

APLICAÇÃO DA ANÁLISE BENEFÍCIO-CUSTO NO PLANO DE ÁGUAS PLUVIAIS DE NOVA FRIBURGO – ESTUDO DE CASO

Rodrigo Martins Lucci¹; Liliane Lopes Costa Alves Pinto²; Francisco Martins Fadiga Jr.³; José Rodolfo Scarati Martins⁴; Margareth Nacif Alves de Miranda⁵

RESUMO --- Este trabalho apresenta a aplicação da metodologia da análise benefício-custo no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (RJ). Apresenta também uma análise a cerca dos benefícios gerados por obras dimensionadas para diferentes períodos de retorno. A análise benefício-custo para diferentes períodos de retorno, que é utilizada como ferramenta auxiliar na seleção do nível de proteção das medidas de controle estruturais, apresentou ao final do estudo resultados que são restringidos, para o caso específico de Nova Friburgo, por critérios e orientações de dimensionamento.

ABSTRACT --- This article presents the appliance of the “cost – benefit” methodology in the Nova Friburgo Drainage Master Plan. This still presents an analysis of the benefit of structures dimensioned to different return periods. The analysis of “cost – benefit” to different return periods which is an auxiliary tool to the selection of protection level of structural control measures (BMP's) in the end of the study presented some results that was restricted, in the specific case of Nova Friburgo, by rules and orientations of design.

Palavras-chave: análise benefício-custo, limitações da análise benefício-custo.

¹ Engenheiro Civil da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, Rua Padre Garcia Velho, 73 cj. 44, São Paulo, SP, 05421-030. E-mail: rodrigo@fcth.br

² Aluna de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Rua Ministro João Mendes, 30, Santos, SP, 11040-260. E-mail: rlap@uol.com.br

³ Engenheiro Civil da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, Rua Padre Garcia Velho, 73 cj. 44, São Paulo, SP, 05421-030. E-mail: fadiga@fcth.br

⁴ Professor Doutor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, 380, São Paulo, SP, 05508-900. E-mail: scarati@usp.br

⁵ Secretária de Obras da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, Av. Alberto Braune, 225, Nova Friburgo, RJ, 28613-001. E-mail: mnacif@pmnf.rj.gov.br

1 - INTRODUÇÃO

O município de Nova Friburgo localiza-se na região serrana do estado do Rio de Janeiro a uma distancia de aproximadamente 140 km da capital e possui uma população aproximada de 170.000 habitantes. Nova Friburgo possui topografia acidentada com altas declividades e os principais drenos que cortam o município são: rio Santo Antonio e rio Cônego, que formam o rio Bengala e córrego D'antas seu afluente. A maior parte do desenvolvimento se deu ao longo da várzea de seus principais drenos e o restante da ocupação se deu ao longo de suas encostas. A Figura 1 ilustra a localização de Nova Friburgo em relação ao Estado do Rio de Janeiro.

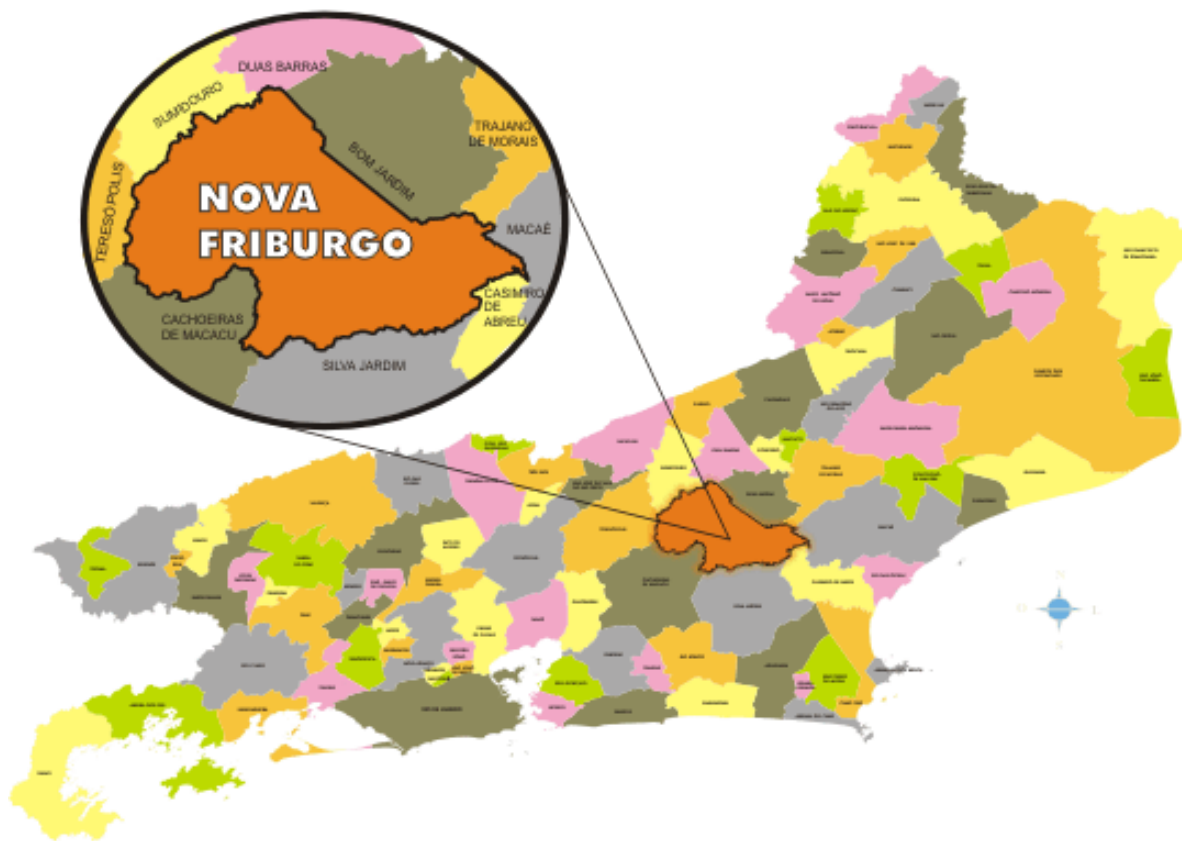


Figura 1: Mapa de Localização⁶

Em função dos problemas históricos por ocasião de chuvas intensas, causadoras de diversas inundações que geram conseqüências sociais, políticas e econômica, a prefeitura municipal de Nova Friburgo contratou um Plano de Águas Pluviais.

⁶ Fonte: Prefeitura Municipal de Nova Friburgo – PMNF. Disponível em <http://www.pmnf.rj.gov.br/>. Acesso em 31 mai. 2007.

Na elaboração do Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo foram estudadas alternativas de medidas estruturais para controle das inundações que contemplaram além de reservatórios, obras de canalização nos principais drenos da cidade.

Foram estudadas para cada dreno mais de uma configuração de canalização, o que indicou a possibilidade de se aplicar a análise benefício-custo para auxiliar na seleção da melhor alternativa.

A aplicação da metodologia da análise benefício-custo permite confrontar os níveis de proteção de diversas alternativas com seus respectivos custos de implantação.

Este trabalho apresenta a aplicação desta metodologia para a análise benefício-custo no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo.

2 – OBJETIVO

A análise benefício-custo é uma ferramenta cujo um dos objetivos é auxiliar a seleção da alternativa que oferece o maior nível de proteção com o menor custo, ou seja, maior relação benefício/custo e/ou maior benefício líquido.

Em contrapartida, no dimensionamento de obras de proteção contra enchentes, deve-se considerar e atender critérios e orientações estabelecidos por órgãos gestores dos recursos hídricos. Esses critérios, que variam dependendo do órgão, definem o nível de proteção para o qual as obras devem ser dimensionadas.

Isso se dá geralmente pela pré-definição dos riscos de projeto, ou seja, períodos de retorno (TR), fixação de critérios de velocidades máximas e borda livre a eles associados.

O objetivo deste trabalho é verificar as limitações que os critérios e orientações de dimensionamento impõem sobre a análise benefício-custo.

3 – METODOLOGIA

A partir da descrição e comparação de dois cenários, um relativo à situação sem a implantação das medidas de controle propostas (2005), e outro com a implantação das medidas (2025), foram avaliados e comparados os custos e benefícios associados ao projeto. O projeto será economicamente viável quando os benefícios superarem os custos, ou seja, quando a relação benefício/custo for maior que um.

A alternativa ótima pode ser escolhida por meio do critério de máximo benefício líquido ($BL=B-C$), que indica o projeto que mais incrementa na renda ou máxima relação benefício/custo (B/C), que representa o projeto no qual é maior a rentabilidade do capital investido.

Os custos e benefícios são quantificados monetariamente pelo do valor de mercado dos bens e serviços relacionados a cada um. Os benefícios e custos que podem ser expressos em valores monetários são chamados de tangíveis, e os que não podem, de intangíveis.

Os custos das medidas de proteção variam, principalmente, com o grau de proteção oferecido pela medida pois, quanto maior a segurança pretendida, maiores e mais complexas as obras necessárias.

Os benefícios podem ser obtidos por meio das metodologias denominadas *danos evitados* e *disposição a pagar*. A determinação dos benefícios para eventos de diferentes magnitudes, possibilita à análise benefício-custo quantificar o nível ótimo de desenvolvimento de um projeto, ou seja, o porte da obra que maximiza os resultados econômicos, além de classificar hierarquicamente as diversas alternativas consideradas. Este porte é representado pelo grau de proteção que uma determinada medida oferece. Isto é, os danos ocorrerão apenas quando o grau de proteção oferecido for superado pelo evento, sendo o grau de proteção conhecido como período de retorno de projeto.

- **Metodologia dos danos evitados**

O valor monetário dos benefícios tangíveis pode ser mensurado utilizando-se uma metodologia usual baseada na determinação dos danos evitados, por meio da medição direta dos prejuízos causados pelas inundações.

Com a implantação das medidas de controle ocorre uma redução das inundações, o que produz uma redução dos danos. O benefício gerado pela implantação das obras de controle é igual a esta redução, ou seja, igual aos danos evitados.

- **Metodologia da disposição a pagar**

Outra metodologia aplicada para determinar monetariamente os benefícios gerados por meio das medidas de controle de inundação é a chamada disposição a pagar. Esta metodologia consiste em verificar o quanto os indivíduos atingidos estariam dispostos a pagar para prevenir os danos que as inundações provocariam. Esta quantia seria igual ao dano esperado na área.

Para análise Benefício-Custo do município de Nova Friburgo utilizou-se a metodologia denominada danos evitados.

4 – APLICAÇÃO DA ANÁLISE BENEFÍCIO-CUSTO NO MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO

A estimativa do benefício de uma medida de controle que evite totalmente as inundações, só é válida para o período de retorno para o qual a medida foi dimensionada.

As medidas de controle de inundação propostas para o município de Nova Friburgo foram dimensionadas para um período de retorno de TR 20 anos, atendendo as orientações da Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas do Estado do Rio de Janeiro (SERLA). Quando

comparadas alternativas com o mesmo nível de proteção, ou seja, o mesmo período de retorno, a análise econômica se reduz a obter a solução de menor custo.

O Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo tem por finalidade dotar a Prefeitura Municipal de Nova Friburgo de subsídios técnicos que reduzam os impactos às inundações, na região abrangida pelos drenos que cortam a área urbana do município, o rio Santo Antonio e rio Cônego, formadores do rio Bengala e o córrego D'antas seu afluente de primeira ordem. A Figura 2 ilustra os drenos da área urbana do município de Nova Friburgo.

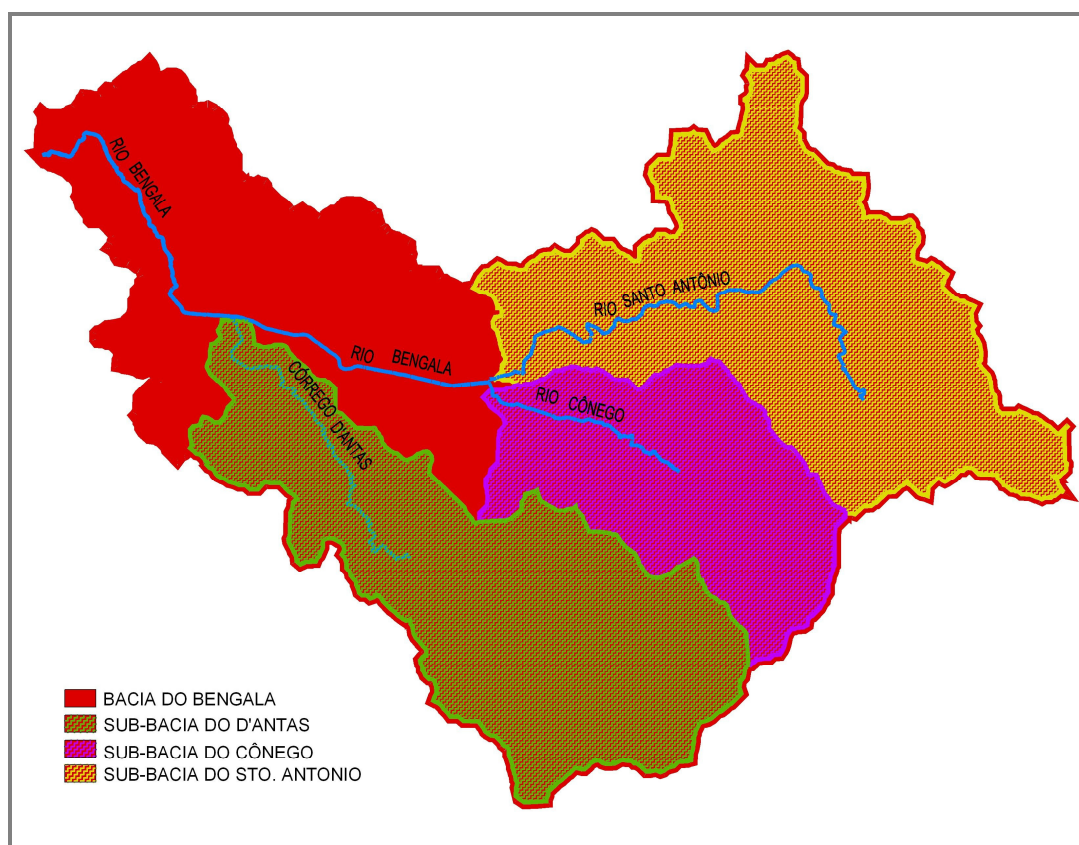


Figura 2: Bacias dos principais drenos de Nova Friburgo⁷

O rio Bengala, que será utilizado como exemplo neste trabalho, está inserido na área mais urbanizada de Nova Friburgo onde ocorre o maior número de inundações. A área de drenagem de sua bacia, que inclui as bacias dos seus formadores, é de aproximadamente 191,36 km² com extensão total de 12,3 km. A Tabela 1 apresenta as alternativas estudadas para o rio Bengala e seus respectivos custos.

Tabela 1: Custos das medidas de controle – Rio Bengala

Medidas Estruturais de Controle	Custo das Canalizações (R\$)	Custo das Canalizações e Reservatórios (R\$)
Bengala		
Alternativa I-A - Canalização - Grama*	16.800.000,00	16.800.000,00

⁷ Fonte: Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, 2006.

Medidas Estruturais de Controle	Custo das Canalizações (R\$)	Custo das Canalizações e Reservatórios (R\$)
Alternativa I-B - Canalização - Grama e Concreto*	63.800.000,00	63.800.000,00
Alternativa I-C - Canalização - Concreto**	64.200.000,00	64.200.000,00
Alternativa II-A - Canalização e Reservatório (32, 33 e 131) - Grama e Concreto	63.100.000,00	125.150.000,00
Alternativa II-B - Canalização e Reservatório (32, 33 e 131) - Seção Mista - Grama e Concreto*	59.000.000,00	121.050.000,00
Alternativa II-C - Canalização e Reservatório (32, 33 e 131) - Seção Mista - Grama e Concreto*	54.000.000,00	116.050.000,00
Alternativa III - Canalização e Reservatório (32, 33, 131 e 55) - Grama e Concreto	60.800.000,00	141.350.000,00
Reservatórios		
CO-55	18.500.000,00	
DA-32	10.450.000,00	
DA-33	22.100.000,00	
DA-131	29.500.000,00	

* Não foram considerados os custos relativos à desapropriação, o que onera sobremaneira a estimativa de custos.

** Nessa alternativa não há desapropriações substanciais.

As alternativas as quais as implantações gerariam custos significativos de desapropriação, o que onera a estimativa de custo, não foram consideradas na análise de menor custo, onde certamente, não seriam selecionadas.

A bacia do rio Bengala será a primeira a receber intervenções, portanto as alternativas analisadas foram as que contemplam apenas obras de canalização. A canalização selecionada foi aquela que não apresentou desapropriações substanciais, sendo esta denominada de alternativa I-C (canalização de concreto).

5 – ANÁLISE COMPARATIVA

Para comparação dos resultados da análise benefício-custo considerando o dimensionamento da medida de controle para diferentes níveis de proteção, ou seja, diferentes períodos de retorno, a alternativa I-C do rio Bengala foi dimensionada para TR 10, TR 20 e TR 50 anos. Nos períodos de retorno diferentes de TR 20 anos, o dimensionamento foi feito alterando das dimensões da base e largura total, adequadas para cada caso. A

Tabela 2 exibe os custos resultantes dos dimensionamentos para os períodos de retorno citados acima.

Tabela 2: Custos e Níveis de Proteção

Sistema	Custo (R\$) e Nível de proteção (anos)		
	TR 10	TR 20	TR 50
Alternativa I-C - Canalização - Concreto	56.400.000,00	64.200.000,00	66.900.000,00

A estimativa dos danos causados por eventos hidrológicos com períodos de retorno maiores do que aqueles para a qual a alternativa I-C foi dimensionada, baseou-se no método dos danos evitados. Para isso, foi construído um gráfico que relaciona o dano com a respectiva profundidade média de inundação, utilizando um método “simplificado”. A média de inundação foi calculada admitindo-se a cota 830m como referência. Este método utiliza a curva “Risco x Prejuízo” elaborada no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo para o sistema existente, ou seja, sem a implantação das medidas de controle, ao invés de construir uma curva para cada nível de proteção da alternativa selecionada. A Tabela 3 e a Figura 3 exibem respectivamente as profundidades médias os danos, e o gráfico Danos x Profundidade Média.

Tabela 3: Profundidade Média e Danos

Período de retorno	Prof. Média (m)	Danos (x106R\$)
TR 10	12,68	65,6000
TR 20	12,95	70,1000
TR 50	13,20	72,9000
TR 100	13,37	75,9000

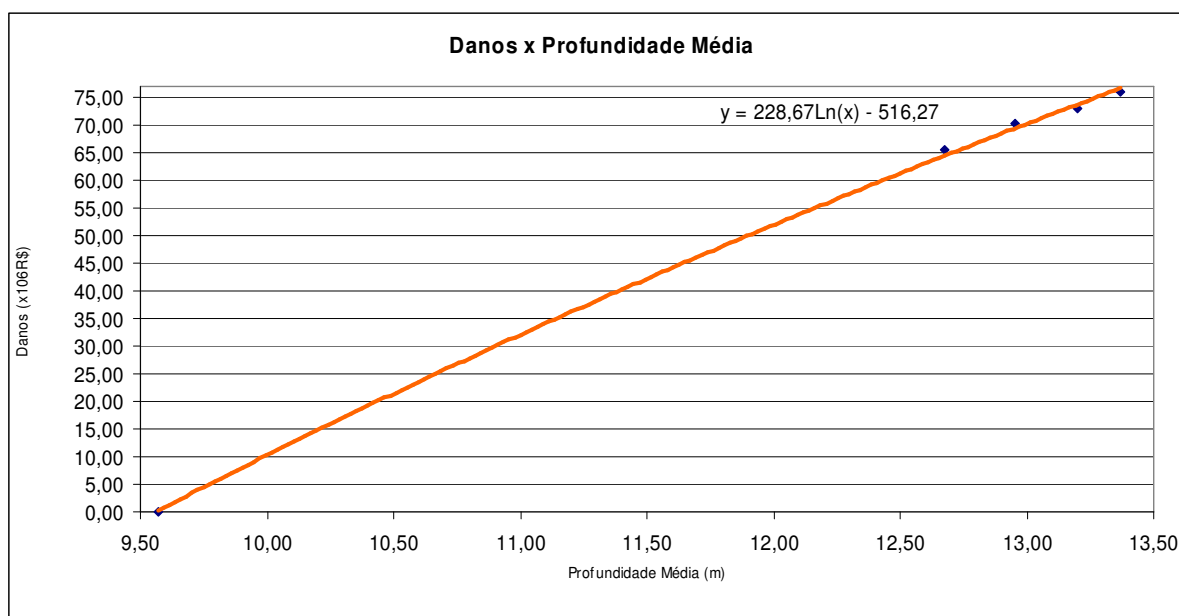


Figura 3: Danos x Profundidade Média

Observa-se que para o valor de dano zero a profundidade é de 9,57m, sendo esta a média das profundidades relacionadas às cotas do topo do canal à do nível de referência (cota 830m).

Tabela 4: Prejuízos para Diferentes Períodos de Retorno

Sistema	Prejuízos Tangíveis Diretos			
	TR=10	TR=20	TR=50	TR=100
Sistema Existente	65.600.000,00	70.100.000,00	72.900.000,00	75.900.000,00
TR10	-	450.500,00	6.600.000,00	10.700.000,00
TR20	-	-	**	3.100.000,00
TR50	-	-	-	**

Nota-se que a combinação do sistema dimensionado para TR = 20 anos com um evento hidrológico de período de retorno TR 50 anos não possui dado de prejuízo, uma vez que a profundidade média é menor que a calculada para o topo do canal, entretanto, há trechos pequenos onde a linha d'água ultrapassa o topo do canal. Esse transbordamento não é significativo, chegando a uma altura máxima de 20 cm. O mesmo ocorre com o sistema dimensionado para TR 50 anos com eventos hidrológicos de TR 100 anos.

Os benefícios anuais gerados pelos sistemas em cada nível de proteção foram calculados por meio da diferença dos danos esperados por ano em relação ao sistema existente, que por sua vez, foi calculado com a somatória da associação da frequência média anual ($1/TR$) com os danos estimados. A Tabela 5: **Prejuízos e Probabilidades** apresenta os prejuízos e probabilidades de ocorrência ao ano.

Tabela 5: Prejuízos e Probabilidades

Sistema	Probabilidade de Ocorrência (1/TR)				R\$/Ano	
	Para TR=10 0,1	Para TR=20 0,05	Para TR=50 0,02	Para TR=100 0,01	Prejuízo Esperado	Benefícios
Sistema Existente	6.560.000,00	3.505.000,00	1.458.000,00	759.000,00	12.282.000,00	0
TR10	-	22.525,00	132.000,00	107.000,00	261.525,00	12.020.475,00
TR20	-	-	**	31.000,00	31.000,00	12.251.000,00
TR50	-	-	-	**	0,00	12.282.000,00

5.1 – Resultados

Os benefícios totais foram calculados levando-se em consideração os 20 anos de horizonte de projeto de benefícios anuais. Os resultados da análise benefício-custo podem ser vistos na Tabela 6,

onde foram aplicados os critérios de máximo benefício líquido ($BL=B-C$) e máxima relação benefício/custo (B/C).

Tabela 6: Benefício Líquido e Relação Benefício/Custo

Sistema	Custos ($\times 10^6 R\$$)	Benefícios Totais ($\times 10^6 R\$$)	Benefício Líquido (B-C)	Relação Benefício/Custo (B/C)
TR10	56,40	240,41	184,01	4,26
TR20	64,20	245,02	180,82	2,82
TR50	66,90	245,64	178,74	2,67

Observa-se que quanto maior o nível de proteção do sistema dimensionado, maior o custo e também benefício. Porém o crescimento do custo não acompanha o crescimento do benefício. A relação benefício/custo exibe de forma clara essa diferença de crescimento. Nesse caso, para o período de retorno menor obteve-se a melhor relação benefício/custo. Com os resultados da análise pode-se selecionar o nível de proteção ótimo do sistema.

5.2 – Comparação dos resultados

No Estado do Rio de Janeiro o órgão técnico executor da Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos é a Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA). A SERLA propõe que obras de controle contra enchentes, como canalizações, devem ser dimensionadas para período de retorno de 20 anos.

Como resultado da análise benefício-custo, o sistema dimensionado para o período de retorno de TR 10 anos tem a maior relação benefício/custo (B/C) com 4,26, e maior benefício líquido ($B-C$) com 184,01. Em termos econômicos essa é a alternativa ótima em relação ao nível de proteção.

Atendendo as orientações da SERLA, ou seja, excluindo da análise o sistema dimensionado para TR 10 anos, o sistema que possui a maior relação benefício/custo e maior benefício líquido, é o dimensionado para período de retorno TR 20 anos.

O risco ou frequência média de inundação por ano, com o sistema dimensionado para TR 20, anos diminui de 10% para 5%, ou seja, corresponde a um nível de segurança duas vezes maior e a uma diferença do máximo benefício líquido de apenas 1,7% ($180,82/184,01$) em relação ao sistema para TR 10 anos.

6 – CONCLUSÃO

Para o caso específico do município de Nova Friburgo, a escolha do período de retorno das obras de controle de inundação limita-se em atender critérios e orientações de dimensionamento,

que impõem valores mínimos de período de retorno, o que restringe os resultados da análise benefício-custo, ou seja, se houver a imposição por meio de qualquer órgão, seja ele uma autarquia municipal, estadual ou federal, de período de retorno a ser utilizado, a análise benefício-custo resultará em valores restritos a este. Entretanto, cabe ressaltar, que a análise benefício-custo é uma importante ferramenta que deve ser utilizada pelos planejadores inclusive como forma de justificativa de alternativas adotadas.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Ministério das Cidades pelo financiamento do Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo e a Prefeitura Municipal de Nova Friburgo pelas contribuições técnicas.

BIBLIOGRAFIA

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo**. São Paulo, 2006.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Critérios e Diretrizes sobre Drenagem Urbana no Estado de São Paulo 1ª Etapa**. São Paulo, 2003.

FRENCH, Richard H. **Open Channel Hydraulics, International Student Edition**. New York, McGraw-Hill, 1986.

CHOW, Ven Te. **Open Channel Hydraulics, International Student Edition**. New York, McGraw-Hill, 1973.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

TUCCI, Carlos. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.2, n.2, 1997.