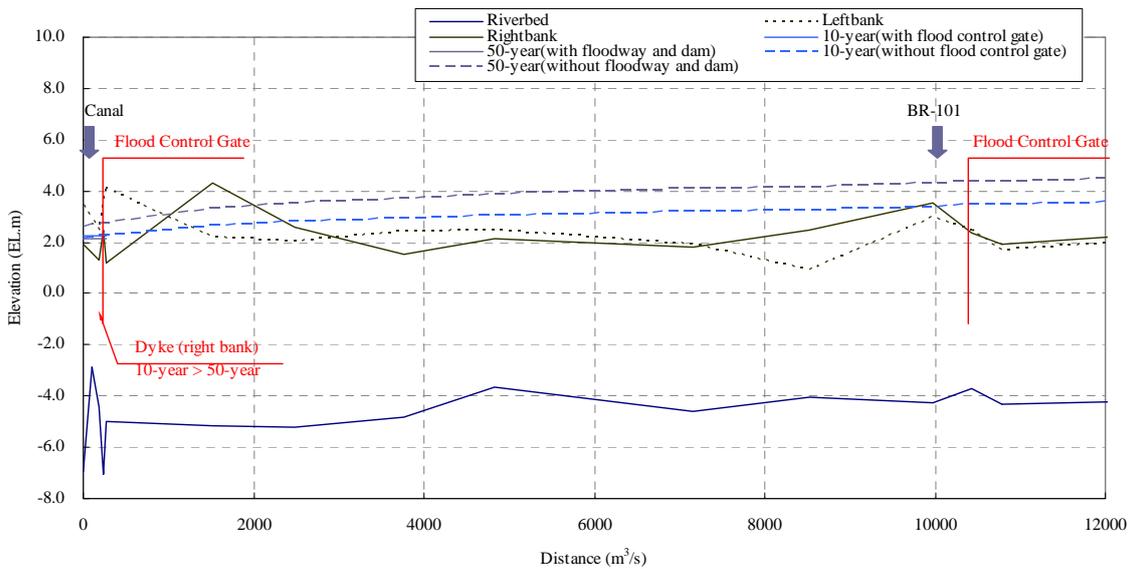
As Figuras 9.2.7 e 9.2.8 apresentam a variação do nível da água no Itajaí Mirim devido a enchentes com período de tempo de retorno de 10 e 50 anos.

- No trecho a cerca de 500m da confluência do Rio Itajaí, a altura da margem direita é inferior ao nível de água das enchentes de 10 e 50 anos de tempo de retorno.
- Na margem esquerda do trecho próximo ao km 2,5 no Canal, o nível de água é inferior ao da enchente com 50 anos de tempo de retorno.
- O trecho à jusante da “comporta à jusante” ao longo do Mirim Velho também precisa de um dique na margem direita, e a elevação deste dique também será decidida de acordo com a enchente de 10 anos de tempo de retorno.
- As margens ao longo do Mirim Velho também são inferiores ao nível de água das enchentes de 10 e 50 anos de tempo de retorno, exceto no trecho entre 0 e km 2.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.7 – Níveis de Água das Enchentes de 10 e 50 anos de retorno no Canal



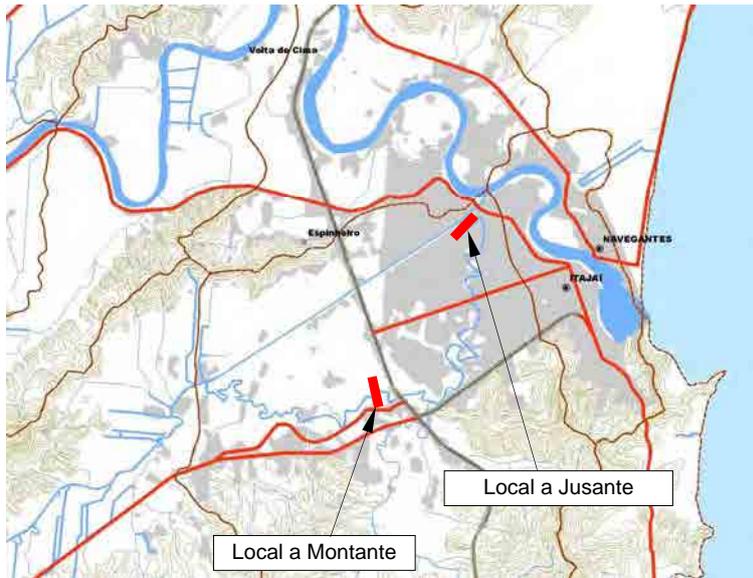
Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.2.8 – Níveis de Água das Enchentes de 10 e 50 anos de retorno no Mirim Velho

9.3 Função e Operação das Comportas

9.3.1 Função das Comportas

As comportas serão instaladas em dois locais no Mirim Velho, como mostrado na Figura 9.3.1 a seguir. As comportas à montante e à jusante são chamadas respectivamente de “comporta à jusante” e “comporta à montante” neste relatório.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.1 – Localização das Comportas no Mirim Velho

Como mencionado nas Seções 9.1 e 9.2 a área ribeirinha do Mirim Velho tem elevação inferior à do Canal, sofrendo frequentes cheias e inundações.

A Secretaria de Obras da Prefeitura de Itajaí tem melhorado o atual sistema de esgotos. A comporta à montante evitaria que a enchente do Rio Itajaí Mirim entrasse na área urbana. E a comporta à jusante evitaria a intrusão das águas provenientes do Rio Itajaí.

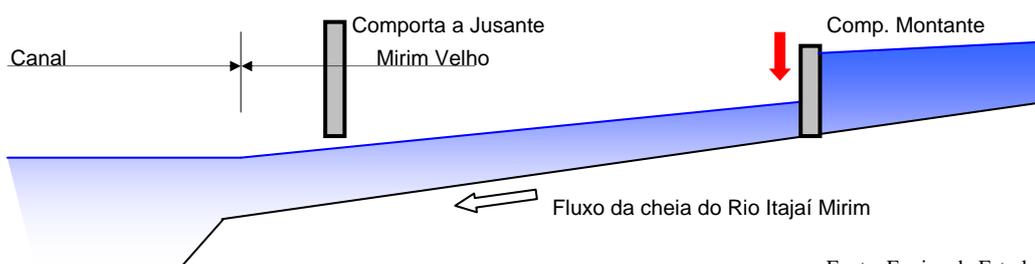
9.3.2 Operação das Comportas

Esta seção explica os procedimentos de operação das comportas. Alguns termos técnicos utilizados nesta seção são definidos a seguir.

- Nível de contracorrente: Nível de água na extremidade à jusante do Mirim Velho durante enchentes do Rio Itajaí.
- Nível de água interior: Nível de água do Mirim Velho quando a comporta à jusante estiver fechada.
- Nível de inundação interior permitido: Nível de água interior máximo permitido na área ribeirinha ao longo do Mirim Velho quando ocorre a enchente de projeto.
- Nível de água crítico: Nível da contracorrente no momento quando a comporta à jusante deve ser fechada.

(1) Procedimentos Básicos da Operação

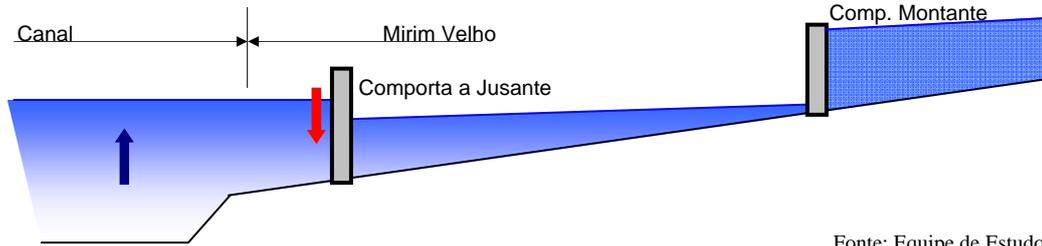
A comporta à montante deve ser fechada quando a vazão de enchente exceder a capacidade de fluxo do Mirim Velho como ilustrado na Figura 9.3.2.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.2 – Operação das Comportas (1/3)

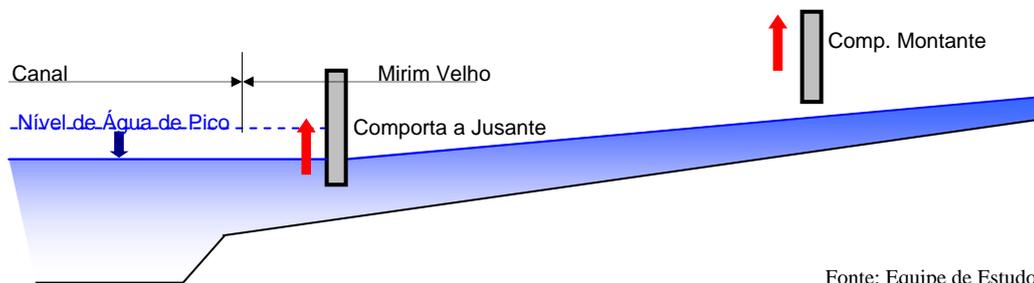
2) Quando o nível da contracorrente do Rio Itajaí alcançar o nível de água crítico, a comporta à jusante deve ser fechada.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.2 – Operação das Comportas (2/3)

3) Quando o nível da contracorrente abaixar e se tornar equivalente ao nível de água interior do Mirim Velho, a comporta à jusante deve ser aberta. Quando a comporta à montante é aberta, a vazão liberada da comporta deve ser inferior à capacidade de fluxo do Mirim Velho.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.2 – Operação das Comportas (3/3)

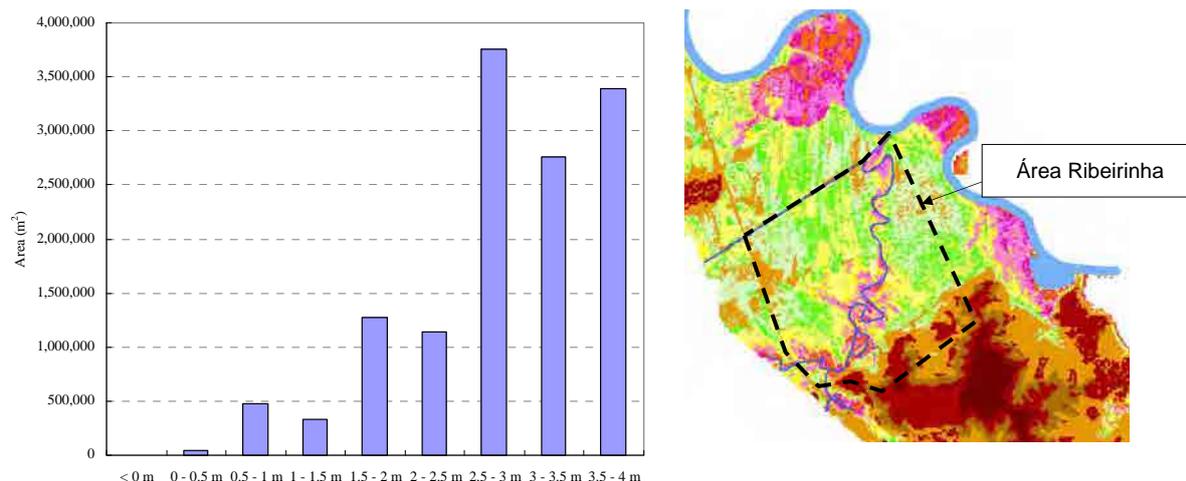
O nível de água do Mirim Velho não deve ser superior ao nível do Canal quando a comporta à jusante estiver fechada. Como erros na operação das comportas podem causar inundações causadas pelo homem, as regras de operação das comportas devem ser elaboradas com cuidado.

(2) Nível de Inundação Interior Permitido na Área Ribeirinha ao longo do Mirim Velho

Quando ambas as comportas à jusante e à montante estiverem fechadas o nível de água interior do Mirim Velho pode subir por causa do influxo da área de drenagem interior. Portanto, o nível de inundação interior permitido deve ser definido para refletir a operação das comportas durante enchentes.

A maior parte da área ribeirinha ao longo do Mirim Velho tem elevação superior a 1,5m, e a maioria da área residencial está localizada em áreas baixas inferiores a 1,5m.

O nível de água para enchentes com 10 anos de retorno na área ribeirinha ao longo do Mirim Velho é de aproximadamente 2 a 3m, como indicado na Figura 9.2.8. Como a área residencial mais baixa tem elevação aproximada de 1,5 a 2,5m, a profundidade de inundação é estimada como sendo entre 0,5 a 1,5 m na área mais baixa. Esta profundidade poderá atrapalhar as atividades de evacuação e ocasionar danos nas propriedades.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

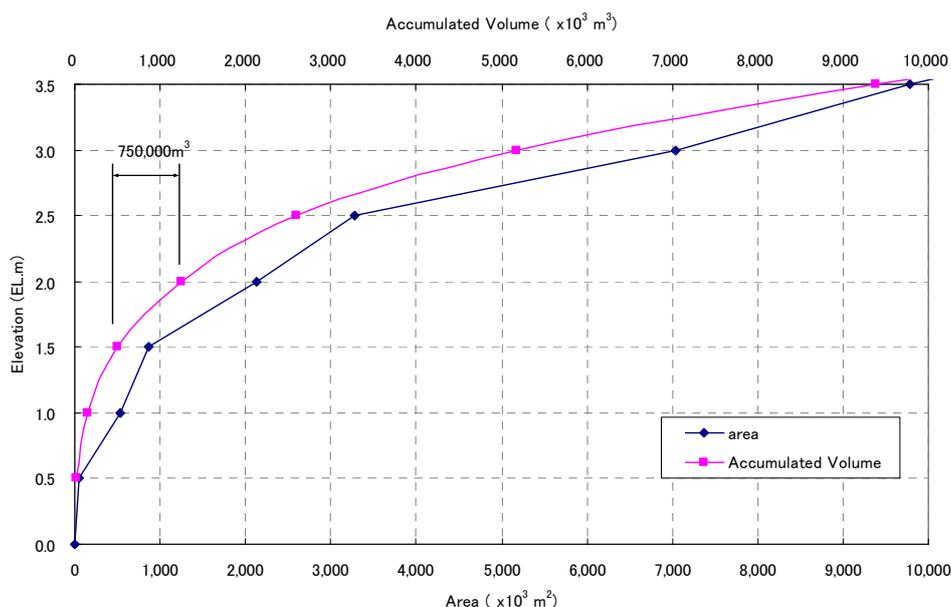
Figura 9.3.3 – Áreas por Elevação na Área Ribeirinha ao longo do Mirim Velho

É difícil reduzir a profundidade de inundação completamente até zero, mas é possível mitigar até uma profundidade menor. O nível de inundação interior permitido é o nível de água de projeto para o estudo das especificações e operação das instalações de mitigação de enchentes, e este nível de inundação não pode ser um nível que cause grandes danos às propriedades e às vidas humanas.

Neste estudo, o nível de inundação interior permitido é definido como sendo 2,0m (a profundidade de inundação é 0,5m na área mais baixa), porque esta profundidade é quase equivalente a altura dos joelhos e não deve causar danos significativos e atrapalhar significativamente a evacuação.

(3) Volume de Armazenamento Interior na Área Ribeirinha do Mirim Velho

Como mostrado na Figura 9.3.4, o volume de armazenamento interior nas elevações entre 1,5m e 2,0m, por exemplo, na área ribeirinha ao longo do Mirim Velho é de 750.000 m³. Isto indica que o volume de influxo permitido da água interior vai até 750.000 m³, se a comporta à jusante for fechada quando o nível da contracorrente do Rio Itajaí atingir 1,5m.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.4 – Curvas H-A e H-V da Área Ribeirinha ao longo do Mirim Velho

Mas, na realidade, o volume total da água interior que flui no Mirim Velho é muito maior que o volume permitido (que é inferior a 750.000 m³ como mostrado na Figura 9.3.4) mesmo se a comporta à jusante for fechada a qualquer momento. Por exemplo, após o fechamento da comporta à jusante, quando o nível da contracorrente for de 1,5m, o volume de influxo total da água interior no Mirim Velho durante a enchente alcançaria 6.000.000 m³ (Ver Figura 9.3.5).

A maior parte da água interior vem do Rio Canhanduba (A.C.=89km²) e a vazão do Rio Canhanduba é inferior a 10m³/s (ver Figura 9.3.8). Mas a duração da enchente do Rio Itajaí é tão longa que a comporta à jusante também precisa ficar fechada por um longo tempo. Isto indica que a água interior deve ter a drenagem forçada por outras medidas.

(4) Operação das Comportas para Enchente com 10 anos de retorno.

1) Necessidade de Informações Hidrológicas para a Operação

As comportas são operadas de acordo com a variação do nível de água no Mirim Velho. A comporta à montante deve ser fechada quando a vazão do Itajaí Mirim alcançar a capacidade de fluxo do Mirim Velho, e com relação a isto, a operação necessita de informações sobre o nível de água do Mirim Velho na área urbana (na área à jusante da BR-101). Por outro lado, a comporta à jusante deve ser fechada quando o nível da contracorrente na extremidade à jusante do Mirim Velho alcançar o nível de água crítico. Portanto, a operação da comporta à jusante também requer informação sobre o nível de água na extremidade à jusante do Mirim Velho.

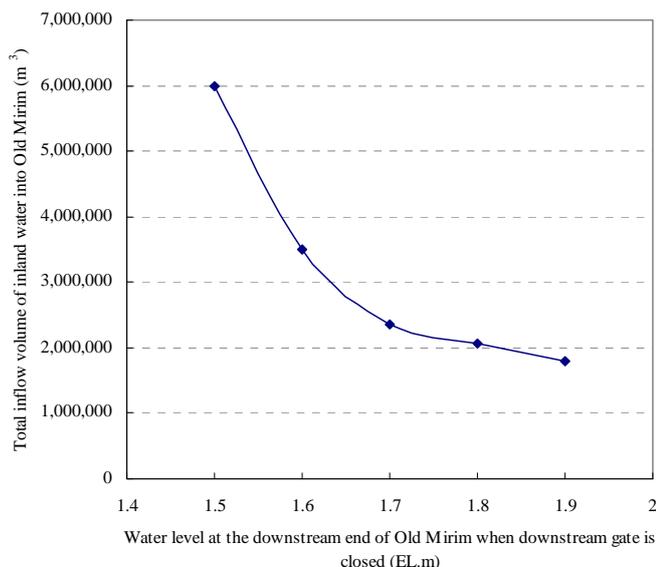
A Defesa Civil da prefeitura de Itajaí já instalou 9 medidores de nível de água e precipitação até fevereiro de 2011. A Tabela 9.3.1 mostra a localização dos medidores. O mapa de localização é mostrado na Figura 9.3.6.

Os Medidores “DO-06” e “DO-04” serão utilizados para a operação de ambas as comportas.

Tabela 9.3.1 – Localização dos Medidores de Nível de Água e Precipitação Instalados no Município de Itajaí

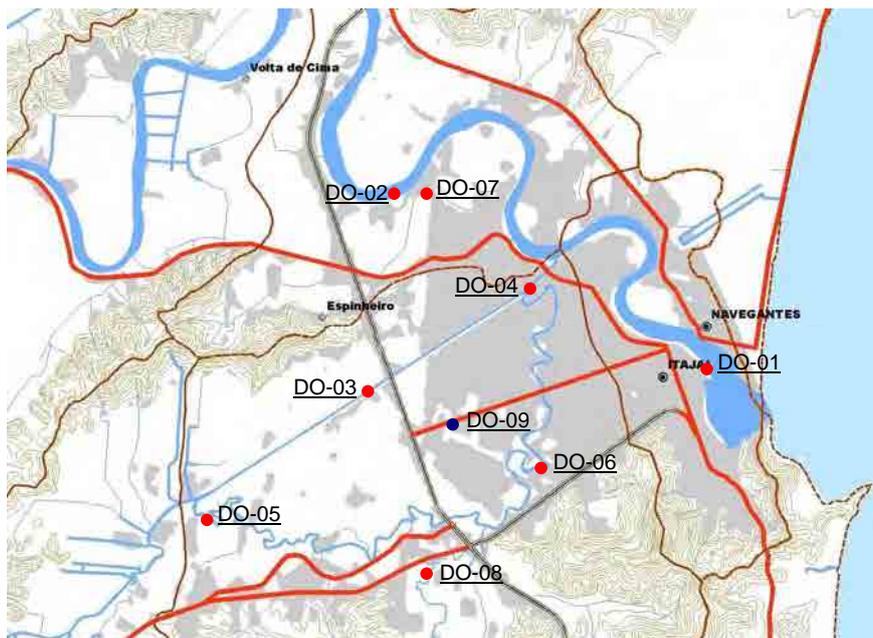
Localização N°	Localização	Observações
DO-01	Na foz do Rio Itajaí	
DO-02	No Rio Itajaí, à montante da área urbana da cidade de Itajaí	
DO-03	No Canal, à montante da área urbana da cidade de Itajaí	
DO-04	Confluência do Canal com o Mirim Velho	A ser usado para a operação da comporta à jusante
DO-05	Trecho à montante do Mirim Velho	
DO-06	No Mirim Velho, área urbana na cidade de Itajaí	A ser usado para a operação da comporta à montante
DO-07	No Ribeirão Murta	
DO-08	No Rio Canhanduba	
DO-09	Escritório da Defesa Civil, município de Itajaí	Apenas medidor de precipitação

Fonte: Equipe de Estudo da JICA



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.5 - Volume Total da Água Interior no Mirim Velho

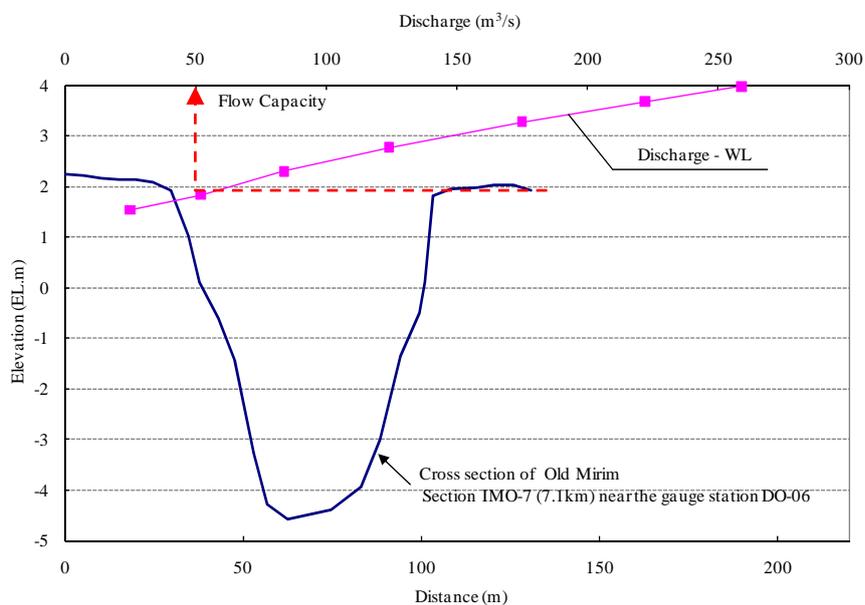


Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.6 – Localização dos Medidores de Nível de Água e Precipitação Instalados no Município de Itajaí

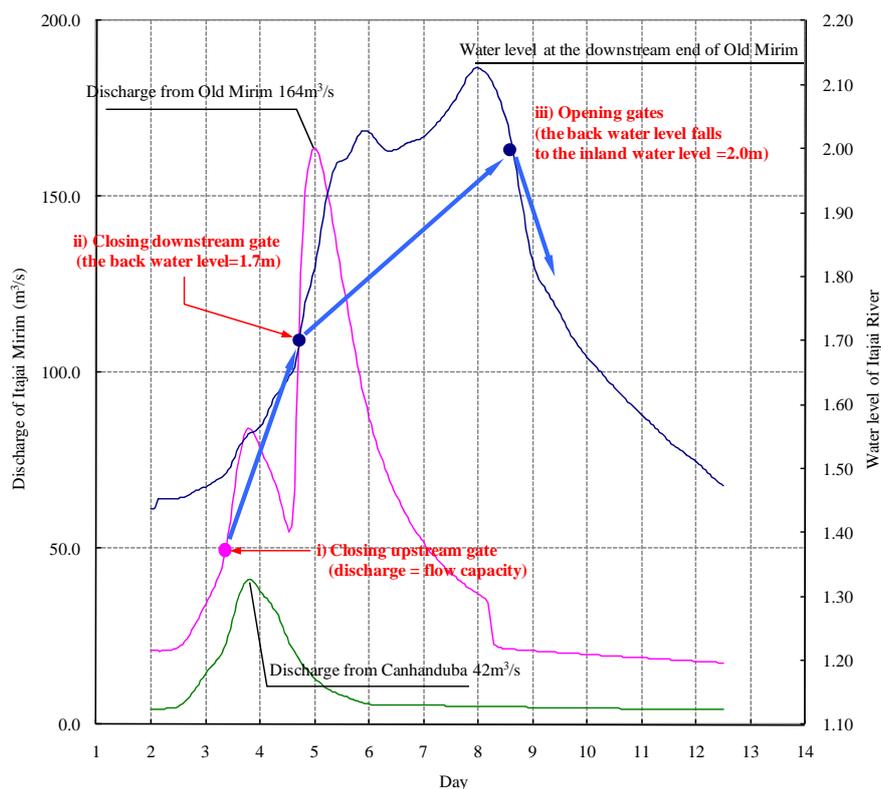
2) Nível de Água da Operação das Comportas

i) Quando a vazão de enchente no Mirim Velho alcançar a capacidade de vazão do Mirim Velho, a comporta à montante deve ser fechada como mostrado na Figura 9.3.8. A capacidade de vazão é equivalente ao nível de água de 2,0m no medidor DO-06, como mostrado na Figura 9.3.7.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.7 – Relação do Nível de Água e Vazão no Medidor DO-06



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.8 - Operação das Comportas para Enchente com 10 anos de retorno

ii) Quando o nível da contracorrente do Rio Itajaí (na confluência com o Mirim Velho) alcançar 1,7m, a comporta à jusante deverá ser fechada (ver Figura 9.3.8).

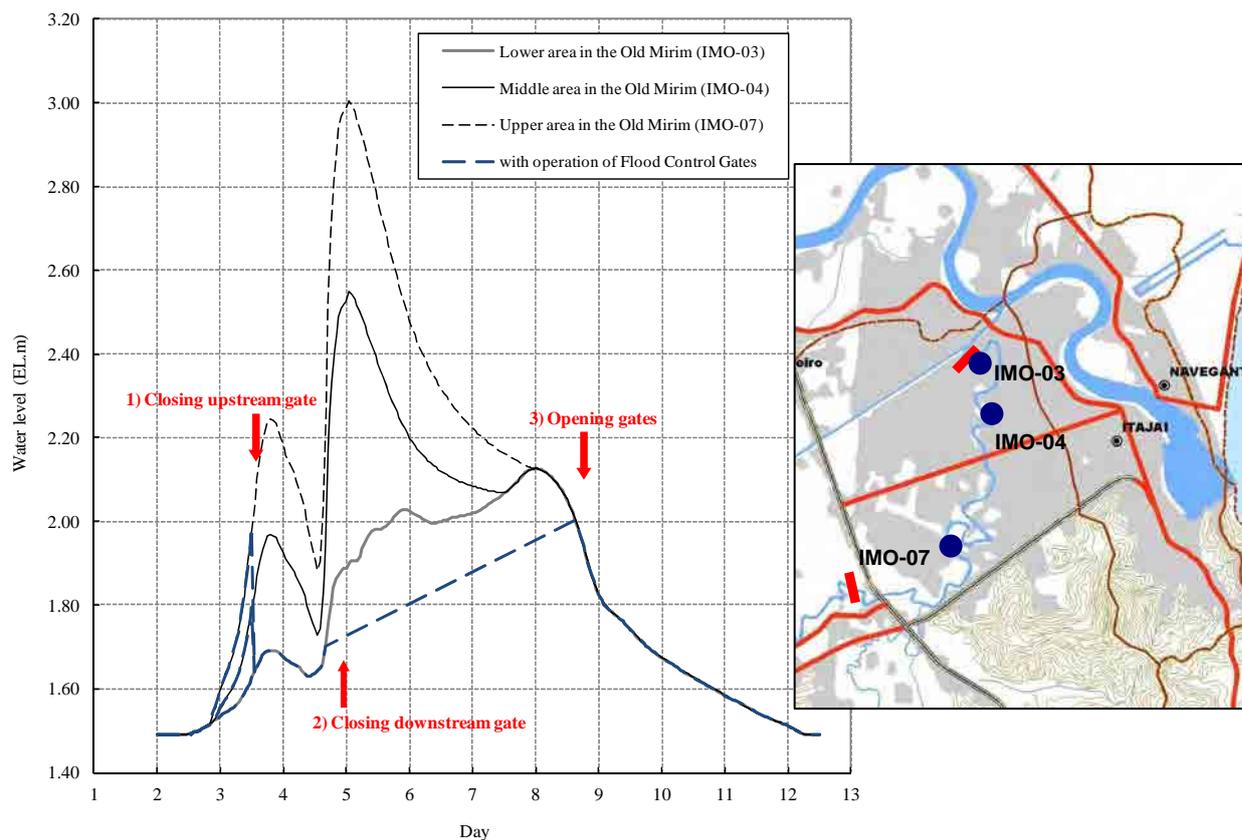
iii) Quando o nível da contracorrente abaixar e se igualar ao nível da água interior do Mirim Velho (deve ser de 2,0m o nível de inundação interior permitido para a enchente de projeto), após o pico do nível de contracorrente do Rio Itajaí, ambas as comportas à jusante e à montante devem ser abertas nesta ordem (ver Figura 9.3.8).

Deve-se observar que a água interior do Rio Canhanduba deve ser drenada por outra medida de prevenção e a vazão de drenagem deve ser de cerca de $7,0\text{m}^3/\text{s}$ para manter o nível da água interior em 2,0m.

9.3.3 Efetividade das Comportas para enchente de 10 anos de retorno

A efetividade das comportas para enchente de 10 anos de retorno é indicada na Figura 9.3.9. Os níveis de água interior máximos em IMO-03, IMO-04 e IMO-07 sem as comportas são de aproximadamente 2,1m, 2,5m e 3,0m (as localizações são mostradas na Figura 9.2.1). E o nível de água interior máximo com a operação das comportas é de 2,0m.

Isto implica que a redução do nível de água interior máximo é de 0,1m em IMO-03, 0,5 m em IMO-04 e 1,0m em IMO-07. Além disso, as comportas também poderão reduzir a duração do nível de água interior máximo.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

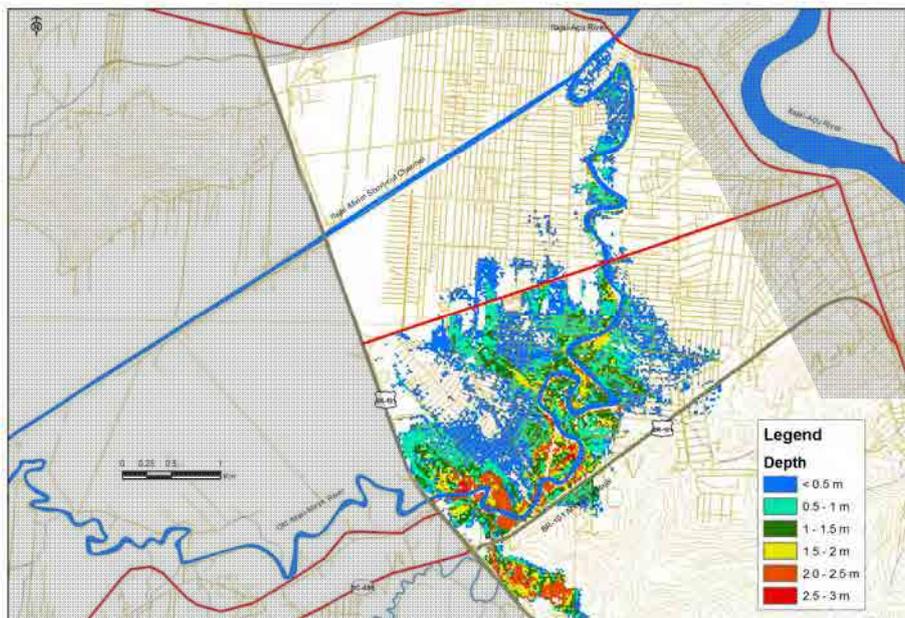
Figura 9.3.9 – Efetividade da Operação das Comportas para Enchente com 10 anos de retorno

A área e a profundidade de inundação na área à jusante da BR-101 ao longo do Mirim Velho com e sem as comportas são ilustradas nas Figuras 9.3.10 e 9.3.11. A efetividade das comportas é avaliada através da comparação da situação com e sem as comportas como resumido na Tabela 9.3.2.

Tabela 9.3.2 – Área de Inundação Estimada ao longo do Mirim Velho Inferior

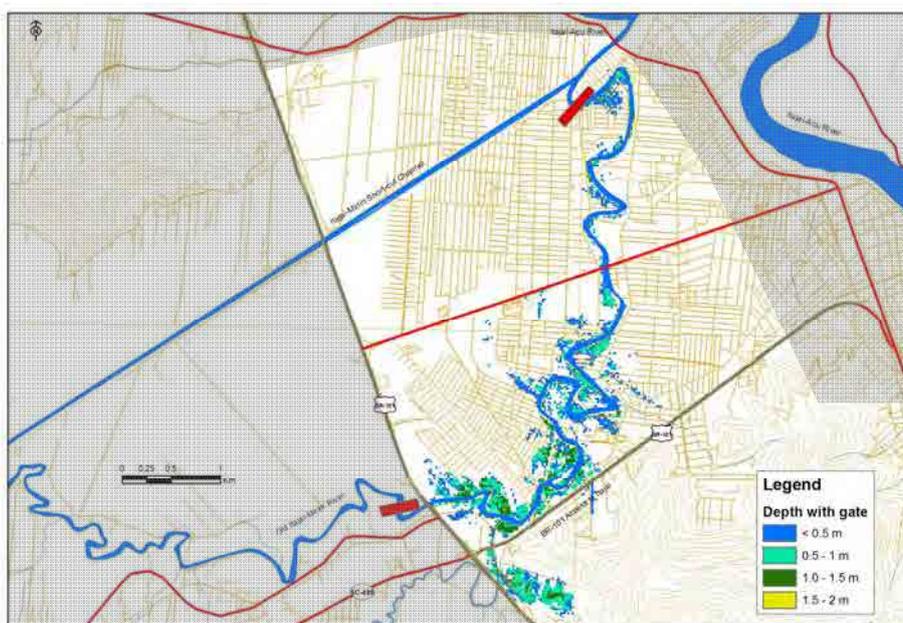
Profundidade de inundação (m)	Área (m ²)		Efetividade (m ²)
	Sem controle da comporta	Com controle da comporta	
< 0,5	2.216.400	564.400	1.652.000
0,5 – 1,0	1.299.600	310.000	989.600
1,0 – 1,5	848.800	459.600	389.200
1,5 – 2,0	431.600	21.600	410.000
2,0 – 2,5	441.200	400	440.800
2,5 – 3,0	40.000	0	40.000

Fonte: Equipe de Estudo da JICA



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.10 – Área de Inundação Estimada ao longo do Mirim Velho Inferior sem as Comportas



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.11 – Área de Inundação Estimada ao longo do Mirim Velho Inferior com as Comportas

A Tabela 9.3.3 e a Figura 9.3.16 mostram as áreas inundadas ao longo do Velho Mirim para as vazões com as recorrências indicadas e sem considerar as comportas.

Tabela 9.3.3 Área de Inundação Estimada ao longo do Mirim Velho para as Vazões com as Recorrências Indicadas

Inundation depth (m)	5-year (m ²)	10-year (m ²)	25-year (m ²)	50-year (m ²)
<0.5m	1,353,600	2,216,400	2,524,000	2,906,400
0.5-1m	845,200	1,299,600	2,070,400	2,641,200
1-1.5m	395,200	848,800	1,318,800	2,140,400
1.5-2m	477,600	431,600	865,600	1,367,200
2-2.5m	20,400	441,200	474,800	888,800
2.5-3m	1,200	40,000	392,000	449,600
3-3.5m	-	-	98,800	424,400
3.5-4m	-	-	-	72,400
Total	3,093,200	5,277,600	7,744,400	10,890,400

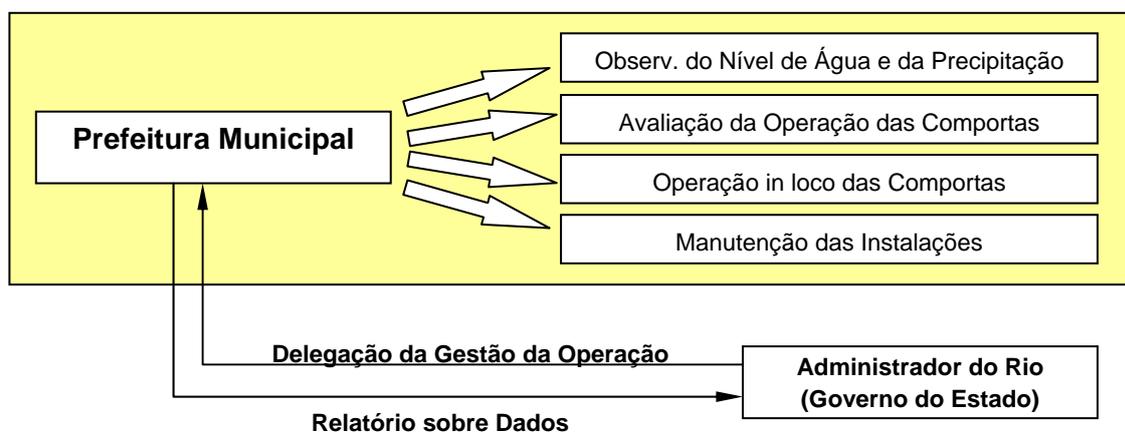
Equipe de Estudo da JICA

Observação: a área de inundação da cheia de 50 anos de recorrência não considera o canal extravasor projetado no rio Itajaí

9.3.4 Recomendações para a Organização da Operação

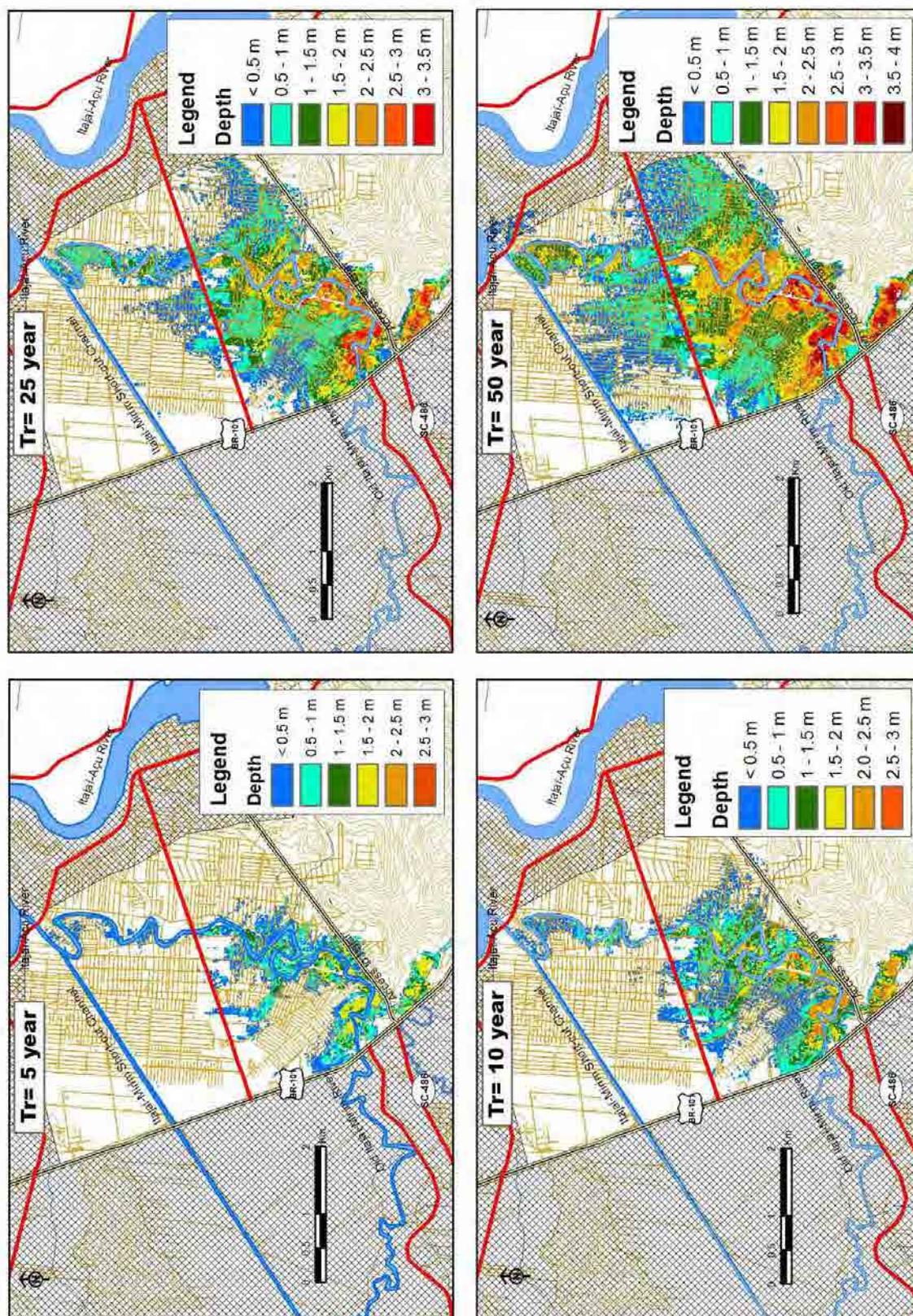
A operação das comportas requer informações hidrológicas apenas próximo à cidade de Itajaí, e a operação das mesmas afeta apenas a cidade de Itajaí. A operação deve ser realizada pela prefeitura municipal de Itajaí.

O departamento de administração das cheias do Governo do Estado deve ser responsável pela implementação do projeto (construção das comportas), pelo estudo e instrução do método de operação das comportas, supervisão da operação real pela cidade de Itajaí no momento da cheia, preparando o plano de manutenção e obtendo o orçamento para a manutenção.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.12 – Recomendações para a Organização da Operação



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.3.13 Estimativa da Área inundada ao longo do Mirim Velho para as Descargas com as Recorrências Consideradas

9.4 Condições de Projeto das Instalações Relacionadas

9.4.1 Comportas

Foram planejadas comportas em dois locais como mostrado na Figura 9.3.1.

(1) Comporta à Jusante

Para a comporta à jusante o nível de água interior deve ser inferior ao nível da contracorrente. Portanto, a altura da comporta deve ser determinada a partir do nível da contracorrente.

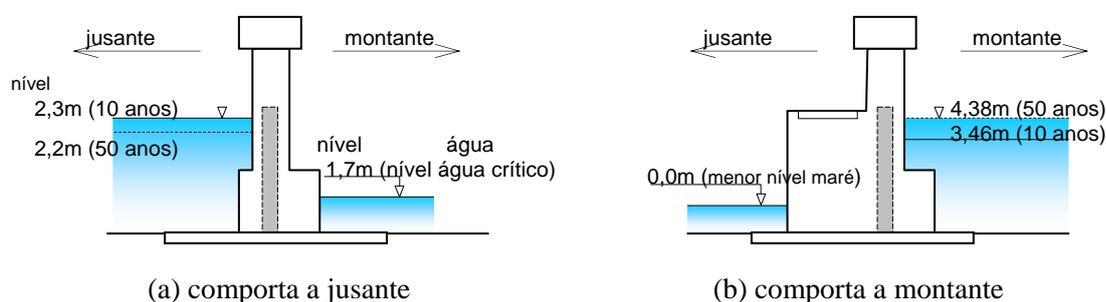
O nível de contracorrente máximo é de 2,3m para a enchente de 10 anos de recorrência. O nível de água da enchente de 50 anos é inferior a 2,3m por causa da efetividade do leito de inundação no Rio Itajaí. O nível de água interior mínimo quando a comporta estiver fechada é 1,7m (ver Figura 9.4.1). Isto será usado como nível de água de projeto da comporta à jusante.

(2) Comporta à Montante

Para a comporta à montante, o nível de água à montante é sempre superior ao nível à jusante. Portanto, a altura da comporta é determinada a partir do nível de água à montante.

Como mostrado na Figura 9.2.8 os níveis de água na comporta à montante sem as comportas são de 3,46m na enchente de 10 anos e 4,38m na enchente de 50 anos. Estes devem ser utilizados como níveis de água de projeto para a comporta à montante.

Na implementação escalonada, embora seja projetada uma estrutura de concreto para a enchente de 50 anos, será instalada uma folha de comporta para enchente de 10 anos na primeira fase.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.4.1 – Nível de Água de Projeto para as Comportas

Os detalhes das condições de projeto são discutidos em separado no Relatório de Apoio F – Projeto Estrutural e Estimativa de Custo.

9.4.2 Dique

Como mencionado na sub-seção 9.2.2 (2) um trecho ao longo da margem direita do Canal não tem suficiente capacidade de fluxo para a enchente de 10 anos de tempo de retorno. Portanto, deve ser construído um dique para evitar o transbordamento neste trecho. A altura do dique será determinada de acordo com o nível de água da enchente de 10 anos. O nível de água da enchente de 50 anos é inferior ao da de 10 anos por causa do canal extravasor (que deverá ser implantado na fase final da execução das medidas propostas no Plano Diretor para a cheia de 50 anos de tempo de recorrência).

9.4.3 Instalações de Drenagem

(1) Canal de Drenagem Conectando o Rio Canhanduba ao Mirim Velho

Como descrito na sub-seção 9.3.2 (3), a água interior deve ser drenada para manter o nível da água interior em 2,0m de altura. A maior parte da água interior vem do Rio Canhanduba. Medidas concebíveis para atender ao requisito acima são apresentadas a seguir.

1) Estação elevatória do Mirim Velho para o Rio Itajaí

Nesta medida, a água interior é diretamente drenada para o Rio Itajaí vinda do Mirim Velho através da estação elevatória a ser instalada próximo à confluência do Itajaí Mirim com o Rio Itajaí.

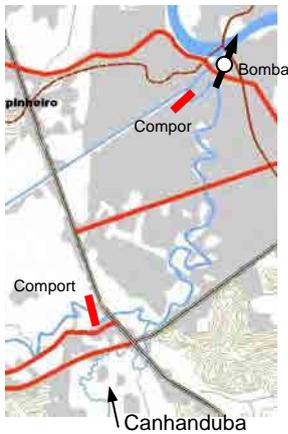
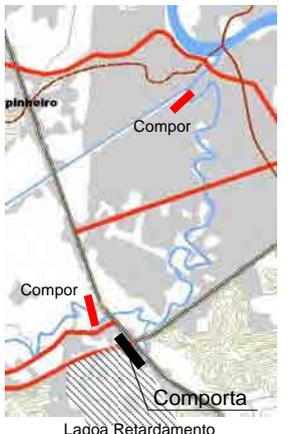
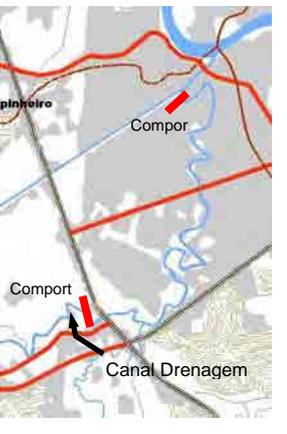
2) Comporta ao longo do Rio Canhanduba

Outra comporta será instalada adicionalmente no Rio Canhanduba à montante da BR-101. Esta comporta evitará que a enchente do Rio Canhanduba flua para o Mirim Velho, tendo a função de lagoa de retardamento.

3) Canal de desvio do Rio Canhanduba para a montante do Mirim Velho

Um canal de desvio será construído para conectar o Rio Canhanduba ao Mirim Velho no trecho à montante da BR-101 para evitar que a enchente do Rio Canhanduba flua em direção à área interior ao longo do Mirim Velho.

Tabela 9.4.1 – Comparação das Instalações de Drenagem para a Água Interior do Rio Canhanduba

Alternativas	Estação Elevatória do Mirim Velho para o Rio Itajaí	Comporta e Lagoa de Retardamento	Canal de Drenagem do Canhanduba para o Mirim Velho
Localização da Instalação			
Custo	Muito caro	Comparativamente caro	Barato
Impacto	Sem impacto	A lagoa de retardamento afeta a área agrícola à montante ao longo do Rio Canhanduba.	Sem impacto
Avaliação	-	-	boa

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

As características gerais deste canal de drenagem são as seguintes.

- A extensão deste canal é de aproximadamente 1 km, sendo quase totalmente escavado, exceto o trecho em galeria no ponto de cruzamento com as rodovias.
- A vazão de projeto do canal é $7\text{m}^3/\text{s}$ para manter o nível de inundação interior permitido ($\approx 2,0\text{m}$) para a enchente de 10 anos.

Entretanto, como a instalação de drenagem acima mencionada está planejada contra a cheia de 10 anos, o nível da água interior pode se elevar mais do que o nível de inundação interior permitido no caso de cheias maiores do que a de 10 anos. Quando o nível da água interior for maior que o nível da contra-

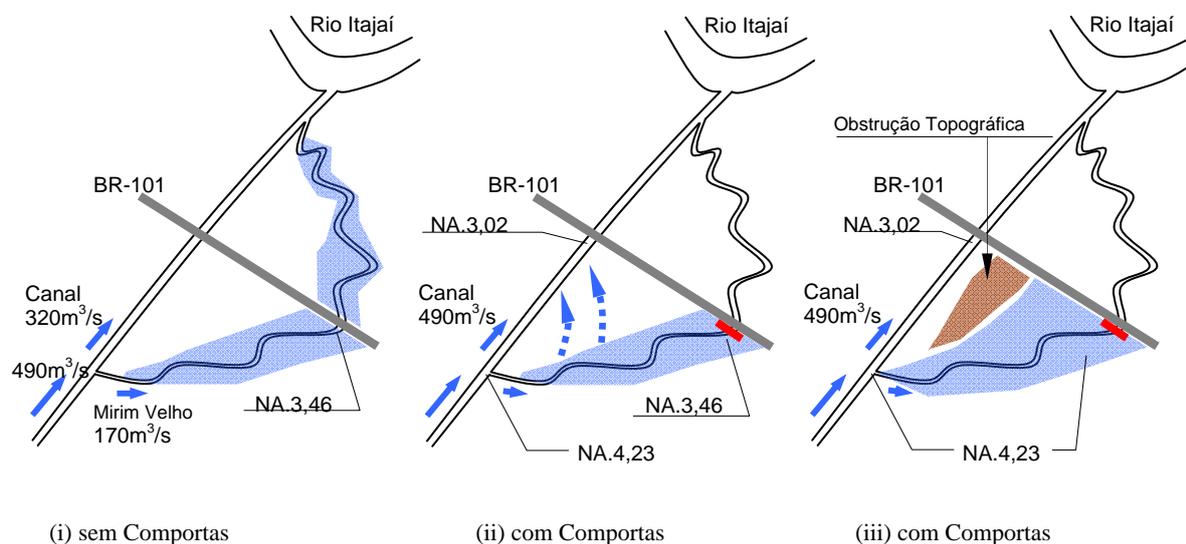
corrente, a comporta à jusante deve ser aberta para evitar a inundação causada pelo homem. Pode ser necessário instalar algumas bombas para que as comportas trabalhem efetivamente contra as grandes cheias.

(2) Necessidade de Canal de Drenagem Conectando o Mirim Velho ao Canal

A elevação da água à montante da BR-101 ao longo do Canal é estimada como sendo inferior a do Mirim Velho pelo cálculo do fluxo não uniforme como mostrado nas Figuras 9.2.7 e 9.2.8. A água de enchente que transborda do Mirim Velho deverá fluir naturalmente para o Canal durante o fechamento da comporta à montante. Portanto, a área à montante do Mirim Velho poderá não ser afetada negativamente pelo fechamento da comporta à montante como ilustrado na Figura 9.4.2 (ii).

Mas se houver algum tipo de obstrução topográfica, como uma pequena elevação entre o Mirim Velho e o Canal como ilustrado na Figura 9.4.2 (iii), o nível de inundação na área à montante ao longo do Mirim Velho deverá se elevar por causa da retenção.

Recomenda-se que o impacto no nível de inundação na área à montante da BR-101 seja estudado através de análise de inundação bidimensional, após a conclusão do levantamento aerofotogramétrico que está sendo realizado pelo governo estadual.



Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Figura 9.4.2 – Necessidade de drenagem na área à montante da BR-101

Anexo
(C) *Condição Natural e*
Plano de Gestão de
Deslizamentos de Terra

ESTUDO PREPARATÓRIO
PARA O
PROJETO DE PREVENÇÃO E
MITIGAÇÃO
DE DESASTRES NA BACIA DO RIO ITAJAÍ

RELATÓRIO FINAL

VOLUME III : ANEXOS
ANEXO C: Condição Natural e Plano de Gestão de
Escorregamentos

Índice

	<u>Page</u>
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	C-1
1.1 Abrangência	C-1
1.2 Conteúdo	C-1
1.2 Conteúdo	C-1
1.2.1 Geral.....	C-1
1.2.2 Introdução	C-1
1.2.3 Plano Mestre	C-1
1.2.4 Estudo de Viabilidade.....	C-1
CAPÍTULO 2 TOPOGRAFIA, GEOLOGIA, SOLO E VEGETAÇÃO REGIONAL.....	C-3
2.1 Topographia.....	C-3
2.2 Geologia	C-8
2.2.1 Dados Gerais	C-8
2.2.2 Bacias dos três afluentes de montante do Rio Itajaí (Itajaí do Norte, Itajaí do Oeste, Itajaí do Sul).....	C-8
2.2.3 Geologia das bacias do Rio Itajaí-açu (Itajaí Açu) e dos afluentes dos Rios Benedito, Itajaí Mirim e Luis Alves	C-9
2.2.4 Características geológicas de bacias de afluentes	C-12
2.3 Solo	C-13
2.4 Vegetação	C-17
CAPÍTULO 3 STATUS DE ESCORREGAMENTOS E QUITAÇÃO DE SEDIMENTOS.....	C-20
3.1 Escorregamentos	C-20
3.1.1 Situação e projetos de reconstrução	C-20
3.1.2 Classificação de escorregamento de terra conforme a forma e suas características.	
3.1.3 Características dos riscos de escorregamento de terra de cada município	C-30
3.2 Análise de balanço sedimentar.....	C-32
3.2.1 Trechos do leito do rio no âmbito do Estudo	C-32
3.2.2 Método de análise	C-32

	3.2.4 Resultado de cálculo	C-32
3.3	Zoneamentos de Risco e Avaliação dos Escorregamentos e do Mecanismo de Erosões	C-32
	3.3.1 Avaliação de Risco e Fluxograma de Mapeamento de Risco.....	C-32
	3.3.2 Identificação dos locais de Alto Risco de Escorregamento.....	C-34
	3.3.3 Seleção dos locais de alto risco de desastre	C-35
	3.3.4 Estimativa do Valor de Prejuízo Potencial	C-35
	3.3.5 Inventário dos locais de risco e mapeamento de risco de desastre de escorregamento e sedimentação.....	C-39
CAPÍTULO 4	DEMANDAS E POLÍTICA DE BASE PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DIRETOR DE GESTÃO POR ESCORREGAMENTO.....	C-42
4.1	Demandas relativas à mitigação de escorregamento.....	C-42
4.2	Princípios básicos das medidas para a mitigação de escorregamentos e sedimentação	C-44
4.3	Abordagem.....	C-45
4.4	Diretrizes básicas para a elaboração do Plano Diretor de mitigação de escorregamentos.....	C-45
	4.4.1 Síntese	C-44
	4.4.2 Medidas não Estruturais.....	C-44
	4.4.3 Medidas estruturais	C-46
CAPÍTULO 5	FORMULAÇÃO DO PLANO DIRETOR DE GESTÃO DE ESCORREGAMENTOS.....	C-48
5.1	Estruturação do Plano Diretor.....	C-48
5.2	Medidas não estruturais (Medidas mitigadoras de desastre de escorregamento e de inundações bruscas).....	C-49
	5.2.1Estruturação do Sistema de alerta, armazenamento de dados e monitoramento de chuvas.....	C-48
	5.2.2.....Suporte técnico necessário para a mitigação dos escorregamentos/ sedimentação e projeto executivo.....	C-50
	5.2.3Índice de unidade do solo.....	C-51
5.3	Medidas estruturais	C-53
	5.3.1Ordem de prioridade e plano de medidas para desastre de escorregamentos e plano de medidas.....	C-53
5.4	Medidas de mitigação de produção de sedimentos	C-57
5.5	Medidas mitigadoras de desastres de inundações bruscas	C-58
5.6	Suporte técnico necessário para a mitigação dos escorregamentos/sedimentação e projeto executivo.	C-58
CAPÍTULO 6	C-61
6.1	Barragem Oeste.....	C-61
6.2	Barragem Sul.....	C-66
6.3	Comporta à Montante do Itajaí Mirim	C-71

6.4	Comporta à Jusante do Itajaí Mirim.....	C-73
6.5	Medidas estruturais para escorregamentos.....	C-80
	6.5.1 Site para medidas estruturais para escorregamentos e Engenharia de Investigações Geológicas.....	C-80
	6.5.2 Seleção dos Locais das Medidas Estruturais com a Engenharia Geológica.....	C- 82
CAPÍTULO 7	ESTUDO DE VIABILIDADE DE MEDIDAS ESTRUTURAIS PARA ESCORREGAMENTOS.....	C-115
7.1	Geral.....	C-115
7.2	Tipos de Escorregamento e Seleção do Tipo de Medida Estrutural.....	C-116
	7.2.1 Classificação do Tipo de Escorregamento.....	C-116
	7.2.2 Seleção da Medida Contra Colapso de Encostas a Montante.....	C-116
	7.2.3 Seleção da Medida Estrutural Contra Colapso de Encosta a Jusante.....	C-117
	7.2.4 Seleção de Medidas Contra Colapso da Margem de Rios.....	C-119
	7.2.5 Seleção de Medidas Contra Deslizamentos.....	C-122
7.3	Projeto de Viabilidade de Medidas Estruturais para os Locais Seleccionados ..	C-125
CAPÍTULO 8	ESTUDO DE VIABILIDADE DE SISTEMA DE ALERTA PRÉVIO PARA ESCORREGAMENTO/INUNDAÇÃO BRUSCA.....	C-153
8.1	Geral.....	C-153
8.2	Monitoramento de Chuvas e Transmissão/Armazenamento de Dados.....	C-153
8.3	Critérios de Índice Pluviométrico para Atenção/Alerta.....	C-154
8.4	Critérios de Índice Pluviométrico para Atenção/Alerta.....	C-154
8.5	Ordem de Evacuação e Educação para Prevenção de Desastres.....	C-154
8.6	Regulação do Tráfego Rodoviário para Evitar Riscos.....	C-155
8.7	Practice in Sao Paulo.....	C-156
CAPÍTULO 9	CUSTO E BENEFÍCIO DE GESTÃO ESCORREGAMENTOS.....	C-163
9.1	Custo para escorregamentos plano diretor de gestão.....	C-164
9.2	Custo para medidas estruturais de 13 sítios prioritários pelo estudo de viabilidade.....	C-164
9.3	Estruturação do Sistema de alarme/alerta dos desastres de escorregamento e enxurradas.....	C-164
9.4	Análise de Custo e Benefício das Medidas Estruturais para Desmoronamento de Terra.....	C-165
CAPÍTULO 10	C-168

Figuras

	<u>Page</u>
Figura 2.1.1 Mapa de localização de rios, serras e estradas da Bacia do Rio Itajaí.....	C-4
Figura 2.1.2 Mapeamento da faixa de altitude da Bacia do Rio Itajaí.....	C-5
Figura 2.2.1 Legenda da estrutura geológica.....	C-8
Figura 2.2.2 Mapa geológico da Bacia do Rio Itajaí e adjacências	C-9
Figura 2.3.1-Mapa de classificação do solo da Bacia do Rio Itajaí.....	C-14
Tabela 2.3.2 Razão de área ocupada por classificação do solo.....	C-16
Figura 2.4.1 Classificação da vegetação da Bacia do Rio Itajaí	C-18
Figura 3.1.2 Índices de umidade de solo utilizada para a alerta de desastres de escorregamento	C-21
Figura 3.1.3 Índice de umidade do solo e declaração de estado de emergência / calamidade em 2008	C-22
Figura 3.1.4 Classificação por tipo de movimento do escorregamento de terra.....	C-24
Figura 3.1.5 Perfil do escorregamento rotativo	C-26
Figura 3.2.1 Trecho objeto de análise.....	C-32
Figura 3.2.2 Exemplo de análise de variação do leito	C-32
Figura 3.4.1 Procedimento das avaliações dos riscos de produção de sedimentos e mapeamento de risco.....	C-33
Figura 3.3.2 Código de mapa de risco de desastre.....	C-34
Figura 3.3.2 Curva de risco de prejuízo potencial anual com desastre de escorregamento	C-36
Figura 3.3.3 Mapas de risco de desastres de escorregamento/produção de sedimentação	C-40
Figura 3.3.4 Exemplo de mapa de risco de desastre de escorregamento	C-40
Figura 4.1.1 Fluxo de estudo de desastres de escorregamento de terra.	C-45
Figura 5.2.1 Estratégia de Implementação do Sistema de Alerta/Alarme	C-49
Figura 5.2.2 Síntese do sistema de alerta/alarme de escorregamento e enchentes bruscas ...	C-51
Figura 5.2.3 Índices de umidade de solo utilizada para a alerta de desastres de escorregamento	C-52
Figura 5.5.1 Exemplo de instalações de regulação do escoamento pelo reservatório	C-59
Figura 5.5.2 Exemplo de instalações de regulação do escoamento pelo reservatório subterrâneo.....	C-59
Figura 6.1.1 Mapa Geológico da Barragem Oeste.....	C-62
Figura 6.1.2 Seção Transversal Geológica do Corpo da Barragem Oeste	C-63
Figura 6.1.3 Seção Transversal Geológica do Corpo da Barragem Oeste	C-64
Figura 6.2.1 Mapa Geológico da Barragem Sul	C-67
Figura 6.2.2 Seção Transversal Geológica no Vertedouro da Barragem Sul 1/2 (lado da montante e lado do topo).....	C-68
Figura 6.2.3 Seção Transversal Geológica no Vertedouro da Barragem Sul 2/2 (Lado a jusante e lado da dissipação de energia)	C-69
Figura 6.3.1 Mapa de Localização da Compota a Montante do Itajaí Mirim	C-73

Figura 6.3.2 Perfil Geológico da Comporta a Montante do Itajaí Mirim	C-74
Figura 6.4.1 Mapa de Localização da Comporta a Jusante do Itajaí Mirim	C-77
Figura 6.4.2 Perfil Geológico da Comporta a Jusante do Itajaí Mirim.....	C-78
Figura 6.5.1 Localização de prioridade 13 locais para risco escorregamentos (1)	C-80
Figure 6.5.2 Localização de prioridade 13 locais para risco escorregamentos (2)	C-81
Figure 6.5.3 Localização de prioridade 13 locais para risco escorregamentos (3)	C-81
Figura 6.5.4 Engenharia Geológica Mapa da SC301 TaióPasso Manso-5	C-84
Figure 6.5.5 Monitoramento com estações extensométricas na SC301 TaióPasso Manso-5	C-84
Figure 6.5.6 Engenharia Geológica Perfil da SC301 TaióPasso Manso-5.....	C-85
Figura 7.2.1 Fluxograma de Seleção de Medida Estrutural para Deslizamento	C-116
Figura 7.3.1 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 1 Escorregamento na SC 302 Taió Passo Manso-5	C-118
Figura 7.3.2 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 1 Escorregamento na SC 302 Taió Passo Manso-5	C-119
Figure 7.3.3 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 2 Escorregamento na SC470 Gaspar rio do Banco.....	C-120
Figura 7.3.4 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 1 Escorregamento na SC470 Gaspar Rio do Banco	C-121
Figura 7.3.5 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 3 Escorregamento Blumenau –Av Pres Casrelo Branco	C-122
Figura 7.3.6 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 3 Escorregamento naBlumenau –Av Pres Casrelo.....	C-123
Figura 7.3.7 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 4 Escorregamento SC418 Blumenau Pomerode	C-124
Figura 7.3.8 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 4 Escorregamento naSC418 Blumenau Pomerode	C-125
Figure 7.3.9 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 5 Escorregamento SC474 Blumenau-Massaranduba 2.....	C-126
Figura 7.3.10 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 5 Escorregamento naSC474 Blumenau-Massaranduba 2	C-127
Figure 7.3.11 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 6 Escorregamento Gaspar Luiz Alves, Gaspar 9	C-128
Figura 7.3.12 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 6 Escorregamento naGaspar Luiz Alves, Gaspar 9.....	C-129
Figura 7.3.13 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 6 Escorregamento naGaspar Luiz Alves, Gaspar 9.....	C-130
Figura 7.3.14 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 7 Escorregamento Gaspar Luiz Alves, Luiz Alves 6	C-131
Figura 7.3.15 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 7 Escorregamento naGaspar Luiz Alves, Luiz Alves 6.....	C-132
Figura 7.3.16 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 8 Escorregamento SC470 Gaspar Ignorar.....	C-133
Figura 7.3.17 Corte da medida estrutural para a prioridade Nº 8 Escorregamento naSC470 Gaspar Ignorar.....	C-134
Figure 7.3.18 Planta da medida estrutural para a prioridade Nº 9 Escorregamento	

SC477 Benedito Novo Dutor Pedrinho 1.....	C-135
Figura 7.3.19 Corte da medida estrutural para a prioridade N° 9 Escorregamento na SC477 Benedito Novo Dutor Pedrinho 1.....	C-136
Figure 7.3.20 Planta da medida estrutural para a prioridade N° 10 Escorregamento SC477 Benedito SC418 Pomerode- Jaragua do Sul 1	C-137
Figura 7.3.21 Corte da medida estrutural para a prioridade N° 10 Escorregamento na SC418 Pomerode- Jaragua do Sul 1.....	C-138
Figure 7.3.22 Planta da medida estrutural para a prioridade N° 11 Escorregamento SC477 Benedito Gaspar Luiz Alves, Luiz Alves 4	C-139
Figure 7.3.23 Corte da medida estrutural para a prioridade N° 11 Escorregamento na Gaspar Luiz Alves, Luiz Alves 4	C-140
Figure 7.3.24 Planta da medida estrutural para a prioridade N° 12 Escorregamento SC474 Blumenau Massaranduba 1	C-141
Figure 7.3.25 Corte da medida estrutural para a prioridade N° 12 Escorregamento na SC474 Blumenau Massaranduba 1	C-142
Figure 7.3.26 Planta da medida estrutural para a prioridade N° 13 Escorregamento SC 302 Taio Passo Manso 4.....	C-143
Figure 7.3.27 SC 302 Corte da medida estrutural para a prioridade N° 13 Escorregamento na Taio Passo Manso 4.....	C-144
Figura 8.2.1 Fluxograma para Determinação da Localização dos Pluviômetros Automáticos	C-145
Figura 8.5.1 Ordem de Evacuação e Educação para Desastres	C-147
Figura 8.7.1 Fluxograma lógico da rotina de operação do PPDC	C-148
Figura 9.4.1 Exemplo do benefício das medidas estruturais de escorregamento	C-166

Tabelas

	<u>Page</u>
Tabela 2.1.1 Distribuição de área ocupada por cada faixa de altitude	C-3
Tabela 2.1.2 Proporção da área ocupada por faixa de inclinação da encosta	C-3
Tabela 2.2.1 Tabela estratigráfica geológica da Bacia do Rio Itajaí	C-10
Tabela 2.2.2 Proporção de área ocupada por estrato.....	C-12
Tabela 2.3.1 Comparação entre classificação do mapa de solo da Bacia do Rio Itajaí e classificação de solo de diversos órgãos	C-13
Tabela 2.3.2 Razão de área ocupada por classificação do solo.....	C-16
Tabela 2.4.1 Nomenclatura da classificação de vegetação	C-16
Tabela 2.4.2 Porcentagem da área ocupada da vegetação	C-17
Tabela 3.1.1 Mudança anual do número de escorregamento no estado de Santa Catarina e na Tabela 3.1.2 Registro de desastres causados pela inundação e escorregamento novembro de 2008	C-22
Tabela 3.1.3 Índice de umidade de solo calculada com Chuva Intensa de novembro de 2008	C-22
Tabela 3.1.4 Registro de desastres causados pela inundação e escorregamento novembro de 2008.....	C-23

Tabela 3.1.5 Classificação de escorregamento de terra conforme o tipo de movimento do talude e o tipo de terreno.....	C-24
Tabela 3.1.6 Características dos municípios com alto risco de escorregamento de terra	C-30
Tabela 3.2.1 Resultado do cálculo de balanço sedimentário	C-33
Tabela 3.3.1 Fonte de informações dos registros de desastres existentes	C-34
Tabela 3.3.2 Tipo de movimento dos desastres de escorregamento.....	C-35
Tabela 3.3.2 Item contabilizadas para estimar as perdas pelos desastres de estrada	C-37
Tabela 3.3.3 estimativa do volume de sedimentação no Porto de Itajaí	C-38
Tabela 3.3.4 Perda potencial pela sedimentação no tempo de retorno de 50 anos	C-38
Tabela 3.3.5 Resultado da seleção dos locais prioritários através do cálculo do valor de prejuízo potencial anual	C-38
Tabela 4.1.1 Opiniões e necessidades dos órgãos ligados aos desastres de escorregamentos.....	C-41
Tabela 4.1.2 Opiniões e necessidades de cada município com relação ao escorregamento	C-43
Tabela 5.1.1 Estrutura do Plano Diretor medidas de mitigação da sedimentação e desastres de escorregamentos e de inundações bruscas na Bacia do Rio Itajaí.	C-47
Tabela 5.2.1 Índice de umidade de solo calculada com Chuva Intensa de novembro de 2008	C-52
Tabela 5.3.1 Tipos de escorregamentos e seleção das medidas estruturais	C-53
Tabela 5.3.2 Ordem de prioridade e plano de medidas estruturais para os desastres de escorregamentos.....	C-54
Tabela 5.6.1 Suporte técnico para mitigação dos escorregamentos/sedimentação e projeto executivo.....	C-57
Tabela 6.1.1 Estratigrafia ao redor da Barragem Oeste	C-60
Figura 6.1.1 Mapa Geológico da Barragem Oeste.....	C-62
Figura 6.1.2 Seção Transversal Geológica do Corpo da Barragem Oeste	C-63
Figura 6.1.3 Seção Transversal Geológica do Corpo da Barragem Oeste	C-64
Tabela 6.2.1 Estratigrafia ao redor da Barragem Sul.....	C-65
Tabela 6.3.1 Estratos Geológicos da Comporta da Montante do Rio Itajaí Mirim Proposta	C-70
Tabela 6.3.2 Valores Empíricos para o Peso Específico γ , dos Solos Granulares Baseados no Valor de N do SPT	C-72
Tabela 6.3.3 Determinação das Propriedades de Cade Estrato para a Comporta da Montante do Itajaí Mirim.....	C-72
Tabela 6.4.1 Estratos Geológicos da Comporta da Jusante do Rio Itajaí Mirim Proposta	C-75
Tabela 6.4.1 Determinação das Propriedades de Cade Estrato para a Comporta da Jusante do Itajaí Mirim	C-76
Tabela 6.5.1 Lista de 13 de Sites Prioridade para escorregamentos	C-79
Tabela 6.5.2 Levantamento topográfico e Investigação de prioridade 13 sites são apresentados na Tabela 6.5.1 e Figura 6.5.1, 6.5.2 e 6.5.3.....	C-81
Tabela 7.2.1 Tipos de Escorregamento	C-100
Tabela 7.2.2 13 Áreas Prioritárias Seleccionadas e Tipos de Escorregamento.....	C-101
Tabela 7.2.3 Obras de medidas estruturais para o colapso da encosta do lado montanha ...	C-101

Tabela 7.2.4 Medidas Seleccionadas para colapso de encostas a montante	C-102
Tabela 7.2.5 Comparação de alternativas de Medidas de Solo Reforçado para as Encostas	C-102
Tabela 7.2.6 Medidas Estruturais contra Colapso de Encosta a Jusante.....	C-103
Tabela 7.2.7 Medidas seleccionadas para colapso de encosta a jusante	C-103
Tabela 7.2.8 Relação Altura Vazão de descarga nos Locais Estudados	C-103
Tabela 7.2.9 Velocidade do fluxo de projeto.....	C-104
Tabela 7.2.10 Condições aplicáveis de tipos de revestimentos de rios.....	C-104
Tabela 7.2.11 Resultado da Seleção para a Prioridade N° 2 SC 470 Margem de rio em Gaspar	C-105
Tabela 7.2.12 Resultado da Seleção para a Prioridade N° 3 Av. Pres. Castelo Branco em Blumenau	C-105
Tabela 7.2.13 Medidas seleccionadas contra colapso de margens de rios.....	C-105
Tabela 7.2.14 Determinação do Fator de Segurança Inicial (FSI).....	C-106
Tabela 7.2.15 Determinação do Fator de Segurança de Projeto (FSP).....	C-106
Tabela 7.2.16 Encostas estudadas e Fator de Segurança Inicial e de Projeto	C-107
Tabela 7.2.17 Medidas Estruturais Gerais para Deslizamentos	C-107
Tabela 7.2.18 Lista de Medidas Estruturais e Resultado da Análise de Estabilidade	C-108
Tabela 7.2.19 Efeitos do rebaixamento do lençol através da instalação de drenagem.....	C-108
Tabela 7.3.1 Trabalhos relacionados às medidas estruturais.....	C-109
Tabela 8.7.1 Tabelão do PPDC: níveis de alerta e Ações de Defesa Civil preconizadas.	C-141
Tabela 9.1.1Custo de medidas estruturais de desastres de escorregamentos	C-147
Tabela 9.1.2 Custos de pluviômetros, transmissão GPRS e de instalação.....	C-147
Tabela 9.2.1 Custo Direto da Medidas estruturais para escorregamento	C-148
Tabela 9.3.1 Custo de equipamento e instalação de pluviométrico, GPS comunicação e Antena VHF	C-148
Tabela 9.3.2 Custo de Instalação e equipamentos de transmissão de dados pelo VHF	C-149
Tabela 9.3.3 Custo do serviço de engenharia na estruturação do sistema de alarme/alerta de desastres de escorregamentos e enxurradas.....	C-149
Tabela 9.4.1 Principais locais com potencial de risco de desmoronamento de terra	C-151

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 Abrangência

O anexo C descreve o gerenciamento de escorregamentos, altas vazões sólidas e inundações bruscas; e as condições superficiais e subsuperficiais da bacia do Rio Itajaí, a qual apresenta relatos de desastres causados pela água. Este tipo de desastre inclui inundações, inundações bruscas, escorregamentos e altas vazões sólidas. Resultados de pesquisas sobre desastres na área da engenharia geológica também estão descritos neste anexo.

1.2 Conteúdo

1.2.1 Geral

O anexo C é subdividido em 3 capítulos: introdução; plano mestre; e estudo de viabilidade.

O conteúdo de cada capítulo é descrito a seguir.

1.2.2 Introdução

‘Capítulo 1: Introdução’ descreve a abrangência e o conteúdo do anexo C.

1.2.3 Plano Mestre

‘Capítulo 2: Topografia, Geologia, Pedologia, e Vegetação da Região’ descreve as características superficiais e subsuperficiais da bacia do Rio Itajaí.

‘Capítulo 3: Características de Escorregamentos e Altas Vazões Sólidas’ descreve as características gerais e os trabalhos de reconstrução relacionados a escorregamentos; características dos escorregamentos em cada município; avaliação do balanço de sedimentos; e avaliação do risco de escorregamentos e altas vazões sólidas.

‘Capítulo 4: Necessidades e Política Básica para a Formulação do Plano Mestre para o Gerenciamento de Escorregamentos, Altas Vazões Sólidas e Inundações Bruscas’ descreve a abordagem, o resultado da avaliação das necessidades, e a política básica para o gerenciamento de desastres.

‘Capítulo 5: Plano Mestre para o Gerenciamento de Escorregamentos, Altas Vazões Sólidas e Inundações Bruscas’ descreve as medidas não-estruturais para tais desastres; medidas estruturais para escorregamentos e altas vazões sólidas; e a seleção da medida estrutural para o estudo de viabilidade.

1.2.4 Estudo de Viabilidade

‘Capítulo 6: Engenharia geológica nas áreas com medidas estruturais selecionadas’ descreve a engenharia geológica das áreas com medidas estruturais propostas, incluindo a Barragem Oeste, a Barragem Sul, as comportas do Itajaí Mirim e as 13 encostas prioritárias.

‘Capítulo 7: Estudo de Viabilidade de Medidas Estruturais para Escorregamentos e Altas Vazões Sólidas’ descreve os tipos de escorregamentos e a seleção do tipo de medida; critérios aplicados para o projeto de viabilidade; planejamento de medidas estruturais para as 13 encostas prioritárias.

‘Capítulo 8: Estimativa de Custo, Estimativa de Benefício, Medidas de Redução de Custo, Avaliação Econômica do Plano Mestre para o Gerenciamento de Escorregamentos, Altas Vazões Sólidas e Inundações Bruscas’ descreve a estimativa de custo e a avaliação da viabilidade econômica para as medidas estruturais; e a estimativa de custo para o sistema de alerta para escorregamentos e inundações bruscas.

‘Capítulo 9: Plano de Implementação do Plano Mestre para Escorregamentos, Altas Vazões Sólidas e Inundações Bruscas’ descreve o plano de implementação de medidas estruturais para escorregamentos e altas vazões sólidas; e a estimativa de custo para o sistema de alerta de tais eventos.

‘Capítulo 10: Conclusão e Recomendações’ descreve as conclusões e recomendações para o gerenciamento de escorregamentos, altas vazões sólidas e inundações bruscas.

CAPÍTULO 2 TOPOGRAFIA, GEOLOGIA, SOLO E VEGETAÇÃO REGIONAL

2.1 Topografia

Apresenta-se na figura 2.1.1 o mapa de localização dos rios, montanhas e estradas da Bacia do Rio Itajaí, e na figura 2.1.2 o mapa de altitude.

A Bacia do Rio Itajaí é circundada por montanhas de altitude variando de 200m a 1750m, exceto no lado do Oceano Atlântico e nas baixadas litorâneas. A borda nordeste da bacia do Rio Itajaí é constituída pela Serra de Jaraguá, que constitui divisor de águas dos rios Luis Alves e Benedito, sendo o ponto mais alto o de 986m de altitude, situado nas cabeceiras do rio Benedito, na extremidade norte do município de Rio dos Cedros. A borda leste-sudeste da Bacia do Rio Itajaí é constituída pela Serra Geral, que constitui divisor de águas dos rios Itajaí do Norte, Itajaí do Oeste e Itajaí do Sul, sendo o seu ponto mais alto o de 1.752m de altitude, na extremidade sul do município de Alfredo Wagner, nas cabeceiras do rio Itajaí do Sul. Na borda sudoeste da Bacia do Rio Itajaí situa-se a Serra Tijucas, à margem direita do rio Itajaí Mirim.

À margem direita do Rio do Norte e à margem esquerda do rio Timbó estende-se a Serra do Mar, de altitude superior a 800m, na direção noroeste-sudeste. A Serra do Mar é cortada no município de Apiúna como que cruzando perpendicularmente com o vale do Rio Itajaí-açu, e aqui a margem direita é aparentemente desviada para a direção da montante (lado sudoeste) por cerca de 15 km. A Serra do Mar, na margem direita do Rio Itajaí-Açu, estende-se na direção noroeste-sudeste na margem direita do rio Itajaí do Sul, a partir do município de Rio do sul até o município de Alfredo Wagner.

Entre o Rio Itajaí-Açu e o rio Itajaí Mirim fica a Serra de Itajaí, com mais de 800m de altitude, ramificando-se perpendicularmente à Serra do Mar no município de Lontras, estendendo a borda sul dos municípios Apiúna, Indaial, Blumenau e Gaspar na direção nordeste - sudoeste.

O Rio Itajaí-Açu, nas proximidades do município de Ibirama, onde o rio Luis Alves e o rio Itajaí do Norte se encontram, tem de 100m a 200m de altitude, e no município de Indaial, a jusante, fica abaixo de 100m, e depois do município de Blumenau corre com leve sinuosidade pela planície aluvial plana, até desembocar no Oceano Atlântico. Da foz do rio Itajaí até Ilhota-Gaspar, passando por Navegantes, estende-se a baixada aluvial nas duas margens. O mesmo acontece em Itajaí, Brusque e Guabiruba, a jusante do rio Itajaí-Mirim. A largura desta baixada é de cerca de 5 km nas proximidades de Gaspar, e de cerca de 3 km na divisa de Itajaí com Brusque.

Os direcionamentos dos vales e das cristas que se destacam são noroeste-sudeste (direcionamento dos rios Itajaí do Norte, Itajaí do Oeste e Itajaí do Sul), e nordeste - sudoeste (direcionamento do Rio Itajaí entre Rio do Sul e Blumenau e do Rio Itajaí Mirim entre Presidente Nereu e Itajaí). As estruturas geológicas nesta direção noroeste-sudeste coincidem com a direção da distribuição de rochas sedimentares (a direção do filão) e a direção nordeste-sudeste coincide com a direção de distribuição de falhas e intrusões.

Apresenta-se também na tabela 2.1.1 a distribuição de área ocupada por cada faixa de altitude em toda a bacia e nas bacias dos afluentes.

Tabela - 2.1.1 - Distribuição de área ocupada por cada faixa de altitude

Faixa de altitude	Razão de área ocupada (área ocupada por cada faixa de altitude/área da bacia)							
	Bacia inteira	Itajaí do Norte	Itajaí do Oeste	Itajaí do Sul	Benedito	Itajai-açu	Itajaí Mirim	Luis Alves
	15.111km ²	3.354km ²	3.015km ²	2.027km ²	1.496km ²	2.777km ²	1.679km ²	580km ²
0 a 100m	11%	0%	0%	0%	8%	26%	26%	35%
100 a 500m	36%	23%	36%	19%	17%	50%	39%	63%
500 a 1000m	53%	77%	61%	75%	74%	24%	35%	2%
Acima de 1000m	1%	0%	4%	6%	1%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

As áreas com menos de 100m de altitude representam cerca de 11%; as áreas de 500m a 1000m, cerca de 53%, e as áreas acima de 1000m de altitude não chegam a 1%.

Apresenta-se na figura 2.1.3 o mapeamento das faixas de inclinação da superfície da Bacia do Rio Itajaí. As superfícies planas de 0 a 5 graus, além de se distribuir amplamente na região da foz do Rio Itajaí, distribuem-se de forma intermitente em ambas as margens do rio também na parte intermediária. As encostas têm, de modo geral, leves inclinações de 15 a 25 graus, e na saída das correntes distribuem-se pequenos leques aluviais de 5 a 10 graus de inclinação. As inclinações com mais de 25 graus, além de se distribuírem nas margens das correntes, distribuem-se na parte inferior das inclinações das cristas da parte superior das serras.

A distribuição de área ocupada por faixa de inclinação da encosta em toda a bacia e nas bacias dos afluentes é mostrada na tabela 2.1.2.

Tabela - 2.1.2 - Proporção da área ocupada por faixa de inclinação da encosta

Inclinação	Razão de área ocupada (área ocupada por cada faixa de inclinação da encosta/área da bacia)							
	Bacia inteira	Itajaí do Norte	Itajaí do Oeste	Itajaí do Sul	Benedito	Itajai-açu	Itajaí Mirim	Luis Alves
	15.111km ²	3.354km ²	3.015km ²	2.027km ²	1.496km ²	2.777km ²	1.679km ²	580km ²
0 a 5 graus	24,4%	19,8%	30,3%	23,2%	25,6%	24,0%	20,6%	20,6%
5 a 10 graus	30,5%	35,3%	33,5%	35,7%	30,4%	23,8%	23,0%	25,3%
10 a 15graus	20,3%	21,7%	17,5%	19,7%	19,3%	21,8%	20,5%	27,1%
15 a 20 graus	13,0%	11,6%	9,8%	11,0%	12,8%	16,5%	17,4%	17,2%
20 a 25 graus	7,1%	6,1%	5,2%	5,8%	7,6%	8,8%	11,4%	7,3%
25 a 30 graus	3,2%	3,4%	2,4%	2,6%	3,2%	3,4%	5,1%	1,9%
30 a 35 graus	1,2%	1,4%	1,0%	1,1%	0,9%	1,2%	1,6%	0,4%
35 a 40 graus	0,4%	0,5%	0,4%	0,5%	0,2%	0,3%	0,3%	0,1%
40 a 45 graus	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
40 a 50 graus	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Acima de 50 graus	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Equipe de Estudo da JICA

Terras planas com inclinação de até 5 graus representam 24%, e somadas às terras com inclinação leve de até 10 graus, representam 55% do total. Por outro lado, as áreas com mais de 40 graus de inclinação, consideradas APP (área de proteção permanente) não passam de 0,1% de toda a bacia.

A tendência de inclinação da superfície do solo é praticamente igual em todas as microbacias, mas as proporções das terras planas de 0 a 5 graus de inclinação se dividem em três seguintes grupos:

A proporção das terras planas de 0 a 5 graus é:

- Um tanto grande, de 30% Itajaí do Oeste
- Média, de 23 a 26% Itajaí do Sul, Benedito, Itajai-Açu
- Pequena, de 20 a 21% Itajaí do Norte, Itajaí Mirim, Luis Alves

Acredita-se que o fato de a Bacia do Itajaí do Oeste ser composta principalmente de rochas moles, relativamente novas e sujeitas à erosão, que produzem muita terra e areia, causando grande acúmulo de sedimentos ao longo dos rios, e o fato de as bacias do Itajaí Mirim e de Luis Alves serem compostas por solo antigo e duro, pouco sujeito à erosão, que produzem relativamente pouca terra e areia, influenciam a situação acima.

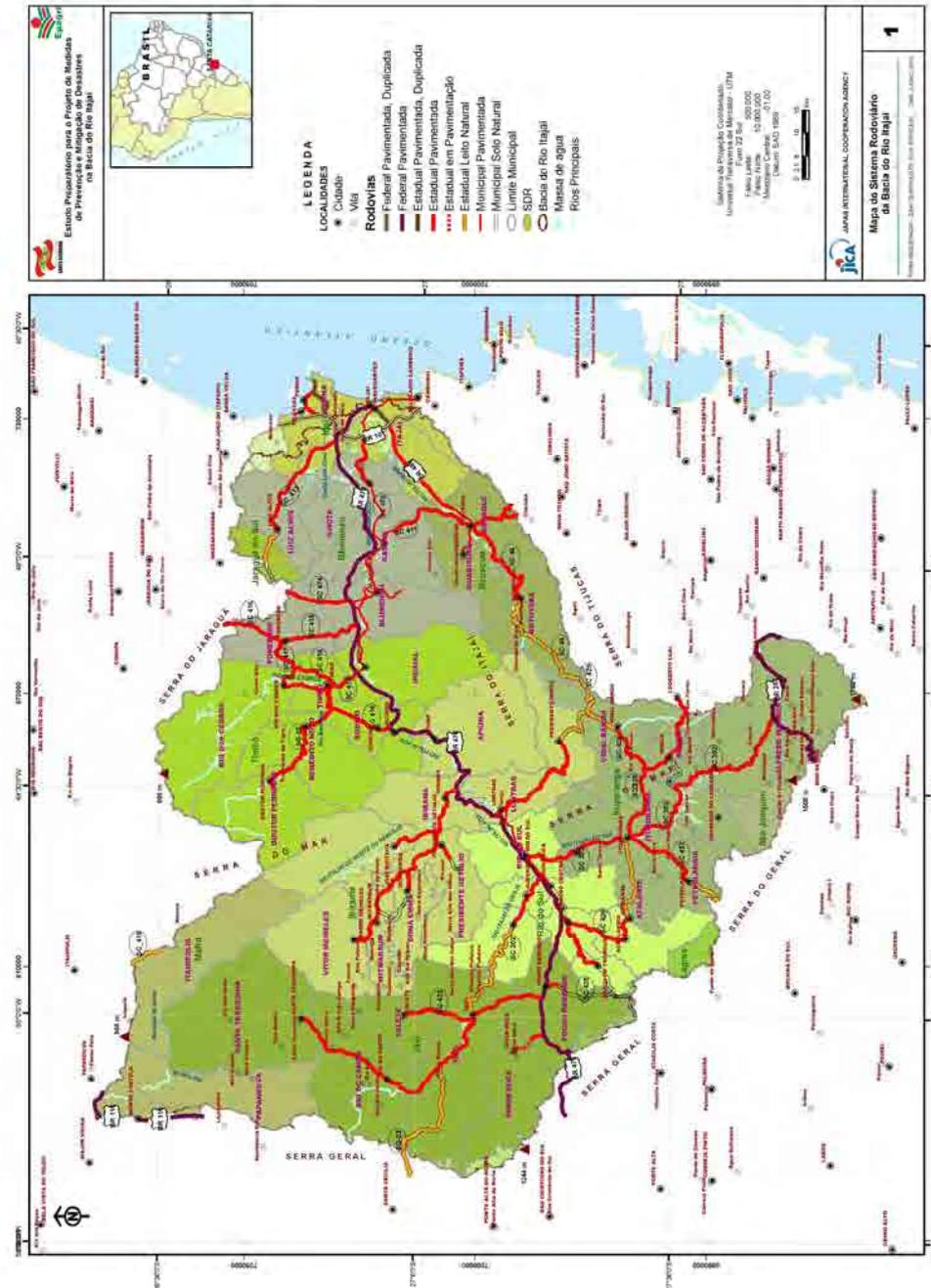


Figura - 2.1.1 - Mapa de localização de rios, serras e estradas da Bacia do Rio Itajaí

Fonte: Material editado pela Equipe de Estudo da JICA com base em 2009 DEINFRA, MAPA RODOVIÁRIO DO ESTADO DE SANTA CATARINA

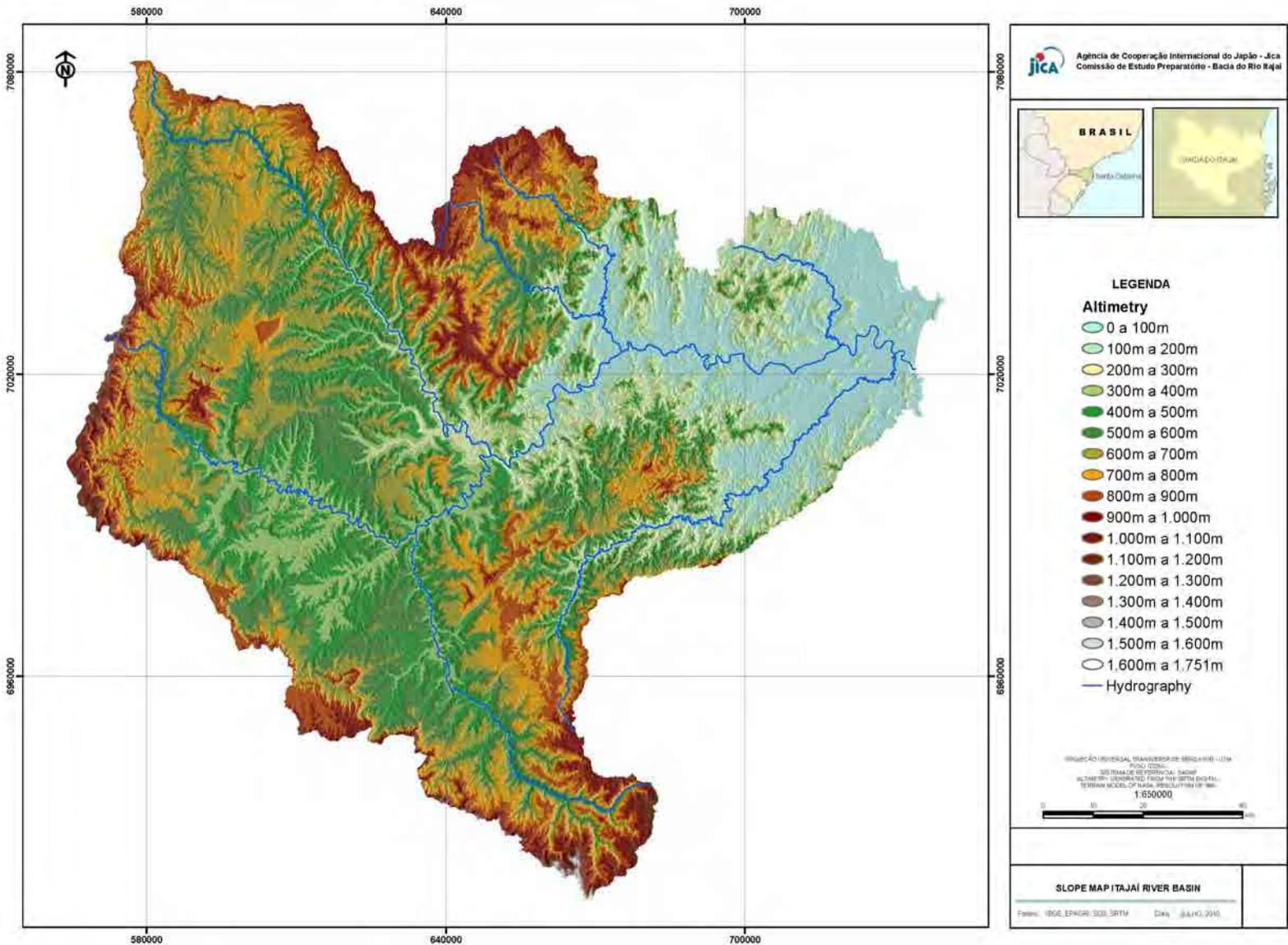


Figura - 2.1.2 - Mapeamento da faixa de altitude da Bacia do Rio Itajaí
Fonte: IBGE,EPAGRI,SDS,SRTM

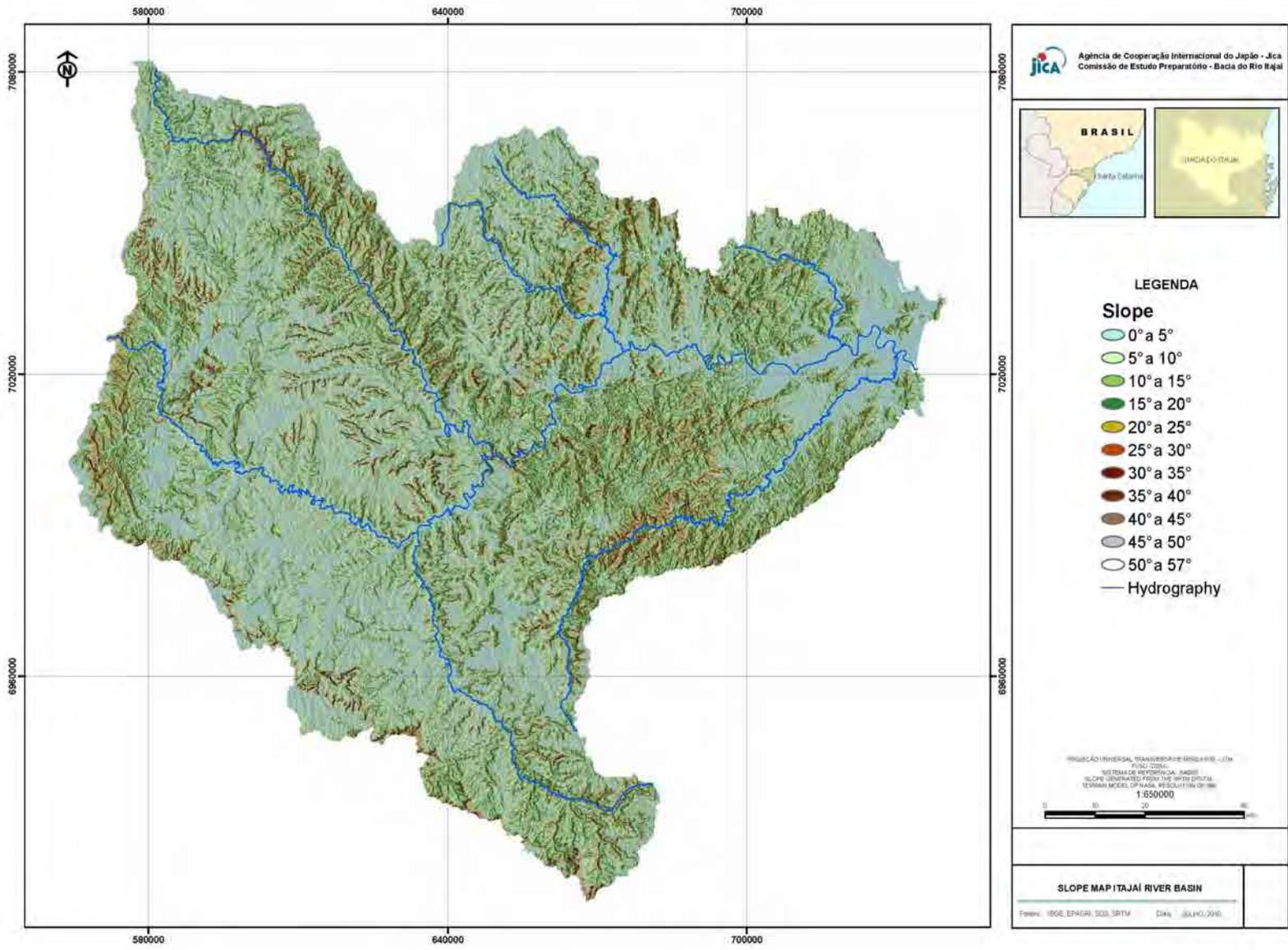


Figura - 2.1.3- Mapeamento de faixas de inclinação da superfície da Bacia do rio Itajaí Fonte: IBGE, EPAGRI, SDS, SRTM

2.2 Geologia

2.2.1 Dados Gerais

Apresenta-se o mapa geológico da Bacia do Rio Itajaí e das áreas adjacentes na figura 2.2.1 e a legenda da estrutura geológica na figura 2.2.2. Apresenta-se também a tabela estratigráfica correspondente na Tabela 2.2.1.

A Bacia do Rio Itajaí localiza-se na borda leste da bacia sedimentar (a parte central é solo novo, e à medida que se dirige para a periferia, os sedimentos se tornam mais antigos), chamada de Bacia do Paraná, que se estende desde o Centro-Sul do Brasil até o nordeste da Argentina, passando pela região leste do Paraguai.

O solo da Bacia do Rio Itajaí tem como base acamada rochosa das eras arqueozóica e a proterozóica que compõe o continente estável da América do Sul, e acima dela, distribuem-se as rochas sedimentares das eras paleozóicas e mesozóicas, e na camada superior, as rochas basálticas escoadas na era mesozóica. Exceto o estrato aluvial que se distribui na baixada da costa atlântica e nas baixadas das margens dos rios, de modo geral as camadas do solo são antigas na região nordeste e novas na região sudoeste. Nos montantes da bacia distribuem-se as rochas da era mesozóica e era paleozóica, e na parte média e inferior, as rochas sedimentares da era paleozóica e as rochas metamórficas das eras arqueozóica a proterozóica. A distribuição dos solos na bacia de cada afluente é mostrada na tabela 2.2.2.

O sistema de falhas que se destaca no lado leste da Serra do Mar (jusante do Rio Itajaí) é o sistema Nordeste - Sudoeste, na escala máxima de 60 km, e tem boa continuidade. Observa-se também o sistema Norte-Nordeste – Sul - Sudoeste, que tem extensões de até 20 km. No lado oeste da Serra do Mar (jusante do Rio Itajaí), a distribuição de sistema de falhas é relativamente esparsa. Além do sistema Nordeste - Sudoeste, é observado também o sistema Norte - Noroeste – Sul - Sudoeste que se estende continuamente por 80 km ao longo do Rio Itajaí do Norte e por 40 km ao longo do Rio Itajaí do Sul.

O solo da Bacia do Rio Itajaí divide-se em quatro tipos, começando pelo mais recente:

- camada aluvial da era cenozóica. Distribui-se amplamente na parte de jusante da bacia do rio principal, rio Itajaí Mirim e Rio Luis Aves, com profundidade superior a 30m, e nas áreas mais estreitas ao longo do montante do rio principal e de outros afluentes, com profundidade de até 10m.
- rochas sedimentares e vulcânicas da era mesozóica. Distribuem-se pela Serra Geral, na Bacia do Rio Itajaí.
- rochas sedimentares e rochas vulcânicas da era paleozóica. Distribuem-se pela encosta leste da Serra

2.2.2 Bacias dos três afluentes de montante do Rio Itajaí (Itajaí do Norte, Itajaí do Oeste, Itajaí do Sul)

No solo dos três afluentes de montante do Rio Itajaí, a oeste da Serra do Mar, destacam-se as rochas sedimentares das eras paleozóicas a mesozóica (grupo de estratos Itararé, grupo de estratos Guatá e grupo de estratos Passa Dois).

Nas partes de baixa altitude distribuem-se rochas sedimentares das eras paleozóicas e mesozóicas, principalmente xisto argiloso. Estas rochas são constituídas principalmente de sedimentos marinhos e são intercaladas por arenito fino etc.

Nas partes de grande altitude da Serra Geral, que é o divisor de águas da Bacia do Rio Itajaí, distribuem-se as rochas sedimentares da era mesozóica. São lamito e arenito e são intercaladas por rocha siltosa e arenito fino. Caracterizam-se pelo ambiente redutor de cor roxa, rosada e branca.

Na bacia do afluente Itajaí do Oeste observam-se basaltos da era mesozóica.

O estrato aluvial distribui-se pontualmente no microvale ao longo do rio principal, entre Rio do Sul e

Lontras, no Rio Itajaí do Oeste e seus afluentes. Estas camadas aluviais são geralmente de areia siltosa ou silte arenoso, e tem inserções de camadas de cascalho. Imagina-se que a espessura do estrato aluvial seja geralmente inferior a 10m.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

	Contato
	Diques
	Fratura, falha ou zona de cisalhamento
	Falha ou zona de cisalhamento extensional (hachuras no bloco baixo)
	Falha ou zona de cisalhamento contracional (triângulos no bloco alto)
	Falha ou zona de cisalhamento transcorrente sinistral
	Falha ou zona de cisalhamento transcorrente dextral

Fonte: Editado pela Equipe de Estudo da JICA a partir de CPRM Serviço Geológico do Brasil

Figura - 2.2.1 - Legenda da estrutura geológica

2.2.3 Geologia das bacias do Rio Itajaí-açu (Itajaí Açu) e dos afluentes dos Rios Benedito, Itajaí Mirim e Luis Alves

Os solos que se distribuem por esta região, que fica ao leste da Serra do Mar, são:

O complexo de granulita de Santa Catarina, da era arqueozóica (rochas metamórficas compostas principalmente por ganulita) no lado leste da Serra do Mar, no lado da margem direita do rio principal, que inclui a Bacia do Rio Benedito e a Bacia do Rio Luis Alves.

Em toda a região da Serra de Itajaí e na Bacia do Rio Itajaí Mirim, abaixo do município de Gaspar, ao sul do rio principal, distribui-se rochas metamórficas do grupo de estratos Brusque da era proterozóica, e granito e ortognaisse com esquistosidade, de forma complexa.

Rochas sedimentares não metamórficas (formação Gaspar, formação Baú, formação Campo Alegre) da era proterozóica distribuem-se desde a região norte da Serra do Itajaí e o município de Blumenau, à margem esquerda do rio principal, até a bacia do rio Luis Alves.

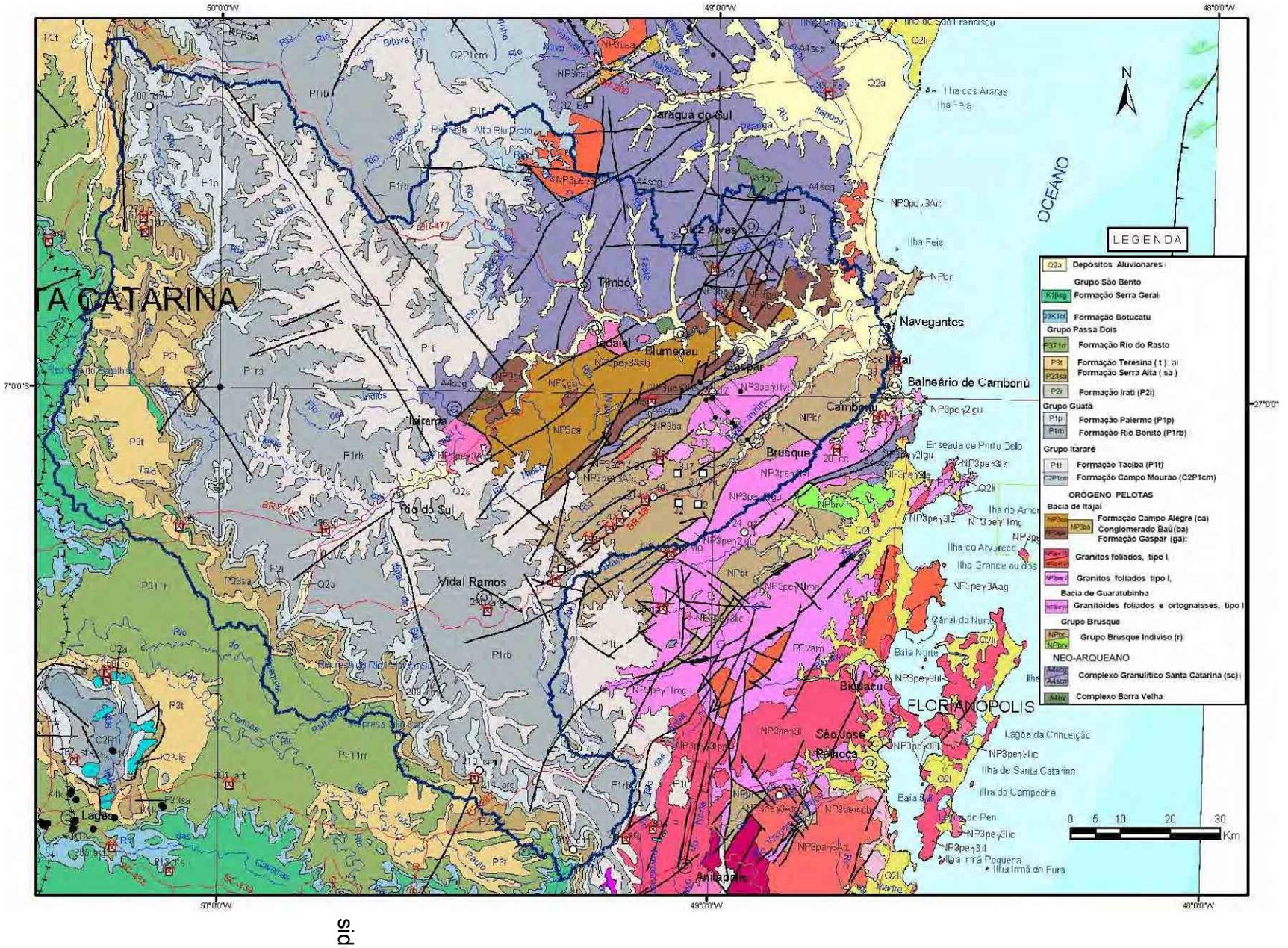


Figura - 2.2.2 - Mapa geológico da Bacia do Rio Itajaí e adjacências Fonte: CPRM -Serviço Geológico do Brasil

Tabela - 2.2.1 - Tabela estratigráfica geológica da Bacia do Rio Itajaí

ERA	PERÍOD	10 ⁶ anos	Estratigrafia		
CENOZOÍCO	QUATÉRIÁRIO	0.01	Q2a	Depósitos Aluvionares	areia, areia quartzosa, cascalheria, silte, argila e, localmente, turfa
		1.75			
MESOZOÍCO	CRETÁCEO	135	Grupo São Bento		
			K1βsg	Formação Serra Geral	basalto, andesito, tholeítico; riolito e riodacito; intercala camadas de arenito, litarenito e arenito vulcânico, 135-129 Ma Ar-Ar
	JURÁSSICO	203	J3klbt	Formação Botucatu	arenito fino a grosso de coloração avermelhada, grãos bem arredondados e com alta esteridade, depósitos em set e/ou cosets de estratificações cruzadas de grande porte; ambiente continental desértico: depósitos de dunas eólicas
			Grupo Passa Dois		
	TRIÁSSICO	250	P3T1rr	Formação Rio do Rasto	Pelito e arenito com dominância de camadas tabulares ou com lenticularidade muito estendida siltito verde ou avermelhado, tabular; arenito fino, arroxado, róseo a esbranquiado, tabular ou lenticular; ambiente transicional, deltaico, lacustre, eólico e raros depósitos fluviais.
PALEOZOÍCO	PERMIANO	295	P3t	Formação Teresina	argilito, siltito e arenito muito fino, cinza escuro, a esverdeado, geometria tabular ou lenticular alongada, lentes e concreções de calcário; ambiente marinho com tempestades a transicional (marés)
			P2i	Formação Irati	folhelho, siltito e argilito cinza escuro; calcário, marga e folhelho betuminoso com fósseis de répteis mesossaurídeos; ambiente marinho.
			Grupo Gutatá		
			P1p	Formação Palermo	siltito, siltito arenoso, arenito fino a muito fino e folhelho; lentes de arenito grosso e conglomerado com seixos discóides; cor cinza a cinza esverdeada, amarelada quando alterados; ambiente marinho raso
			P1rb	Formação Rio Bonito	arcóseo, siltito cinza a cinza escuro e carbonoso, quartzo-arenito branco, folhelho carbonoso cinza escuro a preto, carvão, diamictito com matriz carbonosa e marga; ambientes flúvio-deltaico, marinho plataformal e litorâneo.
			P23sa	Formação Serra Alta	folhelho, siltito e argilito cinza escuro, em camadas tabulares; ambiente marinho em profundidades abaixo do nível de ação das ondas
			Grupo Itaraé		
			P1t	Formação Taciba	arenito, folhelho e inter laminação de arenito e folhelho; ocorrem esporos de flora continental (Vitina, Limitisporites) e marinha (Tasmanites sp) braquiópodos, gastrópodos, crinóides, foraminíferos e acritarcas; ambiente marinho e flúvio-deltaico com influência glacial.
CARBONÍFERO		355	C2P1cm	Formação Campo Mourão	arenito fino a conglomerático, folhelho e siltito; ocorrem esporos (Tasmanites Sp); ambiente continental fluvial entrelaçado a marinho transgressivo

Arenito arcóico: 75% a 95% de quartzo, partículas de feldspato > fragmentos de rochas

Tufito: rocha sedimentar aquática em camadas composta principalmente por materiais proclásticos.

Calcalinidade: rico em cálcio e pobre em alcalina.

Ritmita: sedimentos em que se repetem ciclicamente as camadas finas de estrato de partículas grossas composto de areia fina e silte e de estrato de partículas finas composto de argila.

Granulita: rocha formada pela recristalização de cristais grandes em aglomerado de pequenas partículas. Pode surgir como resultado da trituração da rocha durante a seqüência de ação de recristalização.

Migmatita: denominação genérica de rochas em que as rochas metamórficas e as rochas plutônicas parecem misturadas a olho nu. De modo geral, são rochas em que se encontram misturadas heterogeneamente as partes compostas por xistos cristalinos ou rochas gnáissicas (partes escuras) e partes compostas por rochas graníticas (partes claras).

Fonte: Editado pela Equipe de Estudo da JICA a partir de CPRM Serviço Geológico do Brasil

Rochas sedimentares do grupo de estratos Itaraé e grupo de estratos da era paleozóica e do período carbonífero ao período permiano distribuem-se pela encosta do lado leste da Serra do Mar na bacia do rio Benedito.

Sedimentos aluviais, no lado leste da Serra do Mar, distribuem-se ao longo do rio principal e dos afluentes. A largura de distribuição de camada aluvial vai-se ampliando das proximidades de Gaspar, no rio principal, e das proximidades do ponto de encontro dos rios Luis Alves e Itajaí Mirim, para o lado a jusante. Sedimentos aluviais são compostos principalmente de silte arenoso ou areia siltosa, intercalados por camadas de cascalho. A espessura de sedimentos é geralmente de cerca de 10m. Conforme o lugar, afloramento de rocha basal é encontrado nos leitos dos rios. Os sedimentos dos leitos dos rios são areia de partícula de tamanho médio, contendo partículas grossas. Segundo o resultado de pesquisa de fundação das construtoras de rodovias, há sedimentação espessa de argilas contendo material orgânico em algumas partes.

2.2.4 Características geológicas de bacias de afluentes

Apresenta-se na tabela 2.2.2 a proporção de áreas ocupadas por estrato em bacias de afluentes.

Na bacia do Itajaí do Norte as rochas sedimentares das eras mesozóicas e paleozóicas representam 97% do total. Destacam-se o grupo de estrato Guatá, de época de sedimentação relativamente mediano, e o grupo de estrato Itararé, de época mais antiga.

Na bacia do Itajaí do Oeste as rochas sedimentares das eras mesozóicas e paleozóicas representam 97% do total. Comparado com as bacias do Itajaí do Norte e Itajaí do Sul, é maior a proporção de rochas sedimentares relativamente novas, da era mesozóica, sujeitas a erosão por agentes meteorológicos, e, por conseguinte, o volume de produção de terra e areia também é relativamente grande, sendo relativamente ampla também a distribuição de camada aluvial formada pela sedimentação de terra e areia. Na parte superior de rochas sedimentares moles, permeáveis à água, distribuem-se as rochas vulcânicas com fissura desenvolvidas, tais como basalto, constituindo às vezes condições geológicas que facilitam o deslizamento de terra.

Na bacia do Rio Itajaí do Sul as rochas sedimentares das eras mesozóicas e paleozóicas representam quase 100% do total. Em termos de era, destaca-se o grupo de estratos Guatá, intermediário.

Na bacia do Rio Benedito as rochas sedimentares das eras mesozóicas e paleozóicas representam 61% do total, as rochas sedimentares da era proterozóica, mais antiga, representam 6%, e as rochas metamórficas da era arqueozóica, a mais antiga, 30%.

Na bacia do Rio Itajaí-Açu, a proporção do estrato aluvial é de 13%, a maior das sete bacias. As rochas sedimentares das eras mesozóicas e paleozóicas representam 18%, as rochas sedimentares da era proterozóica representam 31%, e as rochas metamórficas da era arqueozóica, a mais antiga, 24%.

Na bacia do Rio Itajaí Mirim, as rochas sedimentares das eras mesozóicas e paleozóicas representam 29%, e as rochas sedimentares metamórficas (grupo do estrato Brusque) da era proterozóica representam 47%.

Na bacia do Rio Luis Alves, as rochas sedimentares das eras mesozóicas e era paleozóica representam 0%, e as rochas metamórficas da era arqueozóica se destacam com 73%.

Tabela - 2.2.2 - Proporção de área ocupada por estrato

	Código de estrato e nome de estrato	Razão de área ocupada (área ocupada por cada estrato/área da bacia)							
		Bacia inteira	Itajaí do Norte	Itajaí do Oeste	Itajaí do Sul	Benedito	Itajaí-açu	Itajaí Mirim	Luis Alves
		15.111 km ²	3.354 km ²	3.015 km ²	2.027 km ²	1.496 km ²	2.777k m ²	1.679 km ²	580 km ²
Era cenozóica									
Q2o estrato aluvial		4,2%	0,1%	0,8%	0,0%	3,4%	12,8%	7,3%	9,8%
Era mesozóica	Grupo de estrato São Bento								
	K1βsg: Formações Serra Geral (rochas vulcânicas) J3klbt: Formações Botucatu (rochas sedimentares)	0,4%	0,0%	1,9%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Era paleozóica	P3T1rr/P3t/P2i: Grupo de estrato Passa Dois (rochas sedimentares)	10,4%	7,7%	36,7%	9,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	P1p/P1rb/P23sa: Grupo de estrato Gosta (rochas sedimentares)	34,5%	51,6%	49,3%	74,2%	5,7%	4,5%	15,4%	0,0%
	Grupo de estrato P1t/C2P1cm: Itararé (rochas sedimentares)	21,9%	37,8%	9,9%	15,4%	55,4%	13,0%	13,2%	0,0%
Subtotal das rochas sedimentares das eras mesozóica e paleozóica		67,1%	97,0%	97,3%	99,9%	61,0%	17,5%	28,5%	0,0%
Era proterozóica	Np3ca: Formações Campo Alegre Np3ba: Conglomerado Baú Np3ga: Formações Gaspar (rochas sedimentares)	7,2%	0,2%	0,0%	0,0%	6,0%	30,6%	0,0%	17,2%
	Np3peγ1/ Np3peγ2/ Np3peγ3 Granito esquistoso e ortognaisse	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,7%	17,2%	0,0%
	Grupo de estrato Brusque								
	NPbr: rochas sedimentares metamórficas NPbrv: rochas vulcânicas	6,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,7%	47,0%	0,0%
Era arqueozóica	A4scg: complexo granulita Santa Catarina A4bV: complexo Barra Velha (rochas metamórficas)	10,9%	2,7%	0,0%	0,0%	29,6%	23,6%	0,0%	73,0%
	Geral	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Editado pela Equipe de Estudo da JICA com base nos dados da CPRAM Serviço Geológico do Brasil

2.3 Solo

Apresenta-se na figura 2.3.1 o mapa de classificação do solo da Bacia do Rio Itajaí. Apresenta-se também na tabela 2.3.1 a relação entre a classificação de qualidade do solo deste mapa do solo e a classificação do solo dos órgãos da ONU, EUA e Japão.

Apresenta-se na tabela 2.3.2 a proporção de área de ocupação em toda a bacia do Rio Itajaí e em classificação do solo de cada bacia de afluente. As características de distribuição de solo na Bacia do Rio Itajaí e nas bacias dos afluentes são as seguintes:

O que mais se destaca na Bacia do Rio Itajaí é o Cambissolos Haplico, ocupando 43% de toda a área e distribuindo-se principalmente no meio da encosta da serra. O segundo é Neossolos Litólicos e ocupa 26% de toda a área, distribuindo-se principalmente no pico e no divisor de águas do rio principal e afluentes. O terceiro é Argissolo Vermelho-Amarelo e ocupa 20% de toda a área, distribuindo-se desde a encosta de altitude inferior a 500m até as margens do rio principal e afluentes.

A Bacia do Rio Itajaí do Norte apresenta a mesma tendência de toda a bacia.

- Na Bacia do Rio Itajaí do Oeste a distribuição de Cambissolos Haplico é um tanto grande,

ocupando 56% de toda a área, e a distribuição de Argissolo Vermelho-Amarelo é pequena, ocupando 6% de toda a área.

- Na Bacia do Rio Itajaí do Sul, a distribuição do Cambissolos Haplico é a maior das bacias de afluentes, ocupando 61% de toda a área.
- Na Bacia do Rio Benedito, a distribuição de Cambissolos Haplico é um tanto grande, ocupando 56% de toda a área, e a distribuição de Neossolos Litólicos é pequena em comparação com as bacias de outros afluentes, sendo 2% de toda a área.
- Na Bacia do Rio Itajaí-Açu, a distribuição do Neossolos Litólicos é grande, ocupando 40% da área total, sendo o tipo de solo que mais se destaca na bacia. O segundo colocado é Argissolo Vermelho-Amarelo, que ocupa 24% de toda a área, e o terceiro colocado é Cambissolos Haplico, que ocupa 18% de toda a área.
- Na Bacia do Rio Itajaí Mirim, a distribuição de Neossolos Litólicos é grande, ocupando 39% de toda a área, sendo o tipo de solo que mais se destaca na bacia, mostrando a mesma tendência da Bacia do Rio Itajaí-Açu.

Na Bacia do Rio Luis Alves, predomina o Argissolo Vermelho-Amarelo, que ocupa 63% de toda a área.

Tabela - 2.3.1 - Comparação entre classificação do mapa de solo da Bacia do Rio Itajaí e classificação de solo de diversos órgãos

Português			Inglês		
Classificação de solos		SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 2006	Soil Type	FAO Soil Type	EUA1991 Soil Taxonomy
Tipo de solo	Código				
Água	A		Water		
Urbano	U		Urban Area		
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVA	Argissolo	Red-Yellow Acrisols	Acrisols Lixisols Alisols	Ultisols Oxisols
Cambissolos Haplico	CX	Cambissolos	Ordinary Cambisols	Cambisols	Inceptisols
Cambissolos Humico	CH		Humic Cambisols		
Espodossolo Humiluvico	EK	Espodossolo	Podzols Humic-elubial horizon	Podzols	Spodosols
Gleissolo Haplico	GX	Gleisso	Ordinary Gleysols	Gleysols	Entisols
Latossolos Bruno	LB	Latossolos	Ferralsols	Ferralsols	Oxisols
Neossolos Flúvicos	RY	Neossolos Flúvicos	Fluvisols	Fluvisols	Fluvents
Neossolos Litólicos	RL	Neossolos Litólicos	Leptosols	Leptosols	
Neossolos Quartarênicos	RQ	Neossolos Quartarênicos	Quartz Sand Marine	Arenosols	Quartzosamments
Nitossolos Haplico	NX	Nitossolos	Hapic Nitisols	Nitisols Lixisols Alisols	Utisols Oxisols Altisols
Nitossolos Vermelho	NV		Red Nitisols		

Fonte: Editado pela Equipe de Estudo da JICA com base no Embrapa 2006 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

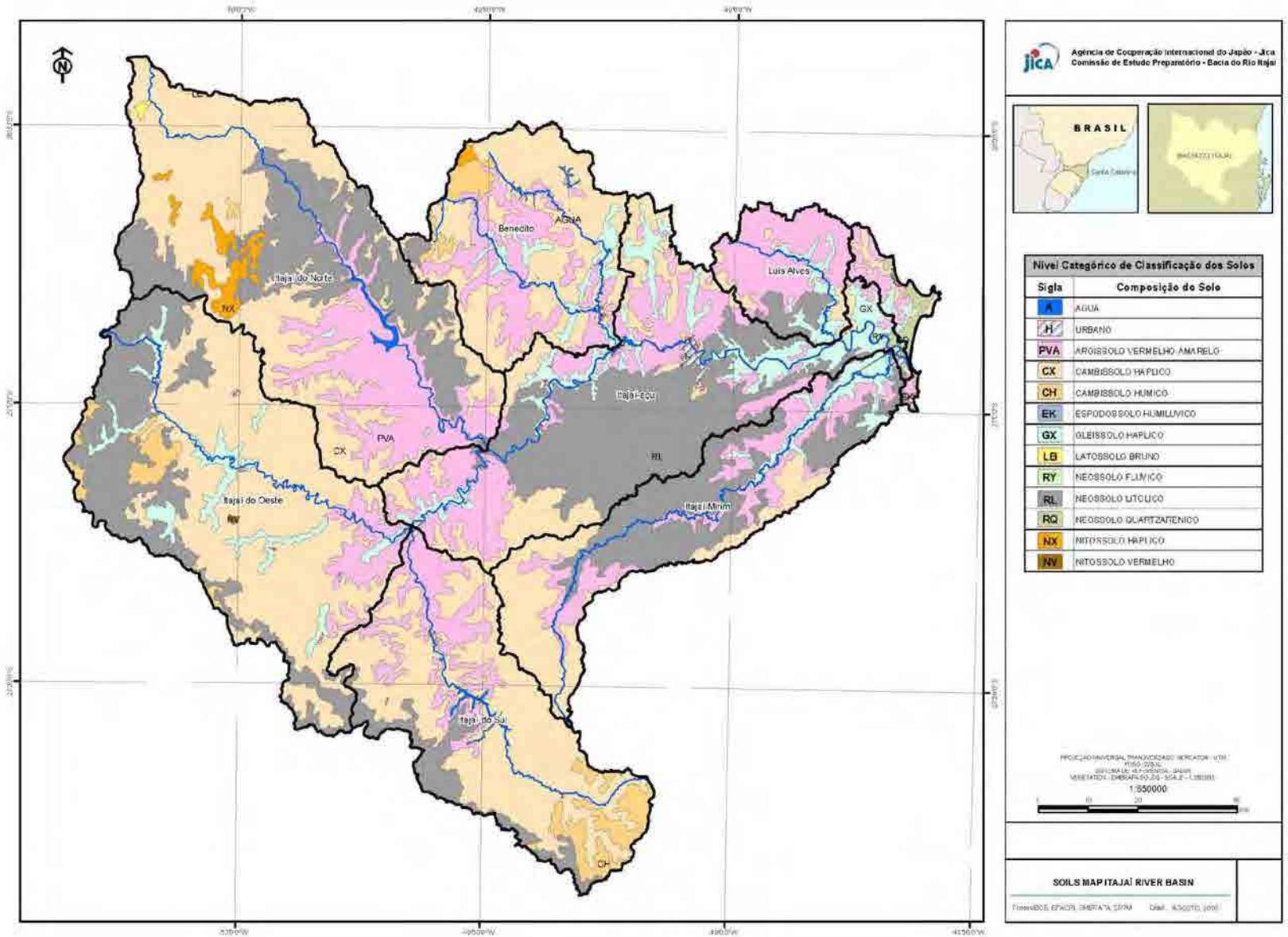


Figura - 2.3.1-Mapa de classificação do solo da Bacia do Rio Itajaí Fonte: Embrapa Solos, 2004

As características de cada solo são as seguintes:

A: Água (Suiiki - Water)

Rios, lagos e pântanos.

U: Urbano (shigaichi - Urban Area)

Distribui-se pela praia e é composto principalmente de partículas de quartzo.

PVA: Aregisso Vermelho-Amarelo (Sekioshokudo - Red-Yellow soils)

Desenvolve-se nas zonas subtropical a tropical. A decomposição dos restos de vegetais é rápida, sendo fina a camada de húmus da parte superior. Por outro lado, ocorre a eluviação de bases e de ácido silícico devido à intensa ação de erosão química por agentes meteorológicos, formando-se o estrato erodido por agentes meteorológicos rico em óxido férrico e óxido de alumínio, de grau de cristalização um tanto alto, e se o grau de oxidação desta parte for alto, a terra torna-se vermelha, e se for baixo, torna-se amarela. Caracteriza-se pelo fato de a argila dispersa na água infiltrada deslocar-se para os poros do solo, depositar e formar a película de argila. As partículas de terra são finas e difíceis de aglomerar, sendo difíceis de precipitar quando dispersas na água.

CX: Cambissolos Haplico (okasshoku shinrindo - Yellow-Brown Forest soils)

CH: Cambissolos Humico (kasshoku shinrindo - Brown Forest soils)

Tem deficiência de argila, húmus, sais solúveis, ferro e óxido de alumínio. Desenvolve uma estrutura de solo fibroso fino a partir da posição intermediária. Como contém estrutura de solo de razão de vazios moderado e minérios erodíveis por agentes meteorológicos em grande quantidade, é apropriado para a agricultura. Desenvolvido nas florestas temperadas e zona subglacial. CX: Cambissolos Haplico é amarelo pardo no estado normal. CH: Cambissolos Humico é húmico e apresenta cor marrom.

EK: Espodossolo Humiluvico (podozoru seido - estrato de eluviação de húmus Podzolic soils)

Forma-se e distribui-se nas florestas de coníferas sob o clima de zona subglacial. São formados nas camadas superiores húmus sedimentado (devido à baixa temperatura, a decomposição de restos de vegetais é lenta, e a água do solo contendo ácido orgânico infiltra para baixo.), e na camada inferior, a camada de cor branco-cinza (as bases são eluviadas pelo ácido orgânico, o ferro e o alumínio unem-se com o orgânico e deslocam-se para baixo, ficando o ácido silícico). Abaixo da camada branco-cinza é formada a camada de cor vermelha a amarela (camada de acúmulo de ferro etc.).

GX: Gleissolo Haplico (Futsu guraido - Ordinary Grey soils)

O Gleissolo háptico é um solo formado no ambiente inundado pela água, e com a falta de oxigênio, compõe a condição de gleissolo redutor. São formadas camadas de gleissolo ou manchas de gleissolo de cor variando de azul cinzento a verde cinzento, em consequência da redução do ferro pela água doce.

LB: Latossolos Bruno (Ratezoru - Ferralsols)

Latossolo é solo de cor amarelo avermelhado com forte ação de erosão química de latissolo por agentes meteorológicos, e devido à intensa ação de erosão química por agentes meteorológicos ocorrida sob clima de alta temperatura e precipitação pluvial abundante das florestas pluviais tropicais e da zona de florestas de monções tropicais, as bases e o ácido silícico são eluviados, permanecendo os óxidos de ferro e de alumínio, com alto grau de cristalização, os quais são eutrofizados, formando o solo vermelho. O solo é rico em tubérculos destes óxidos, compondo uma estrutura porosa e particulada. E restos de vegetais se decompõem rapidamente, sendo muito pobre o desenvolvimento de camada de húmus. Por isso as plantas praticamente não conseguem absorver os nutrientes do solo, limitando-se a absorver os nutrientes de restos tais como folhas caídas. Uma vez derrubadas as árvores, ocorre o endurecimento e a erosão do solo, dificultando a recuperação da floresta. Este solo era chamado também de laterita no passado, mas laterita típica é produto de erosão por agentes meteorológicos do período terciário, que se solidificou e se transformou em rocha com o ressecamento, devendo ser tratado distintamente.

RY: Neossolos Fluviacos (Teichido - Fluvisolos)

Areia, argila, silte que se distribuem no leito dos rios e nas terras planas das margens dos rios.

RL: Neossolos Litólicos (gansetudo - Lithosols)

Tem a característica de não formar subfaixas de solo perpendiculares. Tem como matriz os sedimentos não solidificados e rochas, e basicamente não está erodido por agentes meteorológicos/degenerado.

RQ: Neossolos Quartárenicos (Sekieisha - quartz sand)

Distribui-se pela praia e é composta principalmente por partículas de quartzo.

NX: Nitossolos Haplico (Futsu nitisol) NV: Nitossolos Vermelho (Sekishoku nitisol)

O nitossolo é solo tropical de cor vermelha, e distribui profundamente, tendo boa permeabilidade de água (razão de vazios 50-60%). A partir da parte intermediária, denota-se estrutura de fragmentação em blocos de forma clara e quando se distribui na ribanceira, desmorona facilmente. Quando a razão em peso é superior a 30%, é argila e é rica em kaolinita e haloisita. É rico em Fe_2O_3 , acima de 4%. Devido a estas características, é produtivo em termos de agricultura se comparado com outros solos tropicais.

Tabela - 2.3.2 - Razão de área ocupada por classificação do solo

Símbolo do solo e nome do solo		Razão de área ocupada (área ocupada por cada estrato/área da bacia)							
Denominação brasileira	Símbolo	Bacia inteira	Itajaí do Norte	Itajaí do Oeste	Itajaí do Sul	Benedito	Itajaí-acu	Itajaí Mirim	Luis Alves
		15.111 km ²	3.354 km ²	3.015 km ²	2.027 km ²	1.496 km ²	2.777km ²	1.679 km ²	580 km ²
Água	A	0,8%	0,8%	0,0%	1,0%	1,2%	1,4%	1,1%	0,2%
Urbano	U	0,4%	0,1%	0,2%	0,3%	0,3%	1,2%	0,2%	0,0%
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVA	20,3%	20,1%	5,9%	17,1%	27,9%	24,2%	22,4%	63,0%
Cambissolos Haplico	CX	42,8%	47,3%	56,2%	60,9%	55,7%	17,7%	29,6%	8,9%
Cambissolos Humico	CH	2,6%	0,2%	3,8%	9,1%	5,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Espodossolo Humiluvico	EK	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gleissolo Haplico	GX	6,4%	0,1%	7,6%	0,0%	7,1%	14,6%	7,9%	14,2%
Latossolos Bruno	LB	0,1%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Neossolos Fluviicos	RY	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%	0,0%
Neossolos Litolicos	RL	25,6%	27,6%	26,2%	11,7%	1,6%	40,3%	38,6%	13,7%
Neossolos Quartarênicos	RQ	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%
Nitossolos Haplico	NX	0,9%	3,5%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Nitossolos Vermelho	NV	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Editado pela Equipe de Estudo da JICA com base em Embrapa 2006 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

2.4 Vegetação

Ilustra-se na figura 2.4.1 a classificação da vegetação da Bacia do Rio Itajaí. A definição dessa classificação de cada vegetação é de acordo com a tabela 2.4.1 abaixo.

Tabela - 2.4.1 - Nomenclatura da classificação de vegetação

Nomenclatura	
Nomenclatura em Português	Nomenclatura em inglês
Área urbana	Urban área
Corpos d'água	Water body
Campo e floresta subtropical perenifolia	Field and forest, subtropical evergreen
Campo subtropical	Subtropical Field
Fase campo subtropical	Phase field subtropical
Fase floresta subtropical perenifolia	Phase subtropical evergreen forests
Fase floresta tropical perenifolia de varzea	Phase lowland evergreen tropical rain forest
Floresta e campo subtropical	Subtropical forest and field
Floresta subtropical altimontana	Subtropical forest highland
Floresta subtropical perenifolia	Subtropical evergreen forest
Floresta tropical de restinga	Tropical sandbar
Floresta tropical de varzea	Lowland tropical forest
Floresta tropical perenifolia	Tropical forest evergreen
Floresta tropical perenifolia de varzea	Lowland evergreen tropical forest
Floresta tropical/subtropical perenifolia	Tropical subtropical evergreen forest
Floresta tropical/subtropical perenifolia de Varzea	Lowland tropical/subtropical forest

Fonte: Elaborado pela Equipe de Estudos da Jica, baseado na informação de IBGE, EPAGRI, SDS, SRTM

Na tabela 2.4.1 ilustra-se a porcentagem de área ocupada pela vegetação em toda a Bacia do Rio Itajaí e nas sub-bacias dos afluentes.

A floresta subtropical perenifolia é a vegetação com maior distribuição em toda a Bacia e ocupa a dimensão equivalente a 38%. A floresta tropical/subtropical perenifolia é a segunda maior em termos de distribuição e ocupa 29%. A floresta tropical perenifolia é a terceira maior e ocupa 15%. Esses 3 tipos de vegetação ultrapassam 82% da distribuição vegetativa da Bacia.

Nas sub-bacias dos Rios Itajaí do Norte, Itajaí do Oeste e Itajaí do Sul que se localizam ao Oeste da Serra do Mar, distribuem-se a floresta subtropical perenifolia com maiores percentagens, correspondentes a 52% e a 63% dessa região, além da floresta tropical perenifolia com pequena área de ocupação, com

percentuais de 1% a 9%.

No lado leste da Serra do Mar e norte da Bacia do Rio Itajaí-Açu, encontra-se a floresta tropical perenifolia que ocupam 33% de toda a sub-bacia do Rio Benedito e 72% da sub-bacia do Rio Luis Alves.

No lado leste da Serra do Mar e sul da Bacia do Rio Itajaí-Açu distribui-se a floresta tropical/subtropical perenifolia com ocupação bastante expressiva, correspondente a 51% de toda a Bacia do Rio Itajaí-Açu e 58% de toda a Bacia do Rio Itajaí Mirim.

Tabela - 2.4.2 - Porcentagem da área ocupada da vegetação

Tipos de vegetação e solo	Porcentagem da área ocupada (Área ocupada por cada categoria de vegetação / área da bacia)							
	Toda Bacia	Itajai do Norte	Itajai do Oeste	Itajai do Sul	Benedito	Itajai-acu	Itajai Mirim	Luis Alves
Nomenclatura no Brasil	15.111 km ²	3.354 km ²	3.015 km ²	2.027 km ²	1.496 km ²	2.777 km ²	1.679 km ²	580 km ²
Área urbana	0,4%	0,1%	0,2%	0,3%	0,3%	1,2%	1,1%	0,0%
Corpos d'água	0,8%	0,8%	0,0%	1,0%	1,2%	1,4%	0,2%	0,2%
Campo e floresta subtropical perenifolia	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	5,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Campo subtropical	0,2%	0,0%	0,0%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fase campo subtropical	0,4%	0,0%	0,0%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fase floresta subtropical perenifolia	4,1%	11,9%	6,1%	0,0%	0,0%	1,3%	0,0%	0,0%
Fase floresta tropical perenifolia de varzea	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%	0,0%
Floresta e campo subtropical	2,1%	2,4%	4,6%	4,4%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Floresta subtropical altimontana	2,4%	0,0%	4,4%	11,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Floresta subtropical perenifolia	38,3%	63,4%	59,1%	51,6%	24,5%	3,1%	18,7%	0,0%
Floresta tropical de restinga	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%
Floresta tropical de varzea	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	0,7%	0,0%	0,0%
Floresta tropical perenifolia	14,5%	8,5%	2,3%	0,6%	33,3%	25,5%	10,7%	71,8%
Floresta tropical perenifolia de varzea	6,2%	0,1%	4,1%	0,0%	7,4%	14,8%	11,1%	14,2%
Floresta tropical/subtropical perenifolia	28,9%	12,9%	15,6%	26,7%	25,5%	51,4%	58,0%	13,7%
Floresta tropical/subtropical perenifolia de Várzea	0,7%	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	00%

Fonte: Editado pela Equipe de Estudos da JICA, baseado nas informações de IBGE, EPAGRI, SDS, SRTM.

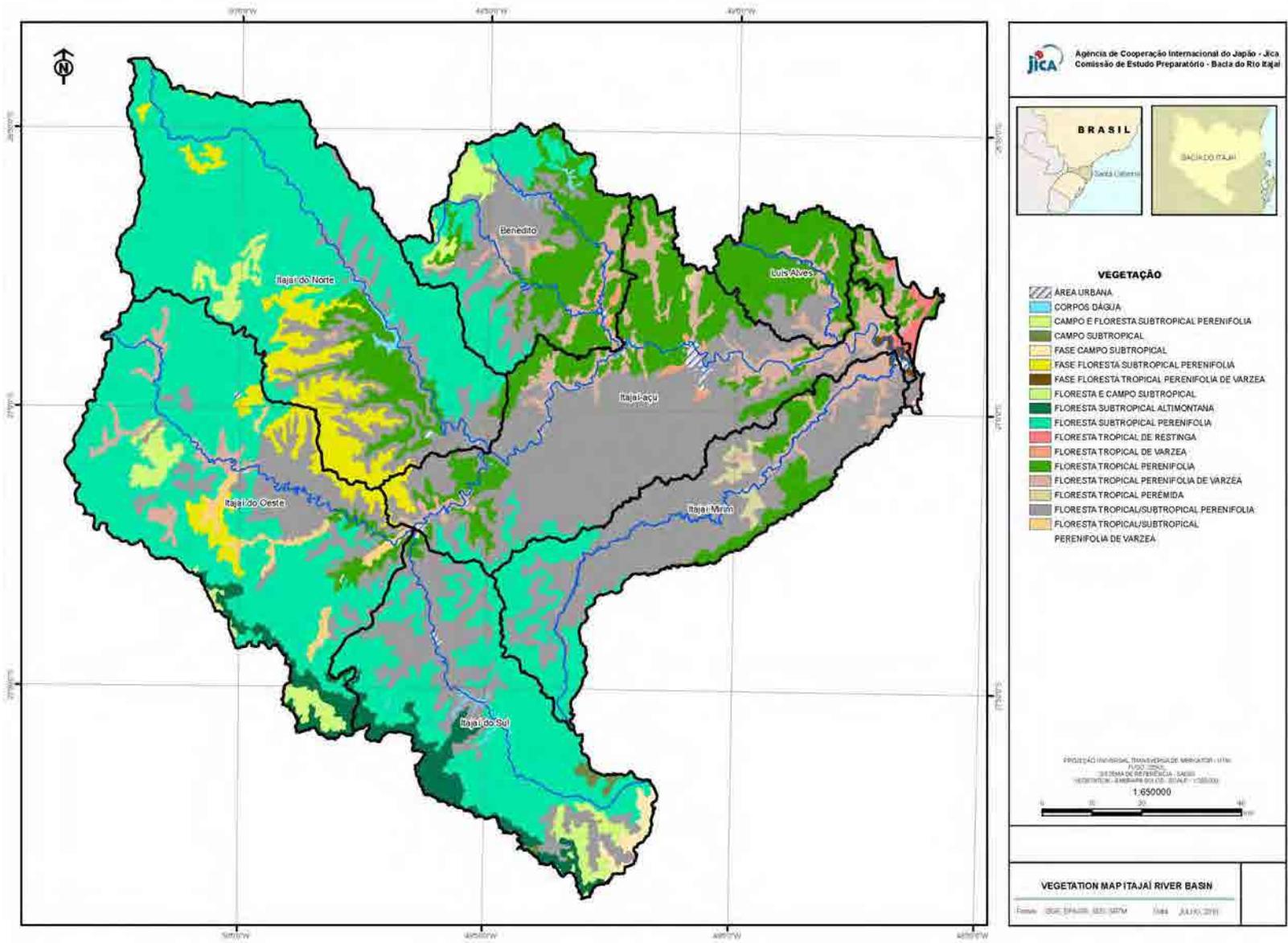


Figura - 2.4.1 - Classificação da vegetação da Bacia do Rio Itajaí Fonte: IBGE, EPAGRI, SDS, SRTM

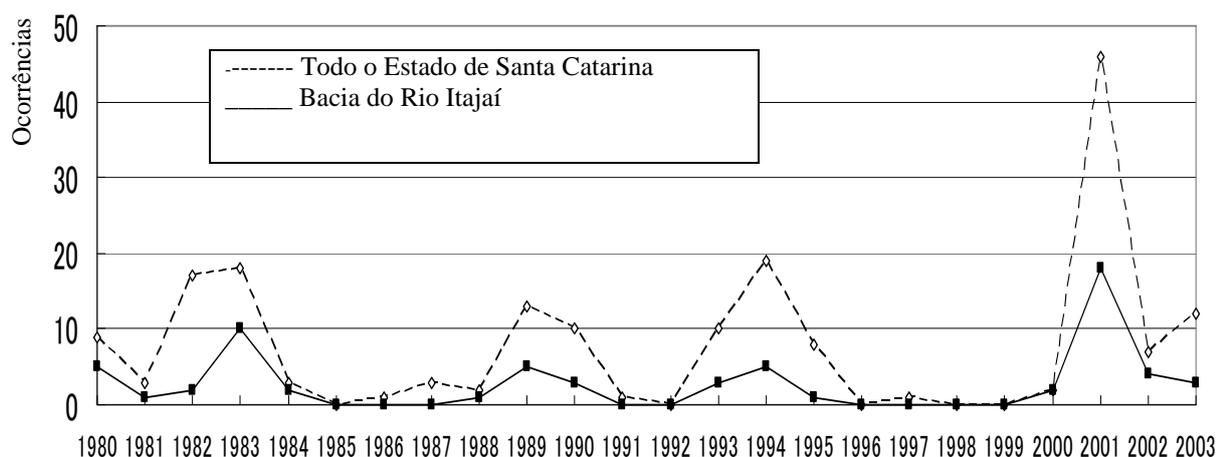
CAPÍTULO 3 STATUS DE ESCORREGAMENTOS E QUITAÇÃO DE SEDIMENTOS

3.1 Escorregamentos

3.1.1 Situação e projetos de reconstrução

(1) Histórico dos desastres de escorregamento ao longo dos anos.

Na Figura 3.1.1 ilustra o número de ocorrências de escorregamento da Bacia do Rio Itajaí de acordo com os dados da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina. Durante 23 anos, entre 1980 e 2003, dentro de 185 desastres de escorregamento ocorridos em todo o Estado de Santa Catarina, na Bacia do Rio Itajaí houve 65 casos, correspondendo a 35% do total, um alto índice de ocorrências de desastres.



Fonte: Elaborado pela Equipe de Estudo da JICA baseado nos dados da Defesa Civil de Santa Catarina

Figura - 3.1.1 - Evolução do número de escorregamentos no Estado de Santa Catarina e na Bacia do Rio Itajaí ao longo dos anos (1980-2003)

Na tabela 3.1.1, mostra-se o número de ocorrências de escorregamento do Estado de Santa Catarina e da Bacia do Rio Itajaí, a precipitação, as áreas e as populações.

A área da Bacia do Rio Itajaí representa 16% da área do Estado de Santa Catarina. O número de ocorrências de escorregamento anual em todo o Estado numa área de 1.000 km² é de 0,08 casos/1.000 km², enquanto que na Bacia do Rio Itajaí é de 0,19 casos/1.000 km²/ano, sendo 2,2 vezes maior e nível relativamente alto. Também em termos de número de ocorrências anuais de escorregamentos por habitantes, indica que no Estado de Santa Catarina ocorrem 1,6 ocorrências/milhão de habitantes/ano, enquanto que a Bacia do Rio Itajaí ocorrem 2,8 ocorrências/milhão de habitantes/ano, ou seja, 1,7 vezes maior. A Bacia do Rio Itajaí tem densidade demográfica relativamente alta, 68,4 habitantes/ km² contra 51,2 habitantes/km² do Estado de Santa Catarina. Não se observa nenhuma correlação entre as ocorrências de desastres de escorregamentos e as precipitações anuais ou as precipitações máximas mensais.

Tabela - 3.1.1 - Mudança anual do número de escorregamento no estado de Santa Catarina e na Bacia do Rio Itajaí (1980-2003)

	Ano	Todo o estado de Santa Catarina	Bacia do Rio Itajaí	Proporção da Bacia do Rio Itajaí em relação ao Estado de Santa Catarina	Valor máximo anual de índice de unidade do solo (mm)				
					Rio do Campo	Ituporanga	Indaial	Blumenau	Itajaí
Número de escorregamento	1980	9	5	56%	-	-	-	-	-
	1981	3	1	33%	-	-	-	-	-
	1982	17	2	12%	-	-	-	-	-
	1983	18	10	56%	-	-	-	-	-
	1984	3	2	67%	-	-	-	-	-
	1985	0	0	-	-	-	-	-	-
	1986	1	0	0%	-	-	-	-	-
	1987	3	0	0%	-	-	-	-	113
	1988	2	1	50%	-	72	-	-	60
	1989	13	5	38%	-	99	-	-	123
	1990	10	3	30%	-	94	-	-	89
	1991	1	0	0%	-	88	96	-	79
	1992	0	0	-	-	101	131	-	131
	1993	10	3	30%	-	84	91	-	100
	1994	19	5	26%	-	91	99	-	117
	1995	8	1	13%	82	83	109	-	132
	1996	0	0	-	90	94	85	-	108
	1997	1	0	0%	101	109	117	113	98
	1998	0	0	-	119	81	97	111	136
	1999	0	0	-	95	86	100	81	184
2000	2	2	100%	108	102	90	91	122	
2001	46	18	39%	132	104	154	103	121	
2002	7	4	57%	125	86	115	62	86	
2003	12	3	25%	113	93	87	102	167	
Total de 1980 a 2003	185	65	35%						
Área (1.000 km ²)	95	15	16%						
População (milhares de habitantes) 1996	4,875	1,027	21%						

Fonte: Elaborada pela Equipe de Estudo da JICA com base nos dados da Defesa Civil-SC

(2) Correlação entre índice de unidade do solo e desastre

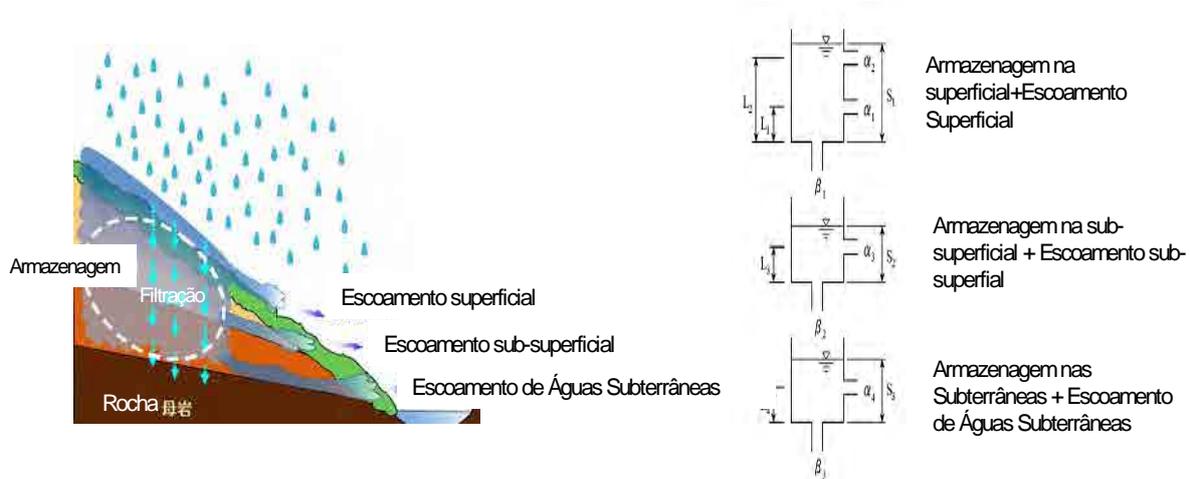
Na tabela 3.2.1, mostra-se também os valores máximos anual de índice de umidade do solo (Soil Water Index: índice de volume de chuva que utiliza o valor de precipitação por hora, feito de modo que reflita o volume de água no solo).

A índice de umidade de solo utilizados no Instituto Meteorológico do Japão, estima-se através do modelo de armazenagem da água indicados conforme:

O índice de umidade do solo (IUS; Soil Water Index) é um indicador calculado dos escoamentos das águas subterrâneas que indica os equilíbrios hidrológicos subterrâneos. Também, o índice de umidades do solo representa as situações escaladas de varias tipos de camadas dos solos que tem diferentes capacidades de contenção de água. São contabilizadas as quantias de escoamentos de cada câmara de solo, através do modelo de tanque bidimensional. Na figura 9.2.2, indica-se três tanques, cada uma tendo um escamento como indicadas na forma “ $\alpha_1\alpha_2, \alpha_3\alpha_4$ ”.

Na Tabela 9.2.1, indica-se o índice de umidade de solo calculado com base nas chuvas de novembro de 2008 que causou grande calamidade de desastres e suas probabilidades de ocorrências. Os dados

foram colhidos das estações onde contém mais de 10 anos de registro. Devido à falta de informações de precipitações horárias, foram estimadas as precipitações horárias e foi estimado o índice de umidade do solo. Cabem mencionar que os índices de umidades dos solos nas cidades onde teve grande desastre foram calculados maiores do que 145 mm, sendo estimado mais de 20 anos de probabilidades de ocorrências.



Parâmetros comumente utilizados no Japão para alerta de Desastre de Escorregamento			
	Armazenagem Superficial	Armazenagem sub-superficial	Armazenagem Subterrânea
Altura de orifício (mm)	L ₁ 15 L ₂ 60	L ₃ 15	L ₄ 15
Coefficiente de Escoamento (mm/H)	α ₁ 0.10 α ₂ 0.15	α ₃ 0.05	α ₄ 0.01
Coefficiente de Infiltração (mm/H)	β ₁ 0.10	β ₂ 0.05	β ₃ 0.01

Figura - 3.1.2 - Índices de umidade de solo utilizada para a alerta de desastres de escorregamento

(3) Características e desastres dos escorregamentos causados com chuvas intensas de 2008.

Foram relatados os desastres decorrentes da intensificação do escorregamento e inundação ocorridos com as chuvas intensas de novembro de 2008, apresentados na tabela 3.1.2. Os 89 mortos representam 0,09% dos 103.602 refugiados, 0,13% dos 66.556 afetados, e 0,61% dos 14.573 desabrigados. Nas informações oficiais, não estão especificadas as causas da ocorrência dos desastres de enchentes e de escorregamentos. Segundo as informações da Defesa Civil de Santa Catarina, 97% das mortes se devem aos escorregamentos. Com relação à enchente, as pessoas são evacuadas pelo sistema de alerta, evitando a morte, mas com relação ao escorregamento, devido à falta de sistema de alerta, não houve praticamente nenhuma evacuação, e provavelmente isso aumentou o número de casos que resultaram em mortes.

A tabela 3.1.3 mostra a situação do índice de umidade do solo da tempestade de novembro de 2008. O índice de umidade do solo faz parte dos dados de volume de chuva fornecidos pelo EPAGRI/CIRAM e refere-se aos dados de 5 pontos da Bacia do Rio Itajaí observados continuamente há mais de dez anos (registro manual de 2 a 3 vezes ao dia através de observação visual) e os dados foram calculados em horas linearmente.

A figura 3.1.3 mostra o índice de umidade do solo (Soil Water Index: SWI) utilizado no alerta de escorregamento deste país e os municípios que declararam estado de emergência/calamidade na tempestade de novembro de 2008. Somente nos municípios que declararam estado de emergência/calamidade houve casas destruídas e mortes, ficando englobados na faixa com o valor máximo de índice de umidade do solo acima de 145 mm e tempo de recorrência acima de 20 anos.

Tabela - 3.1.2 - Registro de desastres causados pela inundação e escorregamento novembro de 2008

	População	Proporção de flagelados	Número de pessoas evacuadas	Número de flagelados	Pessoas que perderam casas	Feridos	Mortos	Casas danificadas	Extensão das rodovias afetadas (km)
Benedito Novo	9.841	31%	102	712	210		2	191	576
Blumenau	292.972	35%		25.000	5.209	2.383	24	18.000	
Brusque	94.962	100%		8.000	1.200	66	1	1.220	120
Gaspar	52.428	100%		7.100	4.300	280	16	8.700	600
Ilhota	11.552	100%	3.500	3.500	1.300	67	26	406	
Itajaí	163.218	100%	100.000	18.208	1.929	1.800	5	28.400	
Luis Alves	8.986	100%		3.232	239	41	10	220	40
Pomerode	25.261	1%		182	48		1	50	100
Rio dos Cedros	9.685	88%		595	96			283	300
Rodeios	10.773	5%		27	42		4	35	144
Timbó	33.326	2%						264	
	713.004		103.602	66.556	14.573	4.637	89	57.769	1.880

Fonte: AVADANs enviados pelos municípios à Defesa Civil de Santa Catarina, nos dias 24 e 25 de novembro de 2008

Tabela - 3.1.3 - Índice de umidade de solo calculada com Chuva Intensa de novembro de 2008

Nome das localidades observadas	Estação No.	Valor máximo de índice de umidade do solo por ocasião da chuva intensa de novembro de 2008	Anos recorrência da coluna à esquerda	Período de registro de volume de chuva utilizada no cálculo
Rio do Campo	639	37 mm	Menos de um ano	De 1995 a 2009 (15 anos)
Ituporanga	191	43 mm	Menos de um ano	De 1988 a 2009 (22 anos)
Indaial	167	145 mm	20 anos	De 1991 a 2009 (19 anos)
Blumenau	35	245 mm	60 anos	De 1997 a 2009 (13 anos)
Itajaí	183	191 mm	30 anos	De 1987 a 2009 (23 anos)

Fonte: Elaborada pela Equipe de Estudo da JICA

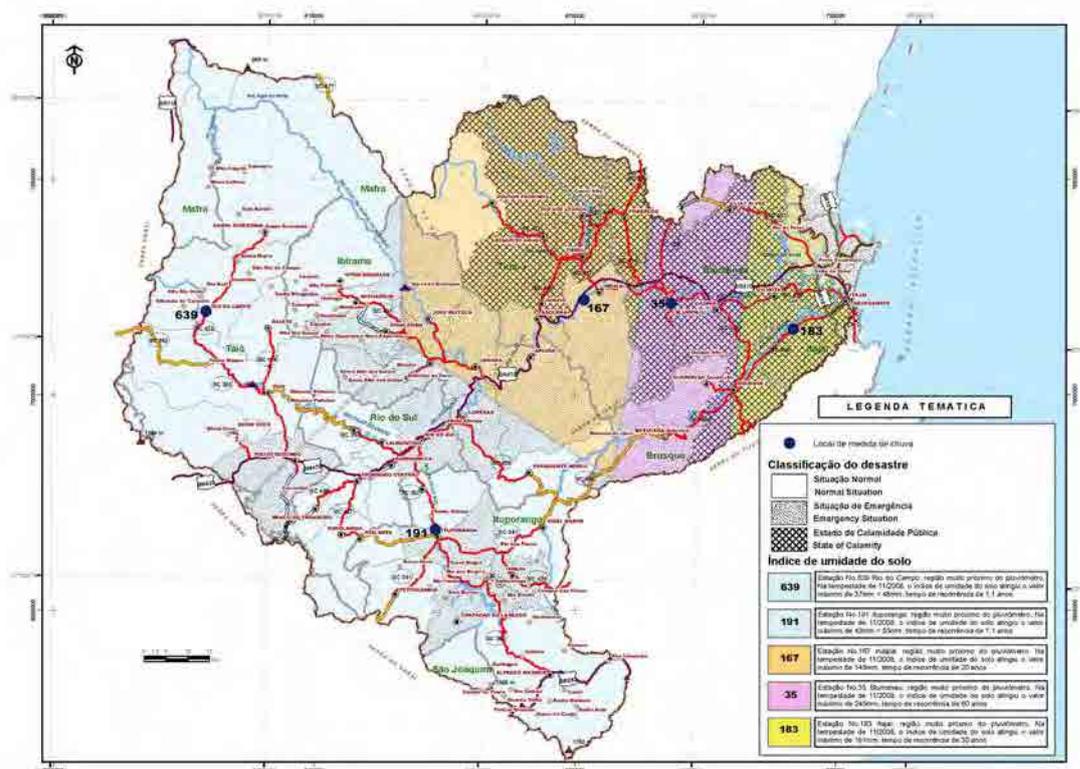


Figura - 3.1.3 - Índice de umidade do solo e declaração de estado de emergência / calamidade em 2008

(4) Obras de reconstrução de desastres de escorregamento em novembro de 2008

No relatório “Reconstrução Áreas afetadas Catástrofe Novembro/2008”, publicado em novembro de 2009, menciona o valor aplicado de R\$520 milhões para os custos de medidas emergenciais e obras de recuperação. Além destas obras de reconstrução realizadas pelo Estado, existem as obras de recuperação da estrada BR 470 e as obras dos escorregamentos. Na cidade de Blumenau, ocorreram as interdições de estradas pelos escorregamentos e caída de pedras grandes com 5 m de diâmetro. Na cidade de Gaspar, teve explosões de gás pelos deslizamentos da terra. Cabe ressaltar que estes desastres foram sanados no dia 12 de dezembro do mesmo ano.

Tabela - 3.1.4 - Registro de desastres causados pela inundação e escorregamento novembro de 2008

	População	Proporção afetada	Número de evacuados	Número de afetados	Pessoas que perderam casas	Feridos	Mortos	Casas que sofreram danos	Extensão das estradas que sofreram danos (km)
Benedito Novo	9.841	31%	102	712	210		2	191	576
Blumenau	292.972	35%		25.000	5.209	2.383	24	18.000	
Brusque	94.962	100%		8.000	1.200	66	1	1.220	120
Gaspar	52.428	100%		7.100	4.300	280	16	8.700	600
Ilhota	11.552	100%	3.500	3.500	1.300	67	26	406	
Itajaí	163.218	100%	100.000	18.208	1.929	1.800	5	28.400	
Luiz Alves	8.986	100%		3.232	239	41	10	220	40
Pomerode	25.261	1%		182	48		1	50	100
Rio dos Cedros	9.685	88%		595	96			283	300
Rodeios	10.773	5%		27	42		4	35	144
Timbó	33.326	2%						264	
Total	713.004		103.602	66.556	14.573	4.637	89	57.769	1.880

Fonte: AVADAMs enviados pelos municípios à Defesa Civil de Santa Catarina, nos dias 24 e 25 de novembro de 2008.

3.1.2 Classificação de escorregamento de terra conforme a forma e suas características.

(1) Dados gerais

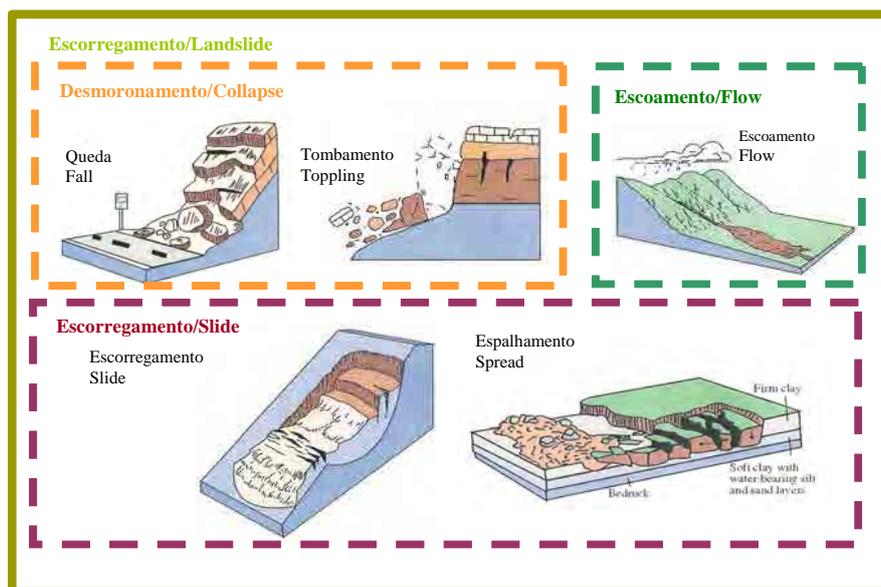
No Brasil, os termos “escorregamento e deslizamento” são utilizados no mesmo sentido, porém, nesta será utilizado o termo escorregamento, seguindo o exemplo do livro “Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina de 2004” (explicação ilustrada de catástrofes).

A classificação de escorregamento conhecida no mundo é de Varnes 1978 que classifica 5 tipos de escorregamento conforme a forma de movimentação: “Fall (queda)”, “Topple (tombamento)”, “Slide (escorregamento)”, “Spread (espalhamento)” e “Flow (escoamento)”. Neste estudo foram unificados os termos “Fall (queda)” e “Topple (tombamento)” em “Collapse (colapso)”, e “Slide (escorregamento)” e “Spread (espalhamento)” em “Slide (escorregamento)”, tendo em vista que os pontos que requerem cuidado do ponto de vista das características de forma de movimentação no controle de medidas contra escorregamento são iguais. O termo escorregamento será utilizado como escorregamento de terra (no sentido lato) e também como escorregamento (no sentido estrito).

Na tabela 3.1.4, a ilustração da classificação de escorregamento de terra conforme tipo de movimentação do talude e tipo de terreno. As características de ocorrência do escorregamento e as medidas apropriadas variam conforme o tipo de escorregamento. Neste estudo, foram determinados os tipos de escorregamento para ser utilizado como elemento de estudo para o controle de escorregamento. Estes tipos não são claramente definidos, havendo os tipos intermediários, e tipo de movimento e os materiais deslocados podem mudar durante o processo de deslocamento após o início, o que não é diferente na área ora pesquisada. Por exemplo, há casos em que, mesmo que no início de ocorrência fosse desmoronamento, após deslocar-se para a correnteza, transformou-se em escoamento, e casos em que a extremidade dos sedimentos gerados pelo escoamento é predominantemente áspera, mas passa para predominantemente fino a partir da extremidade à distância.

Neste estudo, a queda significa o fenômeno em que a terra e as rochas que compõem o talude vêm desmoronando em tempo relativamente curto, devido à tempestade ou abalo sísmico. Distingue-se do “desmoronamento” em que blocos de terra ou de rocha vêm deslizando devagar, ou do “fluxo” em que a terra que se sedimentou ou caiu na correnteza na ocasião das chuvas intensas vem fluindo de uma vez junto com grande volume de água, pois as características de desastres e as técnicas apropriadas de controle são diferentes.

É fenômeno mais comum na Bacia do Rio Itajaí, e tem possibilidade de causar desastres e atingindo os seres humanos por ter movimento veloz da forma como ocorre com o “escoamento”. A modalidade mais comum é a do desmoronamento de terra fina formada em consequência da formação do solo residual por intemperismo no estrato superficial, devido à fragilização decorrente da tempestade.



Fonte: Editada pela Equipe de Estudo da JICA com base em Varnes 1982

Figura - 3.1.4- Classificação por tipo de movimento do escorregamento de terra

Tabela - 3.1.5 - Classificação de escorregamento de terra conforme o tipo de movimento do talude e o tipo de terreno

Tipo de Movimento	Tipo de Material		
	Leito de Rocha	Solos de Engenharia	
		Predominantemente Áspero	Predominantemente Fino
Desmoronamento (Queda, Tombamento).	Desmoronamento de Rocha	Desmoronamento de Detritos	Desmoronamento de Terra
Escorregamento (escorregamento, espalhamento).	Escorregamento de Rocha	Escorregamento de Detritos	Escorregamento de Terra
Escoamento	-	Escoamento de Detritos	Escoamento de Terra

Nota: A informação entre parênteses é a classificação de Dr. Varnes, 1978. Fonte: Elaborado pela Equipe de Estudo

(2) Características do desmoronamento

O tipo de solo em que este desmoronamento acontece com frequência é terra amarelo avermelhado. Esse solo amarelo avermelhado é formado na parte profunda devido à erosão eólica, podendo chegar à profundidade superior a 10 m do estrato superficial. É dividida em terra vermelha (estrato superior) e terra amarela (estrato inferior). Essa camada vermelha está na fase avançada de intemperismo, com acentuada perda de resistência devido à absorção de água, e a terra desmoronada deixa o rio turvo, na cor marrom avermelhado, e as partículas finas não se precipitam com facilidade, sendo levadas até o mar (os sedimentos das margens do Rio Itajaí, na cidade de Blumenau, são areias finas pardacentas,

sendo verificada apenas uma camada fina, de menos de 1 mm, de areia fina marrom avermelhada na camada superficial). A camada amarela está com intemperismo relativamente pequena, tendo resistência.

Na maioria dos locais onde houve queda, somente a parte da terra vermelha tinha desmoronado, na espessura inferior a 1m. Na região onde o Rio Itajaí-açu corta a Serra do Mar, verifica-se a queda de rochas do talude rochoso. Não é clara a relação entre a chuva e a ocorrência de queda das rochas.



Danos causados pelas chuvas intensas de novembro de 2008
BR 470, Km 44, no município de Blumenau.
O desmoronamento de terra amarelo avermelhada obstruiu completamente a estrada.

Foto: fornecida pelo escritório de DENIT Rio do Sul



Danos causados pelas chuvas intensas de novembro de 2008
BR470, Km 41, no município de Gaspar.
A estrada, composta pela terra vermelha, desmoronou subitamente, provocando a queda de veículos que lá transitavam.

Foto: fornecida pelo escritório de DENIT Rio do Sul



Danos causados pela tempestade de novembro de 2008
BR470, no município de Blumenau.
Uma rocha de 5 m de comprimento que estava contida na terra amarela avermelhada soltou-se devido à fragilização do solo em volta em consequência da absorção de água, caindo na estrada.

Foto: fornecida pelo DNIT-Rio do Sul



Danos causados pela tempestade de novembro de 2008
Uma camada fina de litossolo que estava cobrindo a rocha de embasamento na zona urbana do município de Gaspar, na rodovia estadual SC470, desmoronou a partir do limite com a rocha de embasamento. A terra desmoronada cobriu toda a largura da estrada, chegando até o terreno do posto de gasolina que ficava do outro lado da estrada.

Foto: fornecida pela Defesa Civil – Gaspar



Local de obra de prevenção de desastre na estrada municipal de Blumenau, executada pelo DEINFRA. Desmoronamento da camada fina do solo vermelho e amarelo que cobre a rocha de embasamento.

Foto: Equipe de Estudo da JICA, maio de 2010.

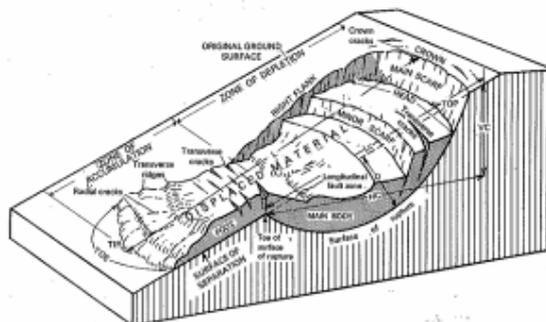


Ocorrência de erosão na camada amarela avermelhada no terreno onde houve corte de encosta no município de Pomerode. Fragiliza-se facilmente com a água infiltrada e fica sujeita a erosão.

Foto: Equipe de Estudo da JICA, maio de 2010.

(3) Características do escorregamento

O escorregamento é um fenômeno de tensão de cisalhamento ou deslocamento de cisalhamento que ocorre dentro de uma ou várias faces ou camadas finas claramente definidas, e a sua ocorrência é progressiva e destrutiva. O escorregamento é o fenômeno em que um bloco de terra da posição superior se desloca devagar tendo estas faces de escorregamento, em grande escala, com pouca perturbação do bloco de terra em deslocamento, sendo que a maior parte do bloco de terra permanece dentro da área de ocorrência, e no escorregamento típico, que tem a face de escorregamento rotativo, observam-se as características topográficas apresentadas na figura seguinte.



Fonte: Dr. Varnes 1978

Figura - 3.1.5 - Perfil do escorregamento rotativo

Nas pesquisas de casos deste país, a profundidade de desmoronamento é de 2 m no máximo, mas o comprimento médio e a profundidade média do escorregamento chegam a cerca de 300 m e cerca de 18 m, respectivamente, e enquanto a queda ocorre com maior frequência nos morros com mais de 30 graus de inclinação, o escorregamento ocorre nos morros de 15 a 30 graus de inclinação.

Como o escorregamento é uma alteração que ocorre num ponto profundo, se comparado com o desmoronamento, é um fenômeno de cisalhamento com pouca influência da chuva, ou com efeito retardado da chuva. O escorregamento do município de Pomerode da Bacia do Rio Itajaí que se tornou ativo no final de agosto de 2010, ocorreu independentemente das chuvas. O escorregamento no município de Benedito Novo que causou deslizamento de encosta em torno de 5 m de altura em dezembro de 2008, provocado um mês após, pelas chuvas intensas de novembro de 2008. As condições geológicas que favorecem a ocorrência de escorregamento na Bacia do Rio Itajaí são as seguintes:

- i. Ser uma área de distribuição de solos de grande espessura, principalmente solo amarelo avermelhado. O solo fica sujeito à perda de resistência com a absorção da água, facilitando a formação das faces para o deslizamento (encosta das montanhas às margens do Rio Itajaí-açu

e dos afluentes, com inclinação inferior a 30 graus).

- ii. Ser uma área em que se distribuem rocha mole sedimentar argiloso da era mesozoica, especialmente na região onde tem acima dela as rochas vulcânicas tais como basalto da formação Serra Geral. Além da rocha mole sedimentar argilosa estar deteriorada devido à fina lâmina de lava e água quente que penetrou acompanhando a face de estratificação, concentra-se nela a água proveniente da água infiltrada pela fissura e represada no basalto, favorecendo o surgimento de face de escorregamento. (Bacias dos rios Itajaí do Norte, Itajaí do Oeste, Itajaí do Sul)



O escorregamento da área de distribuição de solo amarelo avermelhado da região sudoeste de Pomerode foi ativado no final de agosto de 2010 e destruiu 2 casas próximas à encosta. As adjacências das duas casas no primeiro plano da foto eram pântano até 25 anos atrás, e há distribuição de terras moles. A ativação se deu na seca, mas acredita-se que a fissura da face de escorregamento dentro do solo amarelo avermelhado avançou ao longo dos anos, ativando-se por inércia....

Foto: feita pela Equipe de Estudo da JICA em 14 de setembro de 2010



Escorregamento da área de distribuição de rochas sedimentares argiloso da era mesozoica na rodovia estadual SC302, no a montante da represa do rio Itajaí do Oeste, no município de Taió. A estrada corresponde à cabeceira do escorregamento, e no lado esquerdo na foto há o rio, e no morro ao lado direito denota-se distribuição de filito com mina de água.

Foto: feita pela Equipe de Estudo da JICA
Fotografada em 09 de maio de 2010



Escorregamento da área da prefeitura de Benedito Novo.

Altura de 5 m de deslizamento da parte da cabeceira ocorrido com o solo amarelo avermelhado. Ocorreu em dezembro cerca de um mês após as chuvas intensas de novembro de 2008.

Foto: fornecida pela Defesa Civil - Benedito Novo Fotografada em dezembro de 2008.



Trecho entre Luiz Alves - Massaranduba da rodovia estadual SC413 no município de Luiz Alves. Há face de escorregamento dentro da terra amarelo avermelhada. Na ocasião das chuvas intensas de novembro de 2008, ele obstruiu totalmente a estrada. A face de escorregamento situa-se um pouco acima da superfície da estrada, e mesmo agora, o trecho de 60 m de comprimento ao longo da entrada está avançando para a estrada. O comprimento total, incluindo a parte não ativada, é de 240 m.

Foto: feita pela Equipe de Estudo da JICA – fotografada em 24 de maio de 2010.

3.1.4 Características de escoamento

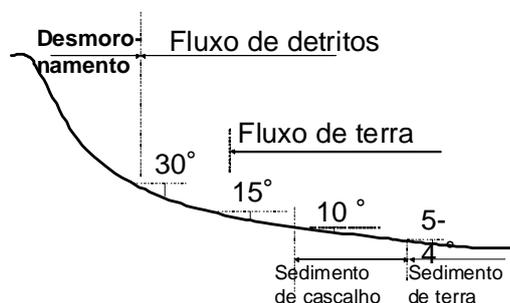
A enxurrada, assim como desmoronamento, caracteriza-se pelo fato de causar grandes danos às vidas humanas, destruir casas e prédios, e demanda longo tempo e recursos financeiros para a restauração.

As características dos desastres causados pelo escoamento se devem às seguintes características:

- i. Grande velocidade. De modo geral, o escoamento de detritos (que contém grande quantidade de detritos) desce cerca de 5 a 10 m/segundo, e o escoamento de terra (com poucos detritos, com menor proporção de terra, desce 10 a 20 m/segundo).
- ii. Contêm rochas enormes e troncos de árvores. Principalmente na ponta do escoamento estão contidas rochas grandes de alguns metros de diâmetro e troncos de árvores, de modo que é gerada uma grande força de impacto, destruindo casas.
- iii. Ocorre subitamente. A ocorrência de fluxo é súbita, os prenúncios não sendo visíveis.

A figura 6.2.3 mostra a relação entre a ocorrência de escoamento devido ao desmoronamento, sua descida e sedimentação, e a inclinação.

Da mesma forma, segundo o relatório do Instituto de Engenharia Civil no. 157 de 1982, a parte de sedimentação do escoamento (inclinação antes da sedimentação) é superior a 2 graus, sendo inferior a 10 graus em cerca de 70% dos casos. No campo a ser inundado na saída da correnteza em que se prevê a ocorrência de escoamento, é preciso considerar que, se a inclinação for superior a 2 graus, há o risco de ser atingido pelo fluxo.



Fonte: Eto, Ito e outros: elaborada pela equipe de Estudo da JICA com base na coleção de palestras e tese da reunião de apresentação de resultados de pesquisa sobre técnicas de prevenção de erosão e escorregamento.

Figura - 3.1.6 - Inclinação da correnteza e do campo sujeito à inundação e o tipo de deslocamento de terra

Segundo estudos de casos no Japão, conforme ilustrado na tabela 6.2.3, o fluxo acontece com relativa facilidade nas regiões com distribuição de granito (sul dos municípios Gaspar, Blumenau e Indaial, sul do Rio Itajaí Mirim nos municípios de Brusque e Botuverá) e de rochas metamórficas (norte de Luiz Alves, Pomerode e Gaspar, parte ao norte do Rio Itajaí de Blumenau, parte ao norte do Rio Itajaí, região das sub-bacias do Rio Benedito e Rio dos Cedros, centro de Ibirama etc.).



Foco de escoamento



Distribuem-se rocha gnaisse metamórfica na correnteza abaixo do escoamento.



Parte de sedimentação do escoamento

Área castigada pelo escoamento causado pelas chuvas intensas de novembro de 2008 na bacia da nascente de Ribeirão Velha, em Blumenau. Cinco pessoas morreram vítimas por ele. Foto: feita pela Equipe de Estudo da JICA em 27 de maio de 2010



Área de risco em potencial que pode ser atingida pelo escoamento na bacia do Ribeirão Garcia, em Blumenau. Há concentração de residências na parte da correnteza.

Foto: feita pela Equipe de Estudo da JICA em 27 de maio de 2010



Escoamento de terra de novembro de 2008 da região de Ribeirão Pinheiro no município de Benedito Novo; areia.

Foto: fornecida pela Defesa Civil - Benedito Novo



Escoamento de terra ocorrido em novembro de 2008 em Benedito Novo; há fluxo de terra amarelo avermelhada, mas contém também detritos de gnaisses. Interceptou o rio Cunha e formou temporariamente uma represa natural. No fundo da foto, abaixo da represa, é o município de Rio dos Cedros.

Foto: fornecida pela Defesa Civil - Benedito Novo



Escoamento causado pelas chuvas intensas de novembro de 2008, na encosta do Morro do Baú no município de Ilhota; tem como base terra amarela avermelhada, e contém grande quantidade de pedras de 10-30 cm de diâmetro. A encosta do Morro do Baú foi o local mais castigado pelo escorregamento de terra, com 27 mortes, número recorde de Ilhota. Foto: Equipe de Estudo da JICA em 2010

3.1.3 Características dos riscos de escorregamento de terra de cada município

O resumo das características dos municípios listados nesta tabela que registraram 3 ou mais casos de escorregamento em 23 anos, de 1980 a 2003, segundo dados da Defesa Civil de Santa Catarina, tiveram decretado o estado de emergência/calamidade nas chuvas intensas de novembro de 2008, e que possuem trecho de estradas sujeito a escorregamento, segundo DEINFRA, após pesquisa documental e visita técnica de campo.

Tabela - 3.1.6 - Características dos municípios com alto risco de escorregamento de terra

SDR	Município	Características de risco de escorregamento de terra
SDR-Taió	Rio do Campo	Há intrusão de basalto nas rochas sedimentares argiloso da era mesozoica, deteriorando a face de estratificação e formando a face de escorregamento em potencial, facilitando o desenvolvimento de escorregamento.
	Taió	Idem. Com a alteração do nível de água causada pela barragem Oeste, são verificados intermitentemente na rodovia estadual SC301 os escorregamentos de pequena escala.
SDR-Ibirama	Pres. Getúlio	Como é formada terra amarelo avermelhada como resultado da erosão eólica de rochas sedimentares argilosos, o solo é frágil e favorece a ocorrência de escorregamento. Não há grandes problemas na rodovia estadual SC421.
	Witmarsum	
SDR-Rio do Sul	Rio do Sul	Há intrusão de basalto nas rochas sedimentares argilosas da era paleozoica, havendo a possibilidade de ter deteriorado a face de estratificação e estar formada a face de escorregamento em potencial. Há escorregamento de terra que fornece fluxo à área de concentração de residências. Há problemas de escorregamento de terra nos empreendimentos de cerca de cem residências.
SDR-Timbó	Benedito Novo	Há local de escorregamento de terra de grande escala ao lado do prédio da Prefeitura. Distribuem-se granitos e rochas metamórficas e é relativamente grande o risco de fluxo. No limite de Benedito Novo e Rio dos Cedros, o Rio Cunha foi obstruído pelo fluxo nas chuvas intensas de novembro de 2008. Na Rodovia Estadual SC416 há pontos com risco de desmoronamento da pista.
	Rio dos Cedros	É uma área de distribuição de rochas metamórficas regionais tais como gnaisse e de granito, havendo risco de fluxo. Como não têm sido relatados escorregamentos de terra sérios antes das chuvas intensas de novembro de 2008, acredita-se que aumenta o risco de ocorrência de catástrofe se houver chuvas intensas de 20 anos de recorrência.
SDR-Blumenau	Blumenau	É a área com maior incidência de escorregamento de terra de Santa Catarina. A maior causa é a construção de casas nos morros e na região da correnteza. O problema é a construção de casas nos locais próximos às correntezas perigosas e nos morros de inclinação acentuada. Mesmo nos morros de inclinação suave há riscos de escorregamento. Na rodovia estadual SC474, que segue para a região norte, de tráfego intenso, há alteração decorrente do desmoronamento e escorregamento.
	Gaspar	Há muitas áreas com risco de desmoronamento de morro na rodovia estadual SC486 e na Estrada municipal, e de desmoronamento nas áreas residenciais. Há alterações decorrentes do escorregamento em novos empreendimentos habitacionais situados em morros. Na estrada Gaspar-Luiz Alves, na estrada municipal Gaspar-Blumenau e no atalho de BR470 na margem direita do rio Itajaí, há o plano de pavimentação, mas se não tomar medidas com relação ao morro, poderá ocorrer obstrução das estradas e danificação da pavimentação, tornando-se assim desperdício de dinheiro e de esforço.
	Ilhota	Com as chuvas de novembro de 2008, ocorreram desabamentos de terra (escorregamento/obstrução de rios, escoamentos) sérios nas adjacências do Morro do Baú. Nos locais afetados, a recuperação da vegetação está demorando, aumentando a possibilidade de mais escorregamentos, de modo que é necessário promover a recuperação da vegetação.
	Luiz Alves	É maior o risco de desmoronamento e de escorregamento na Estrada Gaspar-Luiz Alves e na rodovia estadual SC413, mais na região norte do que na área urbana. É possível que tornem necessárias as medidas contra escorregamento na construção de conjunto residencial de grande porte atualmente em execução pelo governo estadual, receando-se que afete negativamente no aspecto de inundação e de escorregamento de terra pelo fato de aumentar a corrente de água da chuva.
	Pomerode	Há desmoronamento e escorregamento de terra (escorregamento da pista) na rodovia estadual SC418, que segue para o norte. Há escorregamento ativado em agosto de 2010, que está afetando as residências e a gráfica.
SDR-Brusque	Brusque	A superfície do corte da encosta da rodovia estadual SC486 e da Estrada municipal é íngreme e não tem vegetação, havendo grande risco de desmoronamento e possibilidade de descida de terra para o Rio Itajaí Mirim. Há também muitas áreas de risco de escorregamento que podem afetar residências. Estão ocorrendo escorregamentos em empreendimentos habitacionais novos situados em morros.
	Botuverá	A superfície do morro da rodovia estadual SC486 é íngreme e não tem vegetação, sendo grande o risco de desmoronamento e havendo possibilidade de produzir terra solta, que poderá descer para o Rio Itajaí Mirim.
SDR-Itajaí	Itajaí	Há morro íngreme desmoronado nas bordas da planície. O solo do morro é composto principalmente de terra amarelo avermelhada e é fácil de desmoronar.

Fonte: elaborada pela Equipe de Estudo da JICA

3.2 Análise de balanço sedimentar

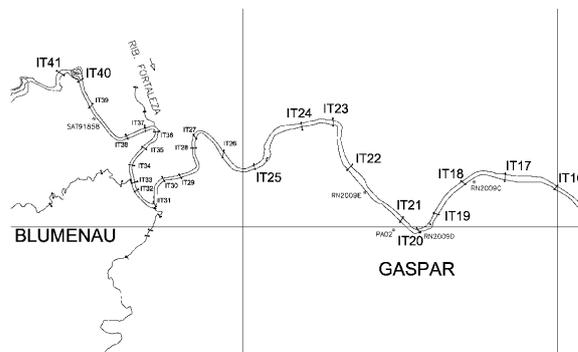
Com o objetivo de conhecer a tendência de variação do leito do rio na Bacia do Rio Itajaí, analisa-se a tendência de comportamento de terra/areia, associando-se os resultados da medição no passado e da medição realizada nesta pesquisa.

3.2.1 Trechos do leito do rio no âmbito do Estudo

Por estudos no local e pesquisas documentais, foram identificados os seguintes fatos;

- No que se refere ao rio Itajaí Açu, à montante do município de Blumenau, há rochas expostas no leito do rio.
- No rio Mirim, próximo à foz do rio Itajaí Açu, existe a mineração de areia do leito do rio. O volume de extração autorizado pelo DNPM (Departamento Nacional de Pesquisas Minerais) para o ano de 2010 é de 1,920 milhões de m³/ano; dividindo-se este volume pela área da bacia, exceto o afluente Luiz Alves, chega-se à profundidade equivalente ao da erosão de 0,13 mm/ano na bacia.
- No Porto de Itajaí, vem sendo realizada a dragagem por bombeamento a jato de 2 a 2,5 milhões de m³ por ano desde 1998. Não há medição de volume de terra/areia dragada. O volume real de dragagem no passado era de 50.000 m³/ano na década de 1970, quando a profundidade do leito do rio era de -6,6 m, aumentando para 840.000 m³/ano na década de 1980, quando a profundidade do leito do rio passou para -8,0 m. Atribui-se o fenômeno ao refluxo da água do mar na época de baixo nível de água; a terra/areia sedimentada proveniente do rio representa 6% do total. Acredita-se que, atualmente, esteja sendo dragado um volume de terra/areia sedimentada equivalente a 840.000m³/ano com o jato de 2,25 milhões de m³ de água pressurizada por ano (eficiência de 37%). Como obra de recuperação após a tempestade de novembro de 2008 (tempestade de 50 anos de tempo de retorno, segundo a análise de índice de umidade do solo; pela análise estatística do Japão, este fator tem íntima relação com o desabamento de terra ocorrido nos pontos de observação de Itajaí e Blumenau), foi feita a dragagem de 2 milhões de m³, provavelmente oriundos dos rios. Com base nestas informações, pode-se avaliar que o volume anual de terra/areia sedimentada no Porto de Itajaí é de 1,06 milhões de m³/ano, sendo que a porção fornecida pelos rios corresponde a 0,27 milhões de m³/ano, o que representa cerca de 15% (ver figura 3.2.3 - Estimativa do volume de terra/areia sedimentada no Porto de Itajaí).

Assim, no que se refere ao curso do rio acima de Blumenau, não há tendência de elevação do leito do rio. No rio Mirim, nas redondezas do rio Itajaí propriamente dito, abaixo de Gaspar, há extração comercial de areia, e o porto de Itajaí também faz a dragagem, de modo que se torna difícil fazer avaliações do leito do rio pela comparação de dados de medição. Portanto, estabelece-se como objeto de análise a porção do rio principal entre Gaspar e Blumenau. Na figura 3.3.1, indicam-se as localizações dos levantamentos topográficos das seções transversais.



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura -3.2.1 - Trecho objeto de análise

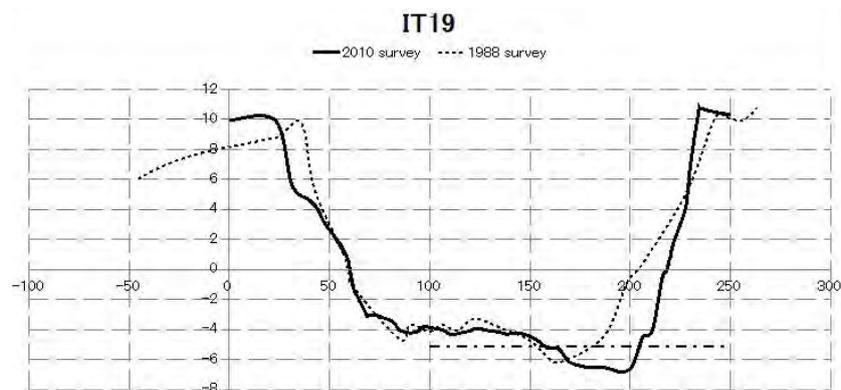
3.2.2 Método de análise

Estima-se a tendência de variação do leito do rio neste trecho por meio da seguinte equação:

$$\Delta H = \frac{\Delta A_u + \Delta A_d}{2 \cdot B}$$

Onde ΔH : variação do leito do rio no trecho em questão
 B : largura média do leito do rio no referido trecho
 ΔA_u : alteração de secção na extremidade superior do trecho
 ΔA_d : alteração de secção na extremidade inferior do trecho

Os dados de medição utilizados para alteração de secção serão: o resultado de medição feita na ocasião de pesquisa feita pela JICA em 1988 (Pesquisa para o plano de controle das cheias da Bacia do Rio Itajaí – Estudo de viabilidade (Plano de benfeitoria dos rios no trecho Blumenau-Gaspar – janeiro de 1988)) e o resultado de medição desta pesquisa. A extensão analisada será o trecho de 35 km no total, entre Gaspar e Blumenau, indicado na figura 3.7.2.



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Linha horizontal a 1m da menor altura do leito do rio

Figura -3.2.2 - Exemplo de análise de variação do leito

3.2.4 Resultado de cálculo

A tabela 3.3.1 mostra o volume de variação do leito do rio em cada trecho. Foi considerada a largura do rio atual (verificada nesta pesquisa). O trecho analisado tem, em geral, tendência de erosão. Observando cada trecho, a erosão é maior na região abaixo do município de Gaspar, suspeitando-se do efeito da extração de areia do leito do rio. No trecho entre a foz do afluente Fortaleza, no município de Blumenau, e a foz do afluente Garcia não se observa nenhuma alteração ou uma ligeira elevação do leito do rio, de menos de 0,3m.

3.3 Zoneamentos de Risco e Avaliação dos Escorregamentos e do Mecanismo de Erosões

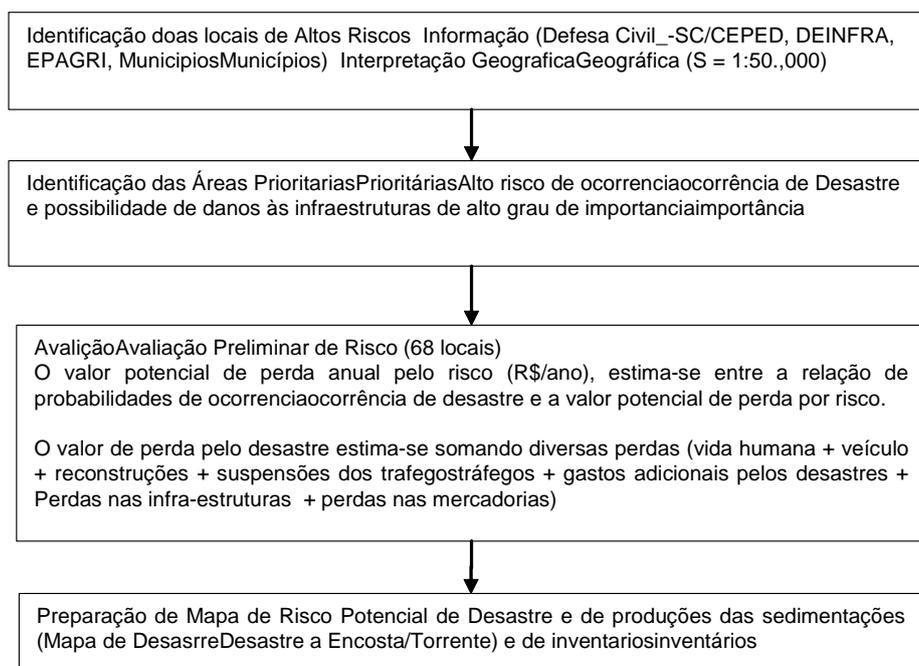
3.3.1 Avaliação de Risco e Fluxograma de Mapeamento de Risco

A avaliação e mapeamentos dos riscos realizam-se da seguinte forma:

Tabela - 3.2.1 - Resultado do cálculo de balanço sedimentário

Linha lateral No.	Município	Variação do leito do rio	Volume de variação do leito do rio + rebaixamento do leito do rio 4. Elevação do leito do rio (m)	Largura do rio (m)	Alteração da secção da extremidade superior do trecho (m ²)	Alteração da secção da extremidade inferior do trecho (m ²)
IT16 a IT17	Gasparr	Rebaixamento	0,8	220	235	128
IT17 a IT18			1,0	225	235	235
IT18 a IT19			0,7	208	37	235
IT19 a IT20		Ligeiro rebaixamento	0,4	209	124	37
IT20 a IT21			0,3	211	-6	124
IT21 a IT22			0,1	257	39	-6
IT22 a IT23			0,0	294	-18	39
IT23 a IT24	Blumenau	Rebaixamento	0,2	256	130	-18
IT24 a IT25			0,8	207	191	130
IT25 a IT26		0,6	217	56	191	
IT26 a IT27		Ligeiro rebaixamento	0,3	216	73	56
IT27 a IT28		Rebaixamento	0,6	170	139	73
IT28 a IT29			0,7	159	99	139
IT29 a IT30		Ligeiro rebaixamento	0,3	164	15	99
IT30 a IT31		Sem variação	0,0	177	-8	15
IT31 a IT32		Ligeira elevação	-0,2	169	-44	-8
IT32 a IT33			-0,3	151	-35	-44
IT33 a IT34			-0,1	166	13	-35
IT34 a IT35	Sem variação	0,0	188	-17	13	
IT35 a IT36		0,0	203	28	-17	
IT36 a IT37	Ligeiro rebaixamento	0,1	191	-2	28	
IT37 a IT38	Sem variação	0,0	159	10	-2	
IT38 a IT39	Ligeiro rebaixamento	0,2	170	48	10	
IT39 a IT40		0,3	221	100	48	
IT40 a IT41	Sem variação	0,0	253	-79	100	

Fonte: Equipe de Estudos da JICA



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 3.4.1 - Procedimento das avaliações dos riscos de produção de sedimentos e mapeamento de risco

Em continuação, são descritas as metodologias de elaboração do mapa de risco. Os detalhes podem ser observados nos Anexos.

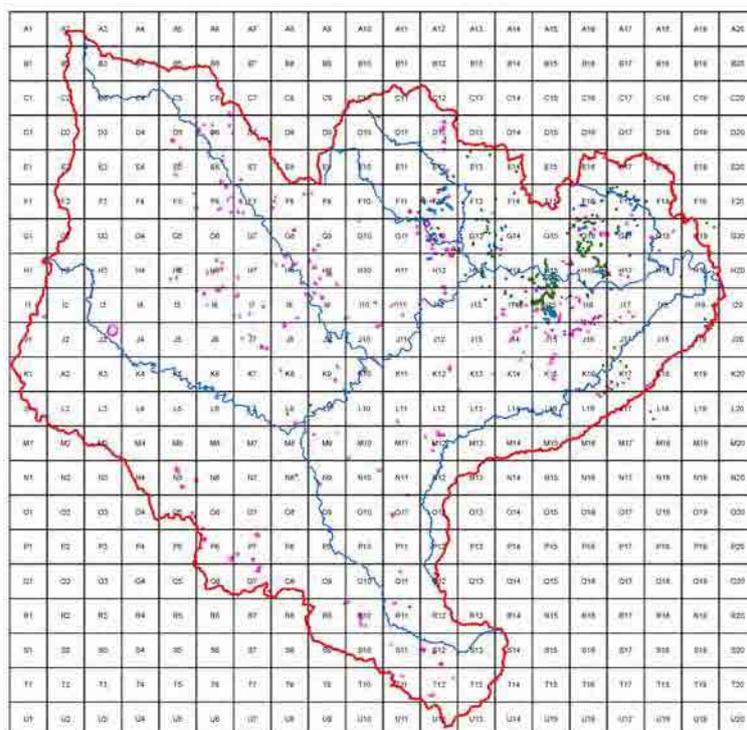
3.3.2 Identificação dos locais de Alto Risco de Escorregamento

As identificações dos locais possíveis de risco de escorregamentos foram realizadas através das informações indicadas na Tabela 3.3.1 “Fonte de Informações das locais de desastres ocorridos no ano 2008”. Na identificação dos locais de riscos de desastres dos escorregamentos, foram realizadas através das visitas técnicas de campo, interpretação dos mapas topográficos em escala de 1/50.000 e de 1/25.000, elaborados com o levantamento aerofotogramétrico (1978 1979). Os números identificados dos desastres foram de 949 locais.

Tabela - 3.3.1 - Fonte de informações dos registros de desastres existentes

Fonte	Informe	Locais de Risco (949 locais) (encontram-se os locais duplamente contabilizados devido as diferentes fontes de informação)
Defesa Civil- CEPED	Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008: avaliações durante o desastre/Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Florianópolis: CEPED.	932 locais
Defesa Civil- CEPED	Áreas de Desastre 2010	1.465 locais
EPAGRI/CIRAM	COMPLEXO DO MORRO DO BAÚ Levantamento aéreo dos pontos de deslizamento	62 locais
DEINFRA/DIOT	Áreas de desastre de Nov. 2008	34 locais

Fonte: Equipe de Estudos da JICA



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 3.3.2 - Código de mapa de risco de desastre

Tabela - 3.3.2 - Tipo de movimento dos desastres de escorregamento

Tipo de Movimento	NORMA BRASILEIRA ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR (Número de referencia) 11682, Estabilidade de encostas @ABNT 2009	
	Terminologia dos tipos de movimento de massa	Definição
Desmoronamento Queda/ Rolamento  Gaspar 2008  Tombamento Luiz Alves 2010	Queda/ Rolamento	Despreendimento de fragmentos do terreno, de qualquer tamanho, que caem de certa altura, em queda livre ou com qualquer outra trajetória e tipo de movimento
	Tombamento	Movimento de massa em forma de balsa com eixo na base
Escorregamento  Pomerode 2010	Escorregamento	Movimento de massa por deslocamento sobre uma ou mais superfícies
Escoamento  Benedito Novo 2008	Escoamento	Movimento de massa com propriedades de fluido, lento ou rápido (corrida)

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Os locais prioritários identificados onde requerem medidas são em numero de 68, sendo 32 localizados na Estrada Estadual e 35 locais localizados nas estradas municipais e do Porto de Itajaí.

3.3.3 Seleção dos locais de alto risco de desastre

Os locais com alto risco de desastre onde existem potencialidades de desastres maiores do que R\$ 1 milhão foi selecionado como áreas prioritárias. As dimensões de desastres maiores do que R\$1 milhão são aqueles que provocam tombamento de mais de 10 casas ou aquelas estradas onde ocorre interdição diária do tráfego de 200 veículos. Foram selecionados 68 locais, sendo 32 locais nas estradas estaduais e 35 nas estradas municipais e um no Porto de Itajaí.

Os locais prioritários identificados onde necessitam de medidas são 68, sendo 32 localizados nas Estradas Estaduais, 35 locais localizados nas estradas municipais e do Porto de Itajaí.

3.3.4 Estimativa do Valor de Prejuízo Potencial

Foram avaliados 68 locais de alto risco de desastre. O Grau de risco foi avaliado em valor de prejuízo potencial anual. Foram avaliados os valores de prejuízo potencial anual (R\$/ano) para 68 locais de alto risco de desastre. As dimensões dos desastres de escorregamentos (valor do prejuízo) variam de acordo com o fator que provoca o desastre tais como chuva (probabilidade anual baseado no indicador de chuva) no mesmo lugar de ocorrência.

Conforme ilustrado na Figura 3.3.2, o valor de prejuízo potencial anual (R\$/ano) é o valor integral obtido no intervalo do eixo de gráfico da curva de riscos, cujo cálculo é efetuado com o cruzamento da

probabilidade de excedente anual de ocorrência do desastre expressa na linha vertical e valor de prejuízo potencial em linha horizontal.

(1) Método de contabilização das perdas potenciais anuais pelas desastres de escorregamentos ocorridos nas estradas

No caso de rodovias, o valor do prejuízo potencial anual foi determinado, calculando a probabilidade excedente anual e o valor de prejuízo potencial, baseado na dimensão do prejuízo com interdição da rodovia de 2 modalidades: interdição total do tráfego e interdição parcial de um dos sentidos da estrada.

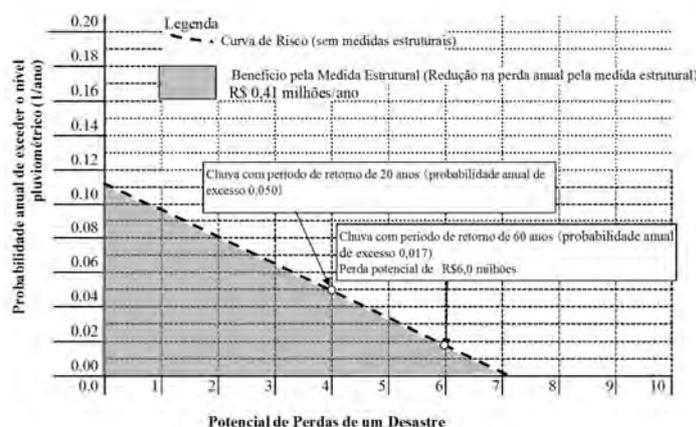
A probabilidade excedente anual (número inverso da probabilidade anual) para ocorrência dos desastres com a interdição total do tráfego da rodovia e interdição parcial de um dos sentidos do tráfego foi avaliada com base na probabilidade anual das dimensões de desastres similar ao escorregamento de taludes nas chuvas intensas de 11/2008 e índice de umidade do solo (3.1.1 Situação e projetos de reconstrução) medido na estação mais próxima do local (na análise estatística efetuada no Japão, houve conclusão de que este índice tem correlação muito boa com a ocorrência do desastre de escorregamentos).

No caso de estrada, o método de contabilização das perdas pelo desastre foram estimadas da seguinte forma;

- Estimar as dimensão dos índice de umidade no solo para cada tempo de retorno
- Estimar os volume de escorregamento potencial de acordo com o Tempo de retorno de Desastre
- Estimar o tipo de desastre (Impedimento parcial ou total de tráfego, tempo de reconstrução, etc.) para cada tempo de retorno de desastre

Na Figura-3.3.2 seguinte, indica-se o exemplo de contabilização das perdas econômicos pelos desastres. Neste caso foi estimada a perda no tempo de retorno de 20 anos e de 60 anos. Considerando que no tempo de retorno de 10 anos ocorrem o impedimento parcial de trafego e no tempo de retorno de 30 anos ocorrem o impedimento total de trafego devido aos escorregamentos a serem ocorridos, foram estimados as perdas de cada ocorrência. Essas perdas foram utilizadas como base para estimar a perda potencial anual. Na figura seguinte indica-se o exemplo de cálculo de perdas potenciais para cada tempo de retorno.

A probabilidade de exedencia dos desastres de estradas foram avaliadas utilizando o índice de umidade de solo calculadas na estação plviométrica, mas pertos e de dimensão dos danos de escorregamento. (ver Figura 3.1.3)



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 3.3.2 - Curva de risco de prejuízo potencial anual com desastre de escorregamento

Na Tabula 3.3.2, indicam-se os itens de perdas nos desastres causados na estrada e as informações referentes neste tema.

Tabela - 3.3.2 - Item contabilizadas para estimar as perdas pelos desastres de estrada

Item	Método de contabilização
Gasto de Reconstrução	Equação relacionada entre os gastos realizados e sua dimensões das obras A distancia potencial de fechamento foi estimada na base das condições das encostas alteradas por desastre em nov 2008.
Perda de Vida humana	Perda humana = Numero de veículos (horário) x 0,5 x Valor Humano Numero de veiculo = Distancia provável de Desastre (km)/velocidade (km/h) x Médio Diário de Numero de trafego/24 Valor humano = PIB/População x Idade Médio/2 (na Bacia de Itajaí) No caso de impedimento parcial de trafego, utiliza-se o coeficiente de 50%
Perdas de veículos automotores	Perdida pelo veiculo = numero de veiculo x valor de veiculo
Perda econômica pelo impedimento de trafego	A perda econômica pelo impedimento de trafego estima-se o valor de perda pelo desvio e de espera. A perda pelo desvio = (Distancia de desvio x Custo unitário de transporte) x Numero de quantidade de trafego diária x Tempo de Reconstrução
Perda econômica pelo impedimento parcial de trafego	A perda econômica pelo impedimento parcial de trafego = Tempo acrescentado de trafego pelo impedimento parcial de trafego x custo de transporte x Numero de trafego diária x dias requeridas para reconstrução
Perda econômica nas outras infra-estruturas	Poste elétrico, Gás, Águas potáveis, etc...
Perdas nas propriedades	Perdas nas propriedades = (Prédios, lojas, terrenos) x Preço x 0,5
Perdas pelas sedimentações	Perdas pelas sedimentações = Volume de assoreamento x 10% x preço de dragagem no Porto de Itajaí Volume de assoreamento foi estimada para cada locais de risco de escorregamento.

¹HDM4 : Highway Developmentand Management SystemVersion 4

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

(2) Estimativa de perdas economicas pelo assoreamento no Porto de Itajaí

No porto de Itajaí, desde ano 1988, estão sendo realizados pela draga que utiliza um sistema de injeção de água. O volumam de água utilizada para injeção estima-se aproximadamente de 2 a 2,5 milhões de m³ de águas. No entanto, não existem as informações de volumes dragadas.

O volume de dragagem na década 1970, quando a profundidade de porto era de -6,6 m, estimava ser aproximadamente 50 mil m³. Portanto este valor foi incrementado na década de 1980 a 700 mil m³ e 840 mil na década 1990, acompanhando as profundidades do calado. Estes incrementos podem ser considerados pelo efeito de sedimentos causado pelo contracorrente no fundo de rio. Por tanto, o volume dragado pela sistema de injeção de água estima-se aproximadamente de 600 mil a 750 mil m³ na suposição de 30% de eficiência de trabalho.

As principais fontes de sedimentos ocorridos no Porto de Itajaí na Enchente de Nov 2008 foram nas áreas de Blumenau e de Itajaí. Os valores de índice de umidade nas estações pluviométricas de Blumenau e de Itajaí são avaliados equivalentes nos valores nos tempos de retornos de 50 anos. Foram realizadas 2 milhões de m³ de dragagem no ano 2009. O volumem sedimentadas no ano 2009, estima-se aproximadamente de 2.6 milhões de m³, sendo na origem de 2 milhões pelo enchente e 0,6 milhões pelos tempos normais.

Baseados nestas informações estima-se os volumes de sedimentações no porto de Itajaí no tempo de retorno de 1, 5 e 50 anos e o resultados esta indicado na Tabela 6.4.4. Na Tabela 6.4.5 indica-se as perdas econômicas das sedimentações no Porto de Itajaí no Tempo de retorno de 50 anos.

Tabela - 3.3.3 - estimativa do volume de sedimentação no Porto de Itajaí

Ano de Tempo de Retorno	Volume de sedimentação (milhões m ³ /ano)			Perda Potencial (Milhões R\$/ano)			Perda econômica unitária pela sedimentação (R\$/m ³)	Referencia
	Total	Origem de rio		Total	% de Origem de rio			
1 ano	0.60	0.18	30%	11.4	3.4	30%	19.0	Tabela 3.4.4
5 anos	0.75	0.23	30%	14.3	4.3	30%	19.0	
50 anos	2.60	2.04	78%	58.2	50.2	86%	22.4	Tabela 3.4.4
Médio	1.04	0.41	39%	18.3	9.0	50%	19.0	

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Tabela - 3.3.4 - Perda potencial pela sedimentação no tempo de retorno de 50 anos

Item	Metodo de contabilização	Referencia
Gasto com Dragagem	Aplicando-se 30% de eficiencia de dragagem pelo jato, considerando-se o custo de jato, estima-se R\$ 19,00/m ³	Registro do Porto de Itajaí
Perda economica pela uso de outro porto (Porto São Francisco)	Com presuposto de paralização do Porto de Itajaí ocorrido durante 15 dias, utilizando 90% de mercadorias que passam pelo Porto de São Francisco e 10% em espera. Perda econômica; R\$ 8.8 milhões	DEINFRA/HDM4 ¹ Volumen de carga do Porto de Itajai(2007)

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Os locais prioritários de medidas para escorregamentos são os seguintes:

Tabela - 3.3.5 - Resultado da seleção dos locais prioritários através do cálculo do valor de prejuízo potencial anual

Priori.	Localização	Latitude			Longitude			SDR	Municipalidade	Prejuízo potencial Médio Anual R\$/ano
		G	M	S	G	M	S			
0	Porto de Itajaí	26	53	56	48	40	7	Itajaí	Itajaí	9.000
1	SC 302 Taió-Passo Manso-5	27	1	45	50	8	18	Taió	Taió	1.255
2	SC470 Gaspar River Bank	26	55	2	48	58	37	Blumenau	Gaspar	1.095
3	Blumenau –Av. Pres. Castelo Branco.	26	55	7	49	3	58	Blumenau	Blumenau	1.021
4	SC418 Blumenau – Pomerode	26	51	32	49	9	18	Blumenau	Pomerode	989
5	SC474 Blumenau-Massaranduba 2	26	44	18	49	4	18	Blumenau	Blumenau	907
6	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 9	26	47	38	49	0	16	Blumenau	Gaspar	774
7	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 6	26	44	26	48	57	52	Blumenau	Luiz Alves	700
8	SC470 Gaspar	26	55	56	48	57	21	Blumenau	Gaspar	689
9	SC477 Benedito Novo – Doutor Pedrinho 1	26	46	50	49	25	6	Timbó	Benedito Novo	680
10	SC418 Pomerode - Jaraguá do Sul 1	26	40	29	49	8	35	Blumenau	Pomerode	651
11	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 4	26	46	38	48	59	31	Blumenau	Luiz Alves	629
12	SC474 Blumenau-Massaranduba 1	26	44	51	49	4	10	Blumenau	Blumenau	601
13	SC 302 Taió-Passo Manso 4	27	6	26	50	4	7	Taió	Taió	526
14	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 11	26	43	53	48	56	6	Blumenau	Luiz Alves	497
15	SC486 Brusque - Botuverá 13	27	10	41	49	2	5	Brusque	Botuverá	473
16	SC416 Timbó – Pomerode	26	45	32	49	13	52	Timbó	Timbó	443
17	SC486 Brusque - Botuverá 1	27	9	44	48	56	23	Brusque	Brusque	430
18	Alameda Rio Branco, Blumenau.	26	54	54	49	5	6	Blumenau	Blumenau	398
19	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 2	26	48	59	49	1	11	Blumenau	Gaspar	384
20	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 7	26	44	13	48	57	22	Blumenau	Luiz Alves	380
21	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 1	26	49	5	49	1	9	Blumenau	Gaspar	379
22	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 3	26	46	54	48	59	41	Blumenau	Luiz Alves	372
23	Ponte Aldo P. de Andrade margem direita	26	54	45	49	4	10	Blumenau	Blumenau	366
24	SC486 Brusque - Botuverá 3	27	9	5	48	58	50	Brusque	Brusque	344
25	SC486 Brusque - Botuverá 2	27	9	2	48	58	47	Brusque	Brusque	342
26	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 8	26	47	40	49	0	18	Blumenau	Gaspar	326
27	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 4	26	48	6	49	0	36	Blumenau	Gaspar	323
28	SC486 Brusque - Botuverá 9	27	9	31	48	59	24	Brusque	Botuverá	301
29	SC486 Brusque - Botuverá 7	27	9	20	48	59	10	Brusque	Brusque	298

Priori.	Localização	Latitude			Longitude			SDR	Município	Prejuízo potencial Médio Anual R\$/ano
		G	M	S	G	M	S			
30	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 2	26	46	57	48	59	42	Blumenau	Luiz Alves	278
31	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 7	26	47	48	49	0	20	Blumenau	Gaspar	276
32	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 1	26	47	10	48	59	47	Blumenau	Luiz Alves	271
33	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 5	26	45	3	48	58	34	Blumenau	Luiz Alves	271
34	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 8	26	44	4	48	56	56	Blumenau	Luiz Alves	270
35	SC486 Brusque - Botuverá 11	27	10	2	49	0	5	Brusque	Botuverá	260
36	SC486 Brusque - Botuverá 10	27	9	40	48	59	36	Brusque	Botuverá	260
37	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 10	26	44	1	48	56	30	Blumenau	Luiz Alves	227
38	SC486 Brusque - Botuverá 12	27	10	25	49	0	33	Brusque	Botuverá	221
39	SC486 Brusque - Botuverá 4	27	9	7	48	58	51	Brusque	Brusque	220
40	SC486 Brusque - Botuverá 6	27	9	18	48	59	7	Brusque	Brusque	220
41	SC486 Brusque - Botuverá 14	27	10	47	49	2	32	Brusque	Botuverá	220
42	SC486 Brusque - Botuverá 5	27	9	19	48	59	5	Brusque	Brusque	220
43	SC 302 Taió-Passo Manso 2	27	6	51	50	4	14	Taió	Taió	202
44	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 6	26	47	55	49	0	28	Blumenau	Gaspar	184
45	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 10	26	47	38	49	0	11	Blumenau	Gaspar	184
46	SC418 Pomerode - Jaraguá do Sul 2	26	39	38	49	8	39	Blumenau	Pomerode	184
47	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 12	26	43	45	48	55	58	Blumenau	Luiz Alves	184
48	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 3	26	48	42	49	1	5	Blumenau	Gaspar	184
49	SC413 Luiz Alves -Massaranduba 1	26	43	12	48	56	31	Blumenau	Luiz Alves	172
50	Gaspar - Blumenau 3	26	53	34	49	0	43	Blumenau	Gaspar	169
51	SC486 Brusque - Botuverá 8	27	9	25	48	59	16	Brusque	Botuverá	151
52	SC 302 Taió-Passo Manso 1	27	6	53	50	4	14	Taió	Taió	149
53	SC 302 Taió-Passo Manso 3	27	6	50	50	4	14	Taió	Taió	149
54	SC477 Benedito Novo – Doutor Pedrinho 2	26	46	3	49	26	13	Timbó	Benedito Novo	144
55	Rua Bruno Hering, Blumenau.	26	55	17	49	3	46	Blumenau	Blumenau	119
56	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 9	26	44	1	48	56	44	Blumenau	Luiz Alves	111
57	SC477 Benedito Novo – Doutor Pedrinho 3	26	47	3	49	21	54	Timbó	Benedito Novo	108
58	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 5	26	48	1	49	0	33	Blumenau	Gaspar	106
59	Baú	26	47	22	48	56	41	Blumenau	Ilhota	101
60	SC486 Brusque - Botuverá 15	27	9	46	48	59	45	Brusque	Brusque	78
61	Luiz Alves Municipalidade Road 1	26	43	33	48	57	31	Blumenau	Luiz Alves	67
62	SC413 Luiz Alves -Massaranduba 2	26	42	54	48	56	55	Blumenau	Luiz Alves	62
63	Luiz Alves Municipalidade Road 2	26	45	48	48	59	2	Blumenau	Luiz Alves	59
64	Brusque Municipalidade Road 1	27	7	43	48	53	53	Brusque	Brusque	56
65	Gaspar - Blumenau 2	26	53	48	49	2	19	Blumenau	Blumenau	55
66	Gaspar - Blumenau 1	26	53	42	49	2	20	Blumenau	Blumenau	55
67	Brusque Municipalidade Road 2	27	7	16	48	52	7	Brusque	Brusque	51

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

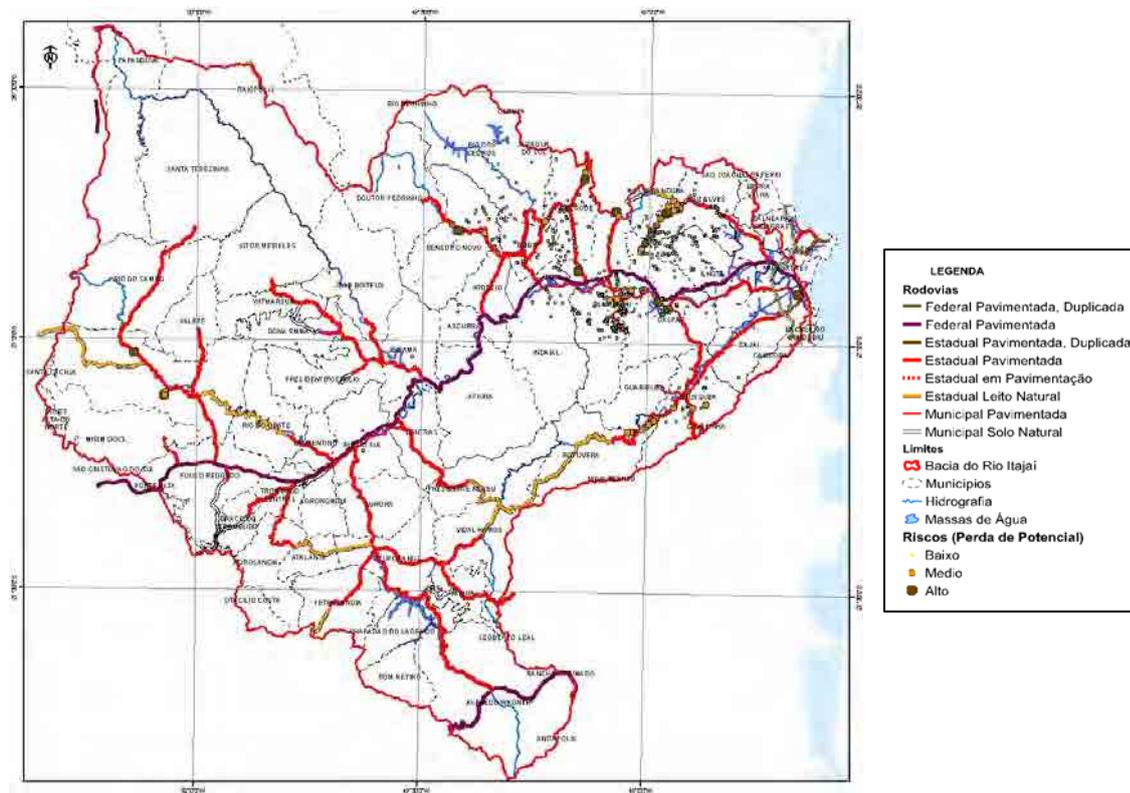
3.3.2 Inventário dos locais de risco e mapeamento de risco de desastre de escorregamento e sedimentação

No Figura 3.3.5, ilustra os locais potenciais de risco de escorregamentos. No Figura 3.4.6 ilustra um dos exemplos do mapa de risco de escorregamento. Os mapas estão compostos de 420 folhas e podem ser observados no tamanho A4. Os dados encontram-se em GIS, contendo informações abaixo:

Tabela - 3.3.6 - Inventário dos desastres de risco de escorregamento

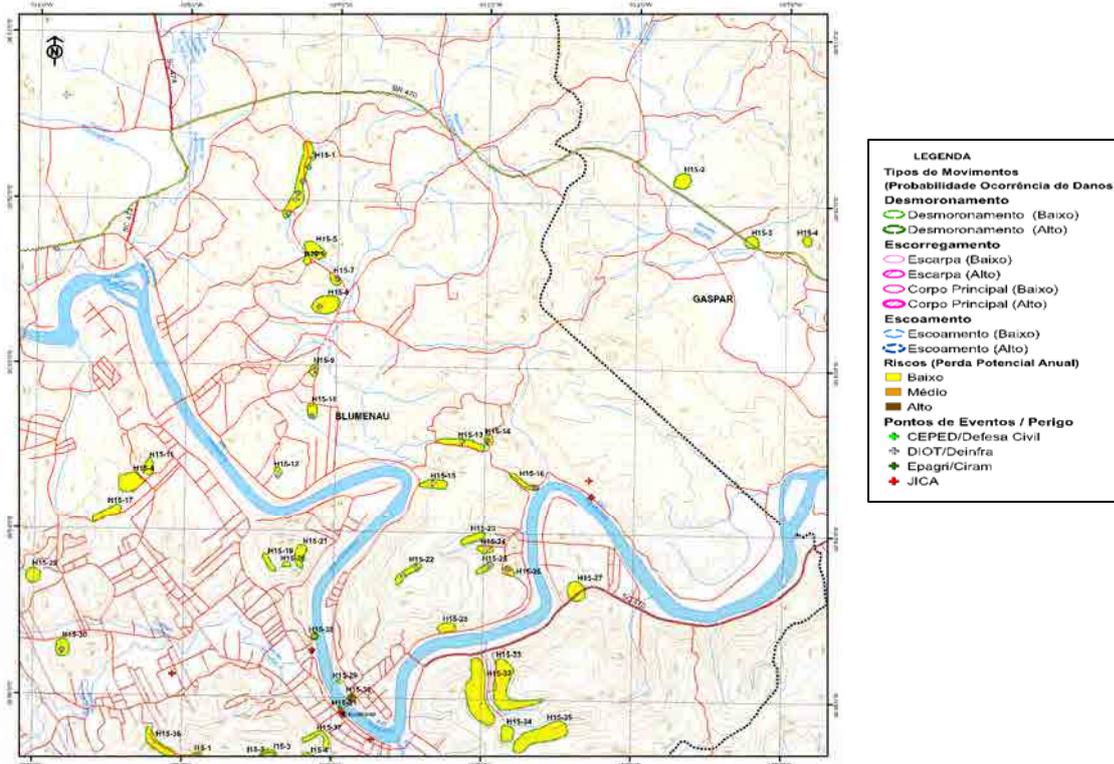
Numero de Risco (Codificação de Mapa, etc.),
Localização (longitude, latitude, Municípios, etc.),
SDR/Município,
Tipo de movimento do solo,
Área de Risco (Queda, Colapso, Movimento, Escoamento de lama, etc.),
Tipo de Geologia, Solo e Vegetação,
Classificação de Altitude, Declividade.

Fonte: Equipe de Estudos da JICA



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 3.3.3 - Mapas de risco de desastres de escorregamento/produção de sedimentação



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 3.3.4- Exemplo de mapa de risco de desastre de escorregamento

CAPÍTULO 4 DEMANDAS E POLÍTICA DE BASE PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DIRETOR DE GESTÃO POR ESCORREGAMENTO

4.1 Demandas relativas à mitigação de escorregamento

Na tabela 4.1.1, foram relacionadas opiniões dos órgãos ligados sobre as medidas contra escorregamento. Há indícios de que as zonas residenciais estão avançando para os morros com objetivo de fugir das inundações ou devido ao aumento populacional, aumentando com isso os desabamentos. Nos locais castigados pelo desabamento, há influência de fatores humanos, tais como construção de residências de forma irregular (corte de encosta íngreme, morar em planície de inundação, mau drenagem de água, etc.). As Defesas Civis dos municípios estão solicitando apoio técnico e treinamento sobre a forma de controle do escorregamento. A Defesa Civil Estadual e outros órgãos também têm opiniões semelhantes. O DEINFRA entende que é necessário a implementação das medidas estruturais tais como projetos de manutenção preventiva de escorregamento em estradas estaduais e municipais.

Tabela - 4.1.1 - Opiniões e necessidades dos órgãos ligados aos desastres de escorregamentos

Órgãos de controle	Resumo das opiniões
(DNIT) Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes	<ul style="list-style-type: none"> • Com relação à rodovia federal BR-470, acha que não há necessidade de manutenção preventiva de escorregamento (escritório de administração em Rio do Sul). • Com relação à Rodovia BR282, administrada pelo governo federal, acha que não há necessidade de manutenção preventiva de escorregamento. A BR-101, que passa pelo litoral, no trecho da Bacia do Rio Itajaí, é privatizada (escritório em Santa Catarina).
DEINFRA	<ul style="list-style-type: none"> • Dá suporte à reconstrução de estradas estaduais e municipais afetadas pelo escorregamento. • Há muitas vias e pontos que necessitam de manutenção preventiva de escorregamento. • Nunca executou projeto de manutenção preventiva de escorregamento das estradas, e não sabe como planejar. • Gostaria de participar do estudo preparatório da JICA como contraparte, para aprender planejar e elaborar o projeto de manutenção preventiva de escorregamento nas estradas. • Como na ocasião da recuperação do desastre de 2008 o governo do Estado de Santa Catarina decidiu atender às estradas municipais também como obra do governo, e é possível que o projeto de auxílio da JICA se torne obra do governo estadual (a cargo de DEINFRA), mesmo que seja obra de manutenção preventiva dos municípios.
Defesa Civil- SC	<ul style="list-style-type: none"> • O problema é a falta de especialistas em geologia. Em termos de treinamento técnico, será necessário também na área de informação e saúde pública. • A construção habitacional irregular em área de risco, e os desencontros de disposições sobre utilização de terras entre as leis federais, estaduais e municipais, estão aumentando os desastres. Atualmente o alerta sobre escorregamento é dado quando atinge 200 mm/dia tendo como base a previsão de CIRAM. • Não utiliza informações do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. • Seria ideal instalar estações pluviométricas automáticas em cada município para emitir alerta sobre escorregamento, mas acredita ser necessário oferecer treinamento às Defesas Civis dos municípios. • A instalação de estação pluviométrica automática nos municípios será feita com a verba de IDB, Programa 5 (melhoramento de estradas) e deverá contemplar 293 municípios em todo o Estado de Santa Catarina. • É desejável que as medidas estruturais sejam baratas.
UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) CEPED	<ul style="list-style-type: none"> • A pedido da Secretaria de Defesa Civil de Santa Catarina tem enviando especialistas em geologia e em engenharia civil aos locais afetados para pesquisa. • Fornecerá o máximo de informações disponíveis para o estudo da JICA. • Propôs ao governo de Santa Catarina estudar a terceirização de planejamento de prevenção de desastres urbanos, mas não foi aceita.
CIRAM	<ul style="list-style-type: none"> • Seria ideal que as obras estruturais sejam baratas, tendo em vista a situação atual do Brasil (diretor) • Está fazendo um estudo para verificar o risco de inundação e de escorregamento tendo como indicador o volume de chuvas cada três dias.
FRUB	<ul style="list-style-type: none"> • Não está dando previsão ou alerta de escorregamento.

Órgãos de controle	Resumo das opiniões
CEOPS	<ul style="list-style-type: none"> Há estação pluviométrica automática em 16 pontos da Bacia, os quais são da propriedade da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, são controlados pela FRUB, e armazenam o registro de volume de chuva a cada 15 minutos. Acha necessário implementar o sistema de previsão e alerta de escorregamento. As Secretarias de Defesa Civil dos municípios exceto Blumenau são pouco organizadas, e mesmo que se instalem estação pluviométrica automática em cada município, não se sabe se conseguirão mantê-los e utilizá-los. Já fez o estudo de relação entre o escorregamento e o volume de chuva, tendo como indicador o volume diário e o volume de sete dias. A correlação não foi boa. Gostaria de desenvolver um projeto-modelo para as medidas estruturais contra escorregamento do morro íngreme ao lado da galeria New Market, na zona urbana de Blumenau. Gostaria de incluir desde pesquisa e análise até projeto e execução de obras estruturais. Solicita a cooperação do Japão.
CPRM	<ul style="list-style-type: none"> Será necessário atualizar o mapa de desastres feito pelos municípios. Será necessário também aprofundar os estudos geológicos e de solo.
FATMA	<ul style="list-style-type: none"> Em 2002, foi definido conceito que a APP (Área de Proteção Permanente) é morro de inclinação superior a 45°, e cume das montanhas (1/3 superior). Não há desencontro entre as leis federais e estaduais. Basicamente, não é permitido fazer construções nas áreas de APP, mas se for obra pública como a de prevenção de desastres, será permitida.
Secretaria Estadual de Planejamento Departamento de Desenvolvimento Urbano	<ul style="list-style-type: none"> A autorização de empreendimentos residenciais é dada pelo município, sejam de obra do Estado, do município ou de iniciativa privada, mas o controle de preservação ambiental é feito pela FATMA. Compreende que é necessário ter cuidado para não causar novos problemas nos morros com a criação de novas áreas residenciais, e que o aumento do volume de água da chuva que escoar aumente a inundação, sendo necessário criar regras para instalar meios de contenção de enxurrada na Bacia do Rio Itajaí, onde há problemas de enchente. No momento, não há plano de novos empreendimentos no âmbito estadual. A Secretaria de Desenvolvimento Regional (SDR) prioriza o desenvolvimento, mas o seu ponto fraco é a falta de preocupação no aspecto de desastres naturais. No zoneamento do desenvolvimento regional, de modo geral, a Secretaria de Desenvolvimento Regional e os municípios, que são desenvolvimentistas, e o Estado, que é preservacionista, têm opiniões divergentes, havendo a necessidade de entrar em comum acordo para solucionar a questão.
COHAB/SC	<ul style="list-style-type: none"> De modo geral, os novos empreendimentos habitacionais são realizados como obras da prefeitura nos municípios que possuem engenheiros, tais como Brusque e Rio do Sul, e como obras do Estado, em outros municípios. A autorização do projeto das obras estaduais, no aspecto técnico, é dada pela COHAB (no caso do projeto do município, pelo chefe do setor encarregado de projeto do município). A autorização final para execução da obra é dada pelo prefeito local. A avaliação ambiental é feita pela FATMA. Acredita que a necessidade de novos empreendimentos habitacionais na Bacia do Rio Itajaí é maior no município de Blumenau. No caso de executar as obras com o empréstimo do Japão, a execução da obra poderá ser feita pelo município de Blumenau, que tem nível técnico elevado.
CREA	As Prefeituras não dispõem de recursos para adoção de medidas estruturais de escorregamentos nas residências particulares, portanto, não foram feitas quase nada sobre as ocorrências de escorregamentos de tempestade de 2008. Com as parcerias entre a Prefeitura, CPRM e CREA, estão sendo executadas obras de recuperação das áreas de escorregamentos nas residências particulares, otimizando os fundos de empresas privadas de mineração.

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Na tabela 4.1.2, foram relacionadas opiniões e as necessidades de cada município em relação ao escorregamento. O município de Blumenau está elaborando o mapa de desastres de escorregamento. Em outros municípios também está sendo realizada a investigação geotécnica de engenharia em cada um dos locais afetados pelos escorregamentos ativos etc., pelos órgãos das universidades tais como CEPED, enviados pela Defesa Civil/SC.

No local onde ocorreu o escorregamento ativo, em agosto de 2010, no município de Pomerode, o proprietário da terra estava tomando providência fazendo drenos e obras civis utilizando máquinas pesadas. No município de Itajaí, houve caso de corte de encostas e construção de dreno realizada como medida de prevenção de escorregamento nas áreas residenciais, por iniciativa do município. No

município de Benedito Novo, está realizando a prevenção de erosão com o capim petibá, sob a orientação de DEINFRA. Ambos são coisas relativamente simples, e o efeito também é limitado.

Os municípios reivindicam a implementação das medidas de escorregamento em estradas de acesso ao reservatório de água e de medidas estruturais de desabamento relativas às áreas residenciais.

Tabela - 4.1.2 - Opiniões e necessidades de cada município com relação ao escorregamento

Órgãos de controle	Resumo das opiniões
Defesa Civil de todos os municípios	Não existe sistema de previsão e alerta de escorregamento. Quanto às medidas estruturais, gostaria muito se puderem ser feitas como obra do Estado.
Blumenau	Elaborou o manual de enfrentamento de escorregamento, unificado com o de inundação. O mapa de risco de escorregamento pode ser feito na página de web. Está em curso a pesquisa detalhada (análise das imagens de satélite + exploração). Deposita esperança no auxílio técnico do Japão. Na área de risco de escorregamento há muitas habitações irregulares. Mesmo que orientem no sentido de mudar-se dali, outras pessoas chegam para morar no mesmo lugar.
Gaspar	Possui mapa de locais afetados pelas chuvas de novembro de 2008. Não sabe como enfrentar escorregamento.
Ilhota	Todos os casos de morte decorrentes das chuvas de novembro de 2008 se devem ao escorregamento da região do morro do Baú. Após o desastre de 2008, estão dando aconselhamento psicológico aos flagelados. Por sugestão do psicólogo, foi eleito um líder de prevenção de desastres da comunidade e formatada a rede de informação.
Luiz Alves	A estrada Gaspar/Blumenau ou a estrada que liga a Massaranduba são frágeis, sendo necessário tomar medidas contra escorregamento nestes trechos. Receia-se o desmoronamento de pista da Estrada que leva ao reservatório de água encanada do município.
Brusque	Há problemas de escorregamento nos empreendimentos habitacionais novos também, e m alguns lugares a obra foi suspensa.
Rio do Sul	Não tem o <i>know-how</i> de enfrentamento de escorregamento. Gostaria de fazer o curso para aprender com equipe do Japão.
Benedito Novo	Está tentando prevenir a erosão com o capim petibá (orientação de DEINFRA) Não sabe como lidar com o escorregamento atrás do prédio da prefeitura, que possui face de escorregamento profunda.
Timbó	Falta comunicação entre Defesa Cívica dos municípios.
Itajaí	No município há muitas áreas de risco de escorregamento. Algumas têm fissura desenvolvida e apresentam alto grau de risco. Algumas das medidas existentes (切土) estão alteradas, talvez por falta de dreno.
Rio dos Cedros	Em novembro de 2008, o rio foi bloqueado pelo escorregamento, criando-se uma represa natural temporariamente. Se isso voltar a acontecer, poderá ocorrer inundação em decorrência do rompimento da represa natural.
Pomerode	Há um escorregamento que surgiu com as chuvas de 2008 e foi reativado no final de agosto de 2010. O proprietário do terreno construiu dreno superficial de argamassa, dreno tradicional feito de bambu entrelaçado e escavação com máquinas pesadas para mudar a direção do escorregamento. Foi auxiliado pela pesquisa do CEPED.

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

4.2 Princípios básicos das medidas para a mitigação de escorregamentos e sedimentação

O Plano Diretor de mitigação de escorregamento e sedimentação será formulado de acordo com os três seguintes pontos:

- (1) Introdução das Medidas Estruturais e Medidas não estruturais.

Elaborar o Plano Diretor de mitigação de escorregamento e de sedimentação, conjugando as medidas estruturais e não estruturais.

- (2) Medidas considerando o gênero e as pessoas vulneráveis

Considerar os benefícios iguais a todos entre as sociedades diferenciadas na formulação de Plano Diretor de desastre.

- (3) Medidas integradas de escorregamento considerando o fator ambiental

Formular um Plano Diretor de escorregamento, considerando a minimização das disparidades de benefícios e de prejuízos que existem dentro da bacia hidrográfica do Rio Itajaí, tendo como objetivo a

melhoria de benefícios em toda a Bacia de forma equitativa, observando os seguintes pontos:

- . Minimizar a disparidade de distribuição dos benefícios e dos prejuízos dentro da Bacia,
- . Maximizar os benefícios em toda a Bacia do Rio Itajaí,
- . Dar a devida importância aos fatores naturais, ambientais e sociais.

4.3 Abordagem

Para adequada avaliação prévia de risco de escorregamento, procurar-se-á determinar as áreas de risco comparando os pontos onde houve desastres no passado e as condições topográficas, mas tomando o cuidado de não concentrar nos pontos afetados pelas chuvas de 2008, quando as precipitações se concentraram na jusante, com a conseqüente concentração também de desastres nesta área.

Para maximizar as facilidades da Bacia do Rio Itajaí como um todo e não afetar negativamente o meio ambiente com a construção de estruturas, tomou-se como importante pilar, as medidas não-estruturais tais como prevenção e alerta, ênfase nas medidas de evacuação, etc.

Nas áreas onde se prevêem prejuízos enormes, estudaram-se também as medidas estruturais. Do ponto de vista do fornecimento equitativo de serviços e do aumento de facilidade na bacia como um todo, acredita-se que o projeto de maior prioridade será as medidas contra quedas de barreiras nas estradas. Após selecionar os pontos de maior risco, tais como onde houve desastres no passado, avaliou-se a razoabilidade econômica das obras desta medida do ponto de vista do valor do prejuízo potencial anual, custo aproximado de obras e efeito de redução de prejuízo potencial anual.

A figura 4.3.1 mostra o fluxo do estudo de controle de escorregamento.

4.4 Diretrizes básicas para a elaboração do Plano Diretor de mitigação de escorregamentos

4.4.1 Síntese

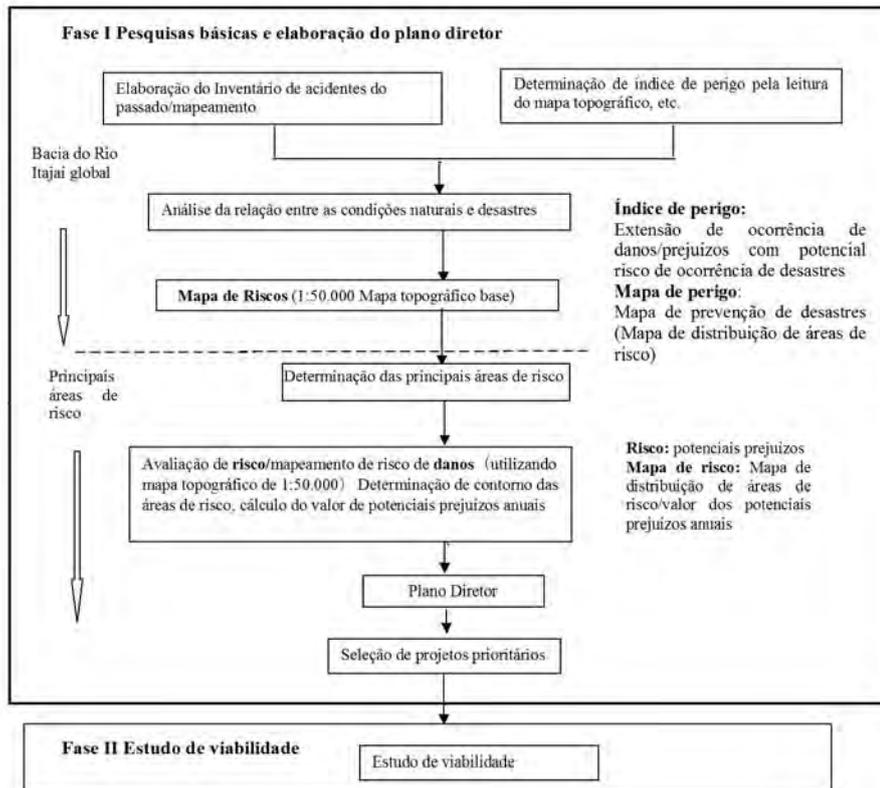
O desastre de novembro 2008 foi concentrado na Foz do Rio Itajaí. Este ocorreu em função das chuvas sucessivas concentradas na Foz do Rio Itajaí. Existe necessidade de evitar que as medidas sejam realizadas, somente na região da foz onde ocorreram os desastres.

Serão maximizados os benefícios dando prioridades nas áreas onde existem necessidades de implementar as obras, especial atenção aos locais onde esse desastre afeta a maior dimensão econômica. Considerado isso, foram estabelecidas as seguintes diretrizes básicas:

- i. Instalar o sistema de alarme/alerta de escorregamento e enxurrada abrangente para todo o Estado de Santa Catarina como as medidas não estruturais.
- ii. As obras serão implementadas a partir dos locais onde o valor do prejuízo potencial anual decorrentes dos desastres e maior.
- iii. No processo de implementação das medidas estruturais e não estruturais, o Governo do Estado de Santa Catarina deverá executar programas de fortalecimento técnico das instituições e educação sobre a prevenção dos desastres para as instituições relacionadas e populações.

4.4.2 Medidas não Estruturais

Com o objetivo de evitar perdas de vidas humanas e feridos pelos desastres serão introduzidos o sistema de alarme/alerta dos escorregamentos e enxurradas.



Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 4.1.1 - Fluxo de estudo de desastres de escorregamento de terra.

(1) Âmbito de aplicação do sistema de previsão e alerta de escorregamento e enxurrada:

Existe plano para estruturar o sistema de alarme/alerta pela Defesa Civil-SC e EPAGRI-CIRAM. Considerando que o mapeamento das áreas de riscos é extensivo para toda a região do Estado e os limites dos municípios não coincide com a divisão geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, além da existência de tráfegos de pessoas entre as bacias, é recomendável ampliar o sistema para todo o Estado de Santa Catarina.

(2) Âmbito de aplicação do sistema de previsão e alerta de escorregamento:

Instalar as estações pluviométricas automáticas nas 293 municipalidades. Os funcionários da Defesa Civil municipal irão monitor as estações pluviométricas automáticas e irão informar o prefeito quando atingir o índice pluviométrico pré-estabelecido. O Instituto de informações meteorológicas do Estado será responsável pelo armazenamento dos dados pluviométricos, determinação/atualização dos índices de referência da chuva para o disparo do alarme/alerta dos escorregamentos. Quando o índice de referência da chuva atingir o limite pré-estabelecido, O Instituto Meteorológico deverá notificar a Defesa Civil Municipal, Prefeito, além da mídia. O prefeito será responsável pelo anúncio do estado de alerta de escorregamento a população. A Defesa Civil-SC transmitirá as informações de alerta para o escorregamento por meio de rádio e TV e painéis eletrônicos rodoviários que o DEINFRA irá instalar nas rodovias estaduais. Os cidadãos e os turistas deverão suspender a ida para a escola ou para o trabalho, ou a viagem, tendo em vista o alerta de escorregamento, e refugiar-se pelas vias de escape pré-estabelecidas aos locais determinados (escolas, igrejas etc.) para se protegerem.

(3) Pontos do sistema de previsão e alerta de escorregamento que requerem atenção:

Basicamente o sistema deverá transmitir as informações via internet comum, e deverá ter baixo custo de instalação e facilidade de manutenção e controle. Este sistema deverá estar unificado com o sistema de alerta para enchentes e fazer parte do plano de contingência para enchentes em caso de evacuação.

Os painéis eletrônicos rodoviários que o DEINFRA irá instalar nas rodovias estaduais deverão ser utilizados nos dias normais para outras finalidades.

4.4.3 Medidas estruturais

(1) Seleção dos locais prioritários para implementação de medidas estruturais

Os locais prioritários para implementação de medidas estruturais serão escolhidos dentre diversas áreas de riscos de escorregamento, pelo critério de maior risco e de equidade de benefícios proporcionados.

(2) Projeto de medidas estruturais relativas à infraestrutura principal:

As medidas de dragagem nos canais do Porto Itajaí foram avaliadas como sendo medidas prioritárias devidas seu alto valor de prejuízo potencial anual. A dragagem que está sendo executada atualmente no canal do Porto pode ser considerada eficiente e eficaz. O custo do serviço de remoção dos sedimentos de barragem de contenção dos sedimentos para o reservatório das areias/pedras removidas na montante do Porto de Itajaí é equivalente ao custo de dragagem que está sendo executada atualmente. A produção de sedimentos pode estar ocorrendo nos locais onde pretende construir as barragens de contenção dos sedimentos, pois, os sedimentos estão sendo transportados também do Oceano. As medidas para a mitigação dos desastres de escorregamentos proporcionam também os efeitos de redução da produção dos sedimentos, portanto, a diretriz será a cobertura vegetal dos taludes no processo de estabilização.

Na rodovia federal BR470 e BR282 já foram executadas obras de manutenção preventiva de escorregamento, apresentando risco baixo. O DNIT também considera desnecessário executar novas obras de manutenção preventiva de escorregamento. Nas rodovias estaduais, as obras de manutenção preventivas de escorregamento ainda são insuficientes, havendo ainda muitos locais com risco de escorregamento. O DEINFRA também tem sugerido a adoção das medidas estruturais para os locais com risco de escorregamento. Com relação às estradas municipais, há necessidade de implementar medidas estruturais nos municípios de Gaspar, Luiz Alves e Brusque. As rodovias com tráfego maior do que 200 veículos por dia e o valor de prejuízo potencial anual maior do que R\$50 mil reais nos locais de risco com escorregamentos constam na Tabela 6.3.2 acima e estão relacionadas na ordem de prioridade de 2º ao 68º. As obras de recuperação das rodovias municipais foram executadas pelo Governo de Estado, após o desastre de 11/2008, portanto, existe precedente, há possibilidade de executar como projeto do Governo Estadual, desde que a Assembleia Legislativa aprove o projeto.

(3) Projeto de medidas estruturais relativas às zonas urbanas

Nos municípios de Rio do Sul, Benedito Novo e Blumenau há escorregamento ativo ocorrendo na zona residencial urbana. A implementação das obras de drenagem subterrânea seria eficiente. Porém, o valor de prejuízo potencial anual desses locais de riscos nas áreas residenciais urbanas é menor do que R\$50 mil, portanto, a ordem de prioridade desses locais é baixa.

(4) Projeto de medidas estruturais contra desastres relativos aos novos empreendimentos habitacionais

Há casos de empreendimentos habitacionais e industriais que estão gerando novos problemas de escorregamento. É preciso aprimorar as normas técnicas de terraplenagem de terrenos inclinados e, ao executar a obra, utilizar drenos abertos ou fechados e meio de regulação de fluxo de água, para conter a enxurrada e contribuir também para combater a inundação. Propõe-se eleger como projeto-modelo as áreas de maior risco entre os empreendimentos em curso ou futuros empreendimentos, incluindo na cooperação técnica por conta do financiamento. O auxílio técnico deverá contemplar a pesquisa, a avaliação da adequação do terreno para o empreendimento, planejamento de medidas estruturais, o projeto e o controle de execução de obras.

CAPÍTULO 5 FORMULAÇÃO DO PLANO DIRETOR DE GESTÃO DE ESCORREGAMENTOS

5.1 Estruturação do Plano Diretor

Na Tabela 5.1.1 a ilustração da estrutura do Plano Diretor de medidas para mitigação da sedimentação e desastres de escorregamentos e de inundações bruscas na Bacia do Rio Itajaí. Porém, cabe ressaltar que no Plano Diretor, foi dado prioridade para as medidas não estruturais (Desastres de escorregamento e de inundações bruscas) e as medidas estruturais (Medidas para desastres de escorregamentos).

Tabela - 5.1.1 - Estrutura do Plano Diretor medidas de mitigação da sedimentação e desastres de escorregamentos e de inundações bruscas na Bacia do Rio Itajaí.

Objetivo	Medidas	Medidas dentro deste Plano Diretor
Evitar perdas de vidas humanas	1) Medidas não Estruturais (Introdução do Sistema de alerta/alarme de escorregamentos e inundações bruscas baseado no indicador de chuva para todo o Estado de SC). a) Monitoramento da chuva, armazenamento de dados, e estruturação do sistema de alarme/alerta e de transmissão de dados). b) Treinamento de evacuação para os residentes e as instituições responsáveis.	Elaborar o Projeto Básico, incluindo o cálculo de custos.
Atenuação dos prejuízos econômicos	2) Medidas estruturais para escorregamentos Determinar a ordem de prioridade das medidas dos locais de risco baseado no indicador de valor de prejuízo potencial anual e implementar nos locais de riscos que têm alto grau de prioridade.	
	3) Medidas para redução da produção de sedimentos. Promover a cobertura vegetal das áreas com riscos de erosão e recuperar as matas ciliares para prevenir contra a erosão das margens do rio. Implementar medidas estruturais nas áreas de riscos, elevando os efeitos de redução da produção de sedimentos, baseado na recuperação das áreas verdes.	Não será elaborado o Plano específico para esse tópico no Plano Diretor, considerando que esta matéria faz parte das medidas do Plano de Recursos hídricos e Programa de recuperação das matas ciliares.
	4) Medidas mitigadoras de inundações bruscas Introduzir instalações reguladoras de escoamento que tem função de diminuir inundações bruscas	Não será elaborado o Plano específico para esse tópico no Plano Diretor, considerando que esse assunto faz parte do Plano Diretor de Municípios.
	5) Melhoramento tecnológico na implementação dos projetos de loteamento residencial e apoio técnico ao setor privado. a) Fortalecimento Técnico para execução das medidas estruturais; b) Apoio técnico ao setor privado. Medidas estruturais inerentes aos empreendimentos privados com o valor de prejuízo potencial anual baixo e ordem de prioridade não sendo alto, serão realizados treinamentos simplificados de prevenção e apoio técnico com recursos financeiros público ou privado.	Neste Plano Diretor, será explanada a necessidade de uma política para esse assunto.

Fonte: Equipe de estudos da JICA

5.2 Medidas não estruturais (Medidas mitigadoras de desastre de escorregamento e de inundações bruscas)

5.2.1 Estruturação do Sistema de alerta, armazenamento de dados e monitoramento de chuvas.

(1) Aplicação para todo território do Estado.

Considerando as efetividades e generalidades destas medidas, recomenda-se cobrir todo o Estado. As razões da cobertura de todo o Estado de SC são:

- i) Efetividade do retorno do investimento pelo critério de evitar perdas de vida humana em todo território do Estado;
- ii) Garantia da integridade de vida dos turistas que transitam dentro e fora da Bacia do Rio Itajaí;
- iii) O sistema poderá contemplar os municípios que possui parte do território pertencente à Bacia e outra não, sem fazer discriminação da população dessa região do município.

(2) Síntese e Medição do índice pluviométrico.

Instalar o sistema de alerta/alarme de escorregamentos e inundações bruscas de acordo com o indicado na seção 5.2.3 “índice de umidade do solo, considerando o escoamento superficial e umidade do solo”.

O gerenciamento do Sistema de alarme/alerta dos desastres de escorregamento e inundações bruscas e a notificação de alerta será responsabilidade da Defesa Civil-SC. A evacuação dos cidadãos e o controle de interdição de tráfego das estradas serão realizados pela Prefeitura. A ordem de interdição do tráfego das estradas estaduais serão de responsabilidade do DEINFRA. As instruções de rotina aos alunos durante o desastre natural, tais como de rotina da escola ou ordem de espera na escola, serão da responsabilidade do SDR.

Conforme indicado na Figura- 5.2.1 é importante instalar Sistema de alerta/alarme baseado na metodologia do “Índice de Umidade do Solo” e adquirir a conscientização dos cidadãos sobre os riscos de desastres. É também necessário preparar os Mapas de riscos de desastres (S=1/10.000), identificando as áreas vulneráveis ao desastre e predefinindo as rotinas de evacuações.

Curto Prazo

- Instalar o Sistema de alerta/alarme de desastre de escorregamento utilizando o método de índice de umidade do solo
- Preparar os Mapas de Riscos de desastre (1/50.000).
- Através dos Mapas de risco de desastres, conscientizar a evacuação voluntária da população das áreas consideradas de alto risco de desastre.
- O Governo Municipal/Prefeito alertará os residentes sobre os riscos. No caso de acontecer probabilidade de risco de desastre, será utilizada a instrução de evacuação e de interdição de tráfegos nas estradas municipais.
- O DEINFRA, através dos painéis eletrônicos rodoviários que serão instalados nas estradas principais, alertará os usuários de estradas. No caso de acontecer probabilidade de risco de desastre, será utilizada a instrução de evacuação ou de interdição de tráfegos nas estradas estaduais.
- O SDR será responsável para instruir a suspensão das aulas escolares, orientar os alunos para retornar às suas casas ou manter na escola, de acordo com a situação do momento.

Médio Longo Prazo (5 a 10 anos)

- Cada município irá preparar o Mapa de Risco de Desastre na Escala de 1/10.000, identificando as áreas de alto risco de desastre, dependências para evacuação, elaborando o procedimento para evacuação e divulgando as informações aos cidadãos. Também serão identificadas as estradas vulneráveis de desastres,
- A DEINFRA, através das implementações dos estudos específicos, definirá os locais vulneráveis aos desastres, realizando os controles de tráfegos dos veículos.
- O Governo Municipal/Prefeito/DEINFRA realizarão o controle de tráfegos de veículos nos locais vulneráveis aos desastres, baseado na notificação de alerta da Defesa Civil –SC .

Figura - 5.2.1 - Estratégia de Implementação do Sistema de Alerta/Alarme

Prevê-se instalar os pluviômetros (mais termômetro, higrômetro e anemômetro) na dependência da Prefeitura ou da Defesa Civil ou da Celesc, disponibilizando-se a bateria solar para evitar a falta de registro quando estiver sem energia elétrica. Os dados serão transmitidos através de celular GPRS (General Packet Radio Service) e sistema de transmissão da CELESC simultaneamente e armazenar no servidor da EPABRI/CIRAM.

Para prevenir a falha de registro, devido ao problema de transmissão via GPRS, a Defesa Civil de cada município receberá dados via micro-ondas e fará o download de dados acumulados com datalogger existente no escritório e armazenar no computador.

A EPAGRI/CIRAM irá efetuar a modelagem com WRF (Weather Research and Forecasting) com base na medição de chuva e calcular o índice pluviométrico para efeito de previsão de tempo. Quando o índice de chuva atingir o indicador de chuva de alerta ou alarme estabelecido previamente, irá divulgar na página da internet, boletim informativo e outros meios de comunicação, além de comunicar a Defesa Civil, SDR e Prefeito de cada município. O disparo de alerta/alarme será realizado pela SDR às Escolas estaduais dos municípios de sua competência, pelo Prefeito às comunidades e turistas e preparativos para ação de contingência. A Defesa Civil e DEINFRA serão responsáveis pela divulgação das informações através do painel eletroluminescente que está instalado em diversos pontos das rodovias e preparo das ações de contingenciamento.

(3) Definição do valor referencial para alerta/alarme de desastres de escorregamento e inundações bruscas

O valor referencial para alerta/alarme de desastre de escorregamento e de inundações bruscas será definido utilizando o índice de umidade do solo utilizado no Japão, além do índice pluviométrico desenvolvido pelo IPT da USP para determinar o índice de referência pluviométrica para o sistema de alerta/alarme de escorregamentos. Devido à falta de registro de horas da ocorrência dos desastres de escorregamentos/enxurrada, também os dados de chuvas nos locais de desastre por sua distância entre a estação pluviométrica e a maioria dos lugares dos desastres de escorregamentos (geralmente mais do que 10 km) existem dificuldade para estabelecer o índice referencia através dos dados registrados de chuva do momento da ocorrência do desastre. Portanto, estabelece-se como sendo índice de referência pluviométrica para o alarme o valor equivalente ao índice pluviométrico de 10 anos de retorno. Isso porque no Japão 93% das mortes com desastres de escorregamentos (com exceção dos desastres ocorridos no canteiro de obras) ocorreram dentro da condição de maior valor do índice de umidade do solo (saturação) medido nos últimos 10 anos (dados estatísticos de 1991 até 2000). O índice de referência pluviométrica para o alerta (=atenção) será estabelecido como sendo índice de chuva equivalente ao retorno de 1 ano, devido à necessidade de preparação para a situação de alarme, conscientização da população sobre o sistema de alerta/alarme de escorregamentos, além do treinamento dos membros do grupo de ação na emergência.

A revisão do índice de referência pluviométrica para a alerta e alarme de desastres de escorregamentos será efetuada no mês de junho devido pouca chuva nesse período, baseado nos índices de chuvas acumulados.

(4) Cálculo do valor do índice de referência pluviométrica baseado nos dados de precipitação e divulgação/disparo de alerta/alarme dos desastres de escorregamentos.

A EPAGRI/CIRAM será responsável pelo calculo do índice de referência pluviométrica para 3 horas futuras, de 20 minutos em 20 minutos, baseado na modelagem de dados de precipitação real através do WRF, e quando a chuva atingir esse índice deverá divulgar através da internet, TV e Rádio e simultaneamente comunicar o Prefeito da cidade e Defesa Civil.

A Defesa Civil-SC, através da Mídia, irá notificar a Alerta/Alarme oficial e as comunicações à Defesa civil para os municípios que irão implementar as preparações necessárias para os desastres.

O Governo local/Prefeito será responsável para declarar o alerta/alarme à população através do painel eletrônico informativo, sino da igreja, e carro patrulha, além de acionar o grupo de emergência (o método de comunicação desse sistema de alerta/alarme será igual ao das enchentes).

O DEINFRA irá cooperar com a Defesa Civil-SC e alertar ou mesmo suspender o tráfego dos veículos em circulação nas estradas divulgando o alerta/alarme através de painéis de comunicado ou propaganda nos principais locais da rodovia. Nos dias normais e sem ocorrência de desastres, os painéis eletrônicos rodoviários e locais do comunicado para alerta/alarme poderá ser utilizado como meios de propaganda comercial, quando ocorrer o desastre solicita a autorização de uso para fins de alerta/alarme. O painel eletrônico poderá ser utilizado para a transmissão de noticiários e propagandas nos dias normais e utilizar para o comunicado de alerta/alarme quando ocorrer os desastres.

(5) Ação para evitar os desastres

Quando receber o comunicado de alerta de desastre:

- A SDR deverá suspender as aulas nas escolas estaduais e evitar o trânsito dos alunos entre a residência e escola. Se os alunos estiverem na escola, deverá orientar o retorno às suas residências destes alunos com segurança (manter os alunos na escola, dependendo da situação). Nos locais de trabalho também deverão orientar os trabalhadores na situação de contingência.
- Os transeuntes de rodovias deverá suspender a viagem para os locais de ocorrência de desastres, respeitando o comunicado.

Quando receber o comunicado de alarme de desastre:

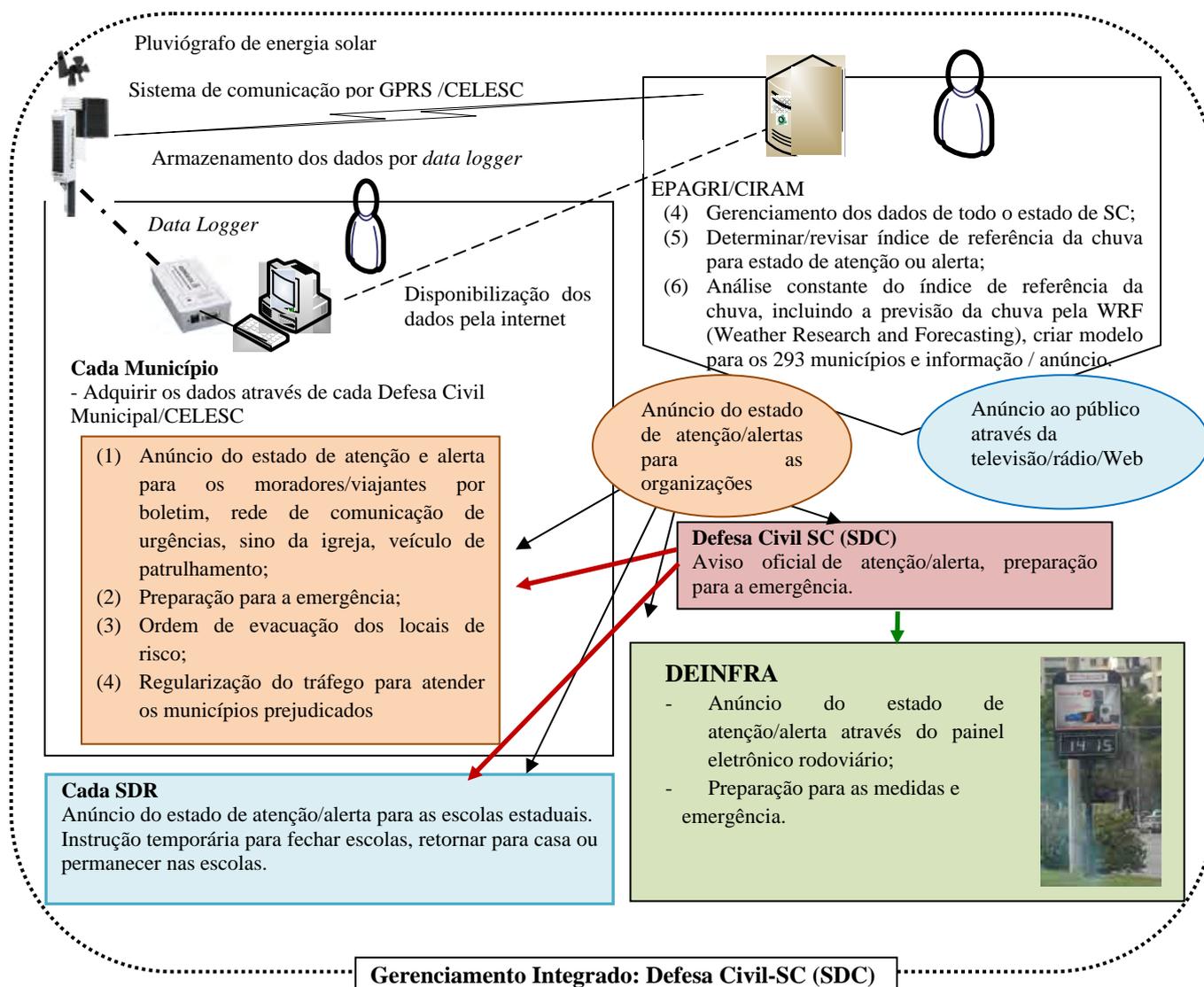
- Através das instruções do Governo Local/Prefeito, os moradores das áreas de riscos (área com indicação de riscos) deverão evacuar para os abrigos previamente definidos (escolas, igrejas, etc.), seguindo a rota de fuga previamente traçada.
- Os transeuntes das rodovias deverão suspender a viagem para os locais de ocorrência de desastres, respeitando o comunicado.

5.2.2 Suporte técnico necessário para a mitigação dos escorregamentos/sedimentação e projeto executivo.

A Defesa Civil Municipal realizará os treinamentos técnicos de evacuação de desastres naturais para os residentes e as instituições relacionadas para assegurar as vidas de residentes através das divulgações das informações sobre os desastres naturais. O treinamento para os agentes de defesa civil municipal será de responsabilidade da Defesa civil –SC. A Municipalidade deverá preparar os mapas de risco de desastres naturais com o apoio do Estado, junto com as Universidades. Depois de elaborados os mapas, deverão ser divulgados as informações, indicando-se as áreas de riscos e caminhos de evacuação. Também será importante a realização de treinamentos para evacuação de desastres e as divulgações das informações sobre este tema.

Na emissão de alerta de desastre, o Prefeito, comunica-se com o corpo de bombeiros e delegacia de policia, defesa civil municipal, e deverá preparar os espaços necessários para receber os evacuados, e vistoriar as áreas de risco, e comunicar os residentes das áreas de risco. No nível de emissão de alerta, apesar de ainda não exigir evacuação, é desejável realizar as evacuações como uma forma de treinamento.

Nas escolas, os professores indicam aos alunos os caminhos mais seguros e instruções de esperas aos alunos residentes nas áreas de riscos. No caso de instrução de espera, os professores deveram realizar as instruções sobre as forma de evacuação, utilizando-se os fotos e mapas das áreas de risco.



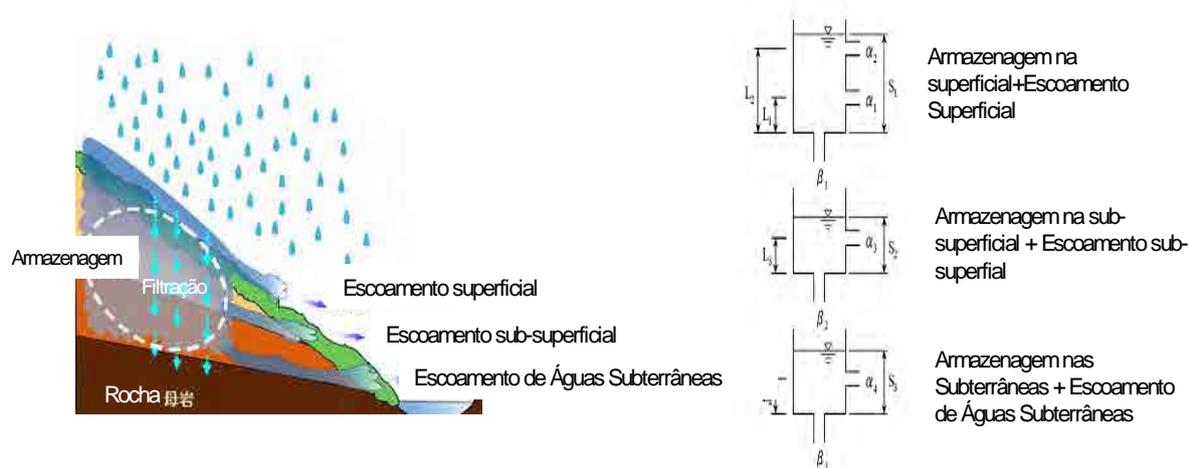
Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Figura - 5.2.2 - Síntese do sistema de alerta/alarme de escorregamento e enchentes bruscas

5.2.3 Índice de umidade do solo

O índice de umidade do solo (IUS; Soil Water Index) é um indicador calculado dos escoamentos das águas subterrâneas que indica os equilíbrios hidrológicos subterrâneos. Também, o índice de umidades do solo representa as situações escaladas de varias tipos de camadas dos solos que tem diferentes capacidades de contenção de água. São contabilizadas as quantias de escoamentos de cada câmara de solo, através do modelo de tanque bidimensional. Na figura 5.2.2, indica-se três tanques, cada uma tendo um escamento como indicadas na forma “ $a_1 a_2, a_3 a_4$ ”.

Na Tabela 5.2.1, indica-se o índice de umidade de solo calculado com base nas chuvas de novembro de 2008 que causou grande calamidade de desastres e suas probabilidades de ocorrências. Os dados foram colhidos das estações onde contém mais de 10 anos de registro. Devido à falta de informações de precipitações horárias, foram estimadas as precipitações horárias e foi estimado o índice de umidade do solo. Cabem mencionar que os índices de umidades dos solos nas cidades onde teve grande desastre foram calculados maiores do que 145 mm, sendo estimado mais de 20 anos de probabilidades de ocorrências.



Parâmetros comumente utilizados no Japão para alerta de Desastre de Escorregamento			
	Armazenagem Superficial	Armazenagem sub-superficial	Armazenagem Subterrânea
Altura de orifício (mm)	L ₁ 15 L ₂ 60	L ₃ 15	L ₄ 15
Coefficiente de Escoamento (mm/H)	α ₁ 0.10 α ₂ 0.15	α ₃ 0.05	α ₄ 0.01
Coefficiente de Infiltração (mm/H)	β ₁ 0.10	β ₂ 0.05	β ₃ 0.01

Figura - 5.2.3 - Índices de umidade de solo utilizada para a alerta de desastres de escorregamento

Tabela - 5.2.1 - Índice de umidade de solo calculada com Chuva Intensa de novembro de 2008

Nome das localidades observadas	Estação No.	Valor máximo de índice de umidade do solo por ocasião da chuva intensa de novembro de 2008	Anos recorrência da coluna à esquerda	Período de registro de volume de chuva utilizada no cálculo
Rio do Campo	639	37 mm	Menos de um ano	De 1995 a 2009 (15 anos)
Ituporanga	191	43 mm	Menos de um ano	De 1988 a 2009 (22 anos)
Indaial	167	145 mm	20 anos	De 1991 a 2009 (19 anos)
Blumenau	35	245 mm	60 anos	De 1997 a 2009 (13 anos)
Itajaí	183	191 mm	30 anos	De 1987 a 2009 (23 anos)

Fonte: Elaborada pela Equipe de Estudo da JICA

5.3 Medidas estruturais

5.3.1 Ordem de prioridade e plano de medidas para desastre de escorregamentos e plano de medidas

A fins de evitar as perdas econômicas pelos desastres de escorregamento, as medidas serão implementadas nos locais onde existem potenciais perdas econômicas se não tomarem as medidas. Na análise de riscos dos desastres de escorregamentos e sedimentação, selecionamos 67 lugares prioritários de maior risco com prejuízo anual potencial maior do que R\$ 50.000,00 para adoção de medidas estruturais, excluindo a medida para Porto de Itajaí onde já estão tomadas as medidas adequadas. São 33 locais nas rodovias estaduais e 34 locais nas rodovias municipais. No caso de rodovias federais, as medidas de desastres de escorregamentos têm sido adotadas continuamente e todas as obras de recuperação, após os desastres de 2008 já foram concluídas e não há mais locais iminentes de riscos (entrevistas com o pessoal do DNIT e visita técnica de campo).

Em cada local desse iremos propor basicamente o revestimento das encostas com vegetação para restringir a erosão e impedir a sedimentação. Nos lugares onde não existe risco com queda de árvores, iremos propor a plantação de espécies arbóreas que irá contribuir na fixação de carbono e melhoria do meio ambiente do planeta. Na tabela 9.3.1 está ilustrado o local e conteúdo das obras de medidas.

Tabela -5.3.1- Tipos de escorregamentos e seleção das medidas estruturais

Tipo de escorregamentos	Localização de adoção das medidas	Condições de taludes para aplicação das medidas		Principais obras aplicáveis Cobertura vegetal e vala lateral de drenagem são comuns para todas as obras
Desmoronamento	Encosta lado montanha	Retaludamento não possibilita estabilidade de inclinação		Obras de solos grampeados (pregados) e Cortina atirantada
		Possibilidade de desprendimento das rochas		Remoção de rochas instáveis, fixação da base, cerca de proteção das rochas, manta de proteção de queda.
		Retaludamento possibilita a estabilidade de inclinação	Altura talude maior do que 15 metros	Remoção de solos instáveis (corte) e corte do solo reforçado
	Altura talude até 15 metros		Remoção de solos instáveis manta vegetal e gabião caixa na base	
	Encosta lado vale	Local onde ocorre erosão e poderá causar desmoronamento da estrada ao longo prazo		Aterro, estaca metálica, pilha de folha metálica, blocos,
Margem do rio	Acostamento destruído ou rachadura ou afundamento da superfície da estrada		Proteção com gabião e cobertura de solo, proteção com bloco contínuo e cobertura de solo.	
Escorregamento	Encostas a montante e a jusante	Escorregamento profundo e água subterrânea bastante intensa		Drenagem tipo barbacãs, proteção com gabião tubular, estaca metálica.
	Encostas a montante	Escorregamento profundo e água subterrânea pouco intensa		Obras de drenagem com vala, canaleta combinado com barbacã (meian-mizo), corte do solo reforçado, gabião tubular.
	Pista de rolamento e encosta lado vale	Escorregamento profundo e água subterrânea pouco intensa		Análise comparativa da estaca metálica e aterro leve
	Leve escorregamento da pista de rolamento	Leve escorregamento causado pelo defeito de pavimentação ou deficiência da drenagem		Recapeamento da pista de rolamento
Escoamento	Vale longitudinal da rodovia	Histórico de escoamento do passado		Obra de contenção de areias/pedras

Fonte: Equipe de Estudos da JICA

Na Tabela-5.3.2 a relação de medidas estruturais e tipos de obras sugeridas.

Tabela - 5.3.2 - Ordem de prioridade e plano de medidas estruturais para os desastres de escorregamentos

Ordem de prioridade	Local	Município	Gestão	Valor anual de prejuízo potencial (Mil/ano)	Tipo de desastre	Tipos de Obras (proteção de encostas que inclui revestimento com vegetação e obras de dreno em todos os locais)
1	SC 302 Taió - Passo Manso-5	Taió	Rodovia estadual	1,255	Desmoronamento da pista parcial ou total	Cravação de estaca, dreno barbacãs, gabião tubular
2	SC470 Gaspar Margem do rio	Gaspar	Rodovia estadual	1,095	Colapso (margem do rio)	Gabião tubular, proteção da base com pedra e matacão
3	Blumenau –Av Pres Casrelo Branco	Blumenau	Rodovia municipal	1,021	Colapso (margem do rio)	Pedras cimentadas e proteção da base com pedra
4	SC418 Blumenau – Pomerode	Pomerode	Rodovia estadual	989	Escorregamento (encosta lado do morro)	Remoção de solo
5	SC474 Blumenau-Massaranduba 2	Blumenau	Rodovia estadual	907	Leve Escorregamento da pista	Aterro com reforço
6	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 9	Gaspar	Rodovia municipal	498	Colapso (encosta lado morro e encosta lado vale)	Corte de talude e dreno barbacãs
7	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 6	Luis Alves	Rodovia municipal	982	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
8	SC470 Gaspar Bypass	Gaspar	Rodovia estadual	689	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
9	SC477 Benedito Novo - Doutor Pedrinho 1	Benedito Novo	Rodovia estadual	680	Desmoronamento da pista parcial ou total	Cravação de estaca, dreno barbacãs, gabião tubular
10	SC418 Pomerode - Jaraguá do Sul 1	Pomerode	Rodovia estadual	651	Colapso da pista	Aterro e recapeamento da pista
11	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 4	Luis Alves	Rodovia municipal	629	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude e dreno
12	SC474 Blumenau-Massaranduba 1	Blumenau	Rodovia estadual	141	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
13	SC 302 Taió-Passo Manso 4	Taió	Rodovia estadual	453	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
14	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 11	Luis Alves	Rodovia municipal	497	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
15	SC486 Brusque - Botuverá 13	Botuverá	Rodovia estadual	473	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
16	SC416 Timbó – Pomerode	Timbó	Rodovia estadual	443	Escorregamento (encosta lado morro)	Corte de talude, dreno barbaças, gabião tubular
17	SC486 Brusque - Botuverá 1	Brusque	Rodovia estadual	473	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
18	R. Alameda Rio Branco, Blumenau	Blumenau	Rodovia municipal	398	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
19	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 2	Gaspar	Rodovia municipal	497	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
20	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 7	Luis Alves	Rodovia municipal	629	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
21	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 1	Gaspar	Rodovia municipal	379	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
22	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 3	Luis Alves	Rodovia municipal	372	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
23	Ponte Aldo P. de Andrade – margem direita	Blumenau	Rodovia municipal	366	Escorregamento superficial e afundamento da pista	Recuperação da pista e recapeamento
24	SC486 Brusque - Botuverá 3	Brusque	Rodovia estadual	344	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
25	SC486 Brusque - Botuverá 2	Brusque	Rodovia estadual	301	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
26	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 8	Gaspar	Rodovia municipal	326	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude e gabião tubular
27	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 4	Gaspar	Rodovia municipal	323	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude

Ordem de prioridade	Local	Município	Gestão	Valor anual de prejuízo potencial (Mil/ano)	Tipo de desastre	Tipos de Obras (proteção de encostas que inclui revestimento com vegetação e obras de dreno em todos os locais)
28	SC486 Brusque - Botuverá 9	Botuverá	Rodovia estadual	301	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
29	SC486 Brusque - Botuverá 7	Brusque	Rodovia estadual	298	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
30	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 2	Luis Alves	Rodovia municipal	278	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
31	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 7	Gaspar	Rodovia municipal	276	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude e gabião tubular
32	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 1	Luis Alves	Rodovia municipal	271	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
33	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 5	Luis Alves	Rodovia municipal	271	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
34	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 8	Luis Alves	Rodovia municipal	270	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude e gabião tubular
35	SC486 Brusque - Botuverá 11	Botuverá	Rodovia estadual	260	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
36	SC486 Brusque - Botuverá 10	Botuverá	Rodovia estadual	260	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
37	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 10	Luis Alves	Rodovia municipal	227	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
38	SC486 Brusque - Botuverá 12	Botuverá	Rodovia estadual	221	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
39	SC486 Brusque - Botuverá 4	Brusque	Rodovia estadual	483	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
40	SC486 Brusque - Botuverá 6	Brusque	Rodovia estadual	220	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
41	SC486 Brusque - Botuverá 14	Botuverá	Rodovia estadual	389	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
42	SC486 Brusque - Botuverá 5	Brusque	Rodovia estadual	145	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
43	SC 302 Taio-Passo Manso 2	Taio	Rodovia estadual	526	Escorregamento superficial e afundamento da pista	Recuperação da pista e recapeamento
44	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 6	Gaspar	Rodovia municipal	184	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude e gabião tubular
45	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 10	Gaspar	Rodovia municipal	184	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude e gabião tubular
46	SC418 Pomerode - Jaraguá do Sul 2	Pomerode	Rodovia estadual	184	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
47	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 12	Luis Alves	Rodovia municipal	184	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
48	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 3	Gaspar	Rodovia municipal	184	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
49	SC413 Luis Alves -Massaranduba 1	Luis Alves	Rodovia estadual	172	Escorregamento (encosta lado morro)	Dreno barbacãs e gabião tubular
50	Gaspar - Blumenau 3	Gaspar	Rodovia municipal	169	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
51	SC486 Brusque - Botuverá 8	Botuverá	Rodovia estadual	151	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
52	SC 302 Taio-Passo Manso 1	Taio	Rodovia estadual	683	Escorregamento superficial e afundamento da pista	Recuperação da pista e recapeamento
53	SC 302 Taio-Passo Manso 3	Taio	Rodovia estadual	384	Escorregamento superficial e afundamento da pista	Recuperação da pista e recapeamento
54	SC477 Benedito Novo - Doutor Pedrinho 2	Benedito Novo	Rodovia estadual	144	Escorregamento superficial (encosta lado morro)	Dreno e recapeamento
55	R. Bruno Hering, Blumenau	Blumenau	Rodovia municipal	119	Fluxo de detritos	gabião tubular
56	Gaspar - Luis Alves, Luis Alves 9	Luis Alves	Rodovia municipal	111	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
57	SC477 Benedito Novo - Doutor Pedrinho 3	Benedito Novo	Rodovia estadual	108	Escorregamento superficial e afundamento da pista	Muro terrae com bloco de concreto
58	Gaspar - Luis Alves, Gaspar 5	Gaspar	Rodovia municipal	106	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude

Ordem de prioridade	Local	Município	Gestão	Valor anual de prejuízo potencial (Mil/ano)	Tipo de desastre	Tipos de Obras (proteção de encostas que inclui revestimento com vegetação e obras de dreno em todos os locais)
59	Baú	Ilhota	Rodovia municipal	101	Fluxo de detritos	gabião tubular
60	SC486 Brusque – Botuverá 15	Brusque	Rodovia estadual	78	Colapso (encosta lado morro)	Gabião tubular e recapeamento
61	Luis Alves Estrada municipal 1	Luis Alves	Rodovia municipal	67	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude e gabião tubular
62	SC413 Luis Alves -Massaranduba 2	Luis Alves	Rodovia estadual	62	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
63	Luis Alves Estrada municipal 2	Luis Alves	Rodovia municipal	59	Colapso (encosta lado morro)	Remoção de seixos instáveis (explosão)
64	Brusque Estrada municipal 1	Brusque	Rodovia municipal	56	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
65	Gaspar - Blumenau 2	Blumenau	Rodovia municipal	55	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude
66	Gaspar - Blumenau 1	Blumenau	Rodovia municipal	55	Colapso (encosta lado morro)	gabião tubular
67	Brusque Estrada municipal 2	Brusque	Rodovia municipal	51	Colapso (encosta lado morro)	Corte de talude

Fonte: Equipe de estudos da JICA

5.4 Medidas de mitigação de produção de sedimentos

A adoção das medidas de sedimentação em toda bacia tais como cobertura de terrenos degradados com vegetação e recuperação da mata ciliar irá contribuir para a prevenção de erosão das margens do rio. O principal objetivo deste empreendimento é preservação dos recursos hídricos e florestais e poderá obter resultados de melhoria do meio ambiente com a fixação de carbono através das medidas de mudanças climáticas cujo estudo não foi incluído neste Plano Diretor.

Na bacia Hidrográfica Itajaí, as perdas econômicas pela sedimentação ocorrem somente no Porto de Itajaí, estimando-se aproximadamente R\$ 9 milhões de potencial de perda econômica anual equivalente a R\$ 19,00/m³.

As intervenções nas recuperações das vegetações e matas ciliares tem objetivo de preservar os recursos hídricos e preservações das áreas verdes. Os locais prioritários para adoção das medidas de mitigação da sedimentação são: Rio Luiz Alves que ainda não há exploração significativa da areia pelas empresas de grande porte e a região do Morro do Baú onde ainda não houve intervenção nos terrenos descobertos e leitos dos rios assoreados, após a tempestade de novembro de 2008.

As medidas estruturais adotadas para prevenção dos desastres de escorregamentos irão também reduzir os problemas de sedimentação. A implementação das obras de barreiras de contenção de sedimentos ou bolsão para retardamento dos sedimentos não são adequadas economicamente como medida de redução de sedimentos no Porto de Itajaí, pelas razões abaixo:

O custo de remoção das instalações de contenção dos sedimentos é equivalente ao valor de prejuízo potencial do Porto.

Nem todos os sedimentos serão transportados até a região do Porto, parte desses sedimentos é extraída como areia para construção, além de ocorrer assoreamento na planície de inundação ao longo do tempo.

Além disso, a altitude do leito do rio na área do Porto de ITAJAÍ era (-) 5 metros no passado, e desde 1980 tem realizado dragagens para aprofundar o calado do porto e atualmente a altitude é de -14 metros para possibilitar a navegação de embarcação de grande porte. Isso possibilita a ocorrência de sedimentação, além de transporte de sedimentos de mar para a área do porto.

O volume de deposição desses sedimentos na área do porto e o volume de dragagem são desconhecidos. Após identificar esses volumes de deposição e refluxo dos sedimentos do mar e esclarecer o mecanismo de deposição, seria ideal adotar as medidas de mitigação de produção de sedimentos que inclui a medida de refluxo de sedimentos.

5.5 Medidas mitigadoras de desastres de inundações bruscas

Como as medidas mitigadoras de desastres de inundações bruscas, recomenda-se executar construções de infraestruturas que regulam o escoamento superficial que evitam as enchentes. Em função do desenvolvimento urbano, o problema de enxurrada é causado pela diminuição das áreas verdes que possibilitam infiltrações das chuvas no subsolo. Estes problemas deverão ser tratados no planejamento urbano de cada cidade.

5.6 Suporte técnico necessário para a mitigação dos escorregamentos/sedimentação e projeto executivo.

5.6.1 Suporte técnico nas etapas de planejamento

Apesar das obras de urbanizações oferecerem residências seguras para as populações afetadas com desastres naturais, nas políticas de desenvolvimento urbano, deverão tomar considerações para não causar ou agravar os desastres novos, tais como inundações bruscas e escorregamentos. O Estado deverá realizar suficiente suporte técnico para planejamento das políticas de urbanizações. Na tabela-9.6.1, ilustra-se o suporte técnico necessário para o planejamento dos projetos executivos na mitigação dos escorregamentos/sedimentação.

Tabela - 5.6.1 - Suporte técnico para mitigação dos escorregamentos/sedimentação e projeto executivo

Discriminação da técnica	Objetivo e Resultado	Situação atual	Plano
Implementação da obra de drenagem da água pluvial no loteamento habitacional	Prevenção de enchentes e inundações bruscas causadas pelo excesso da água de chuva que escoam na superfície na área de loteamento habitacional	Não existe normatização de critérios técnicos.	Normatização de critérios técnicos nas construções.
Obras de proteção de encostas Obras de estabilização de encostas	Estabilização de encostas de loteamento habitacional e prevenção de sedimentação	Existem normas técnicas e metodologia de fiscalização das obras. Há casos concretos de ocorrência da sedimentação devido à desestabilização de encostas em função dos drenos inadequados.	Fortalecer a fiscalização dos projetos executados pelo Empreendedor (Estado ou Prefeitura). Realizar os treinamentos dos técnicos do Estado que atuam em projetos e execução de obras.
Remoção de terras de terraplenagem	Prevenção da sedimentação	Existem regulamentação e fiscalização eficiente exercida pela FATMA.	Dar continuidade com a regularização e fiscalização.

Fonte: Equipe de estudos da JICA

Nos apêndices 5-1 e 5-2 estão ilustrados os exemplos de obras de drenos para regulação das águas pluviais, proteção e estabilização das encostas de loteamentos habitacionais.

5.6.2 Apoio às intervenções dos setores privados

Apesar de que não estar contemplados as medidas mitigadoras nos locais onde as perdas econômicas potenciais são insignificantes, recomenda-se dar apoios técnico e financeiro para sua implementação.

No Estado de Santa Catarina, encontra-se o Fundo conjugado criado pelas CPRAM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e CREA-SC (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia-SC). Porém ainda não é suficiente para atender as demandas financeiras para recuperação das obras nas áreas de alto risco. Recomenda-se fortalecer este setor.

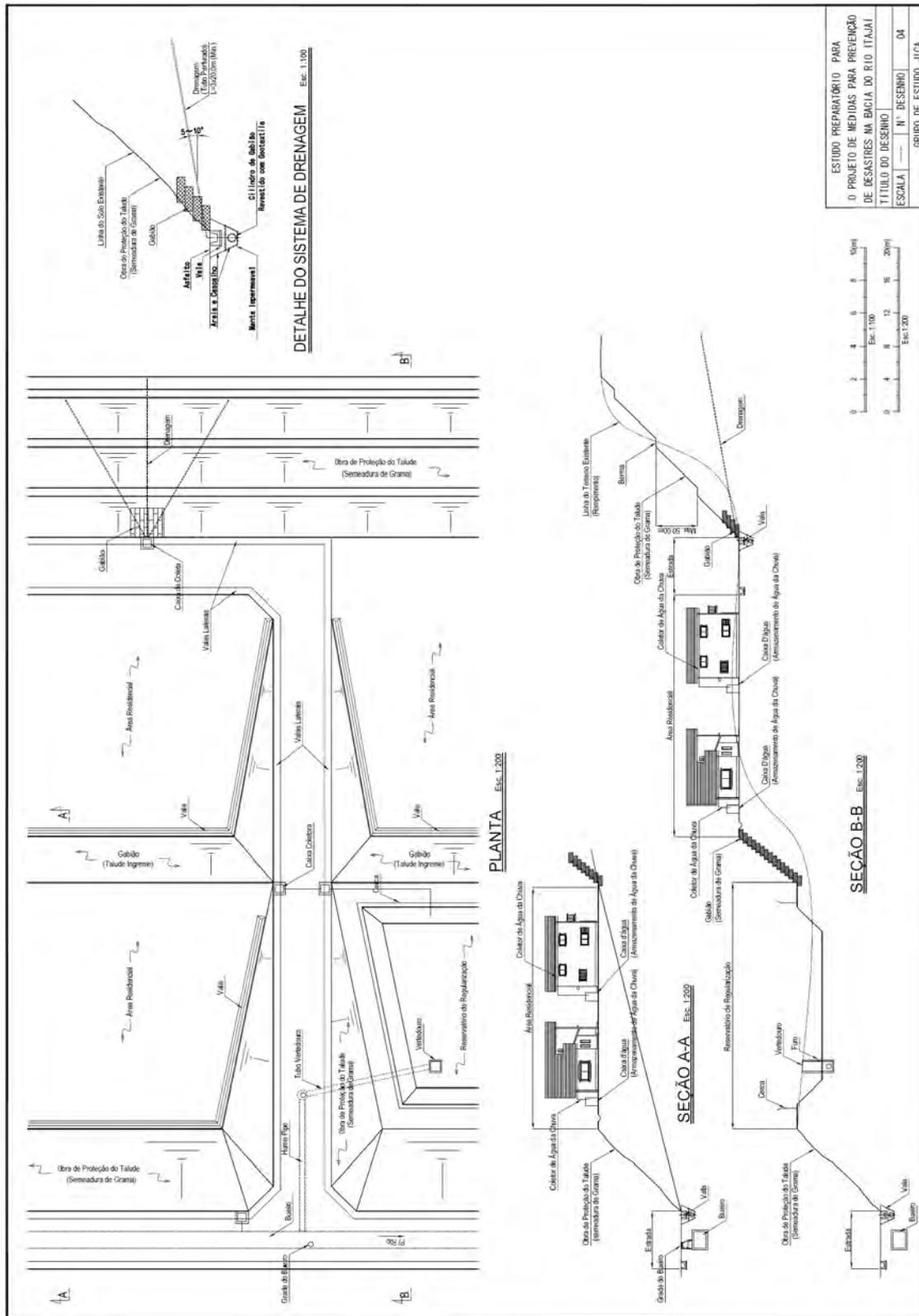


Figura-5.5.1-Exemplo de instalações de regulação do escoamento pelo reservatório

