

ELABORAÇÃO DA CURVA RISCO X PREJUÍZO PARA O PLANO DE ÁGUAS PLUVIAIS DE NOVA FRIBURGO – ESTUDO DE CASO

Liliane Lopes Costa Alves Pinto¹; Rodrigo Martins Lucci²; Francisco Martins Fadiga Jr.³; José Rodolfo Scarati Martins⁴ & Margareth Nacif Alves de Miranda⁵

RESUMO --- Este trabalho apresenta a metodologia empregada no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (RJ), para a definição das profundidades de inundação e construção da “curva risco x prejuízo”, baseada nas simulações hidrológicas, hidrodinâmicas e danos por metro quadrado. A “curva risco x prejuízo” é utilizada como premissa para a análise custo-benefício.

ABSTRACT --- This article presents the methodology applied to the Urban Drainage Master Plan of Nova Friburgo (RJ) for the definition of the depth flood and to the construction of the “risk x damage curve”, based on hydrological and hydrodynamic modeling and on the square meters damage. The “risk x damage curve” is utilized, at first, to the analysis of cost-benefit.

Palavras-chave: danos de inundação, profundidades de inundação.

¹ 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

² 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

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 pertence à região serrana do estado do Rio de Janeiro e apresenta população de aproximadamente 170.000 habitantes. O desenvolvimento se deu ao longo da várzea de seus drenos principais, rio Santo Antonio e Cônego, formadores do rio Bengala, e córrego D'antas, seu afluente. 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.

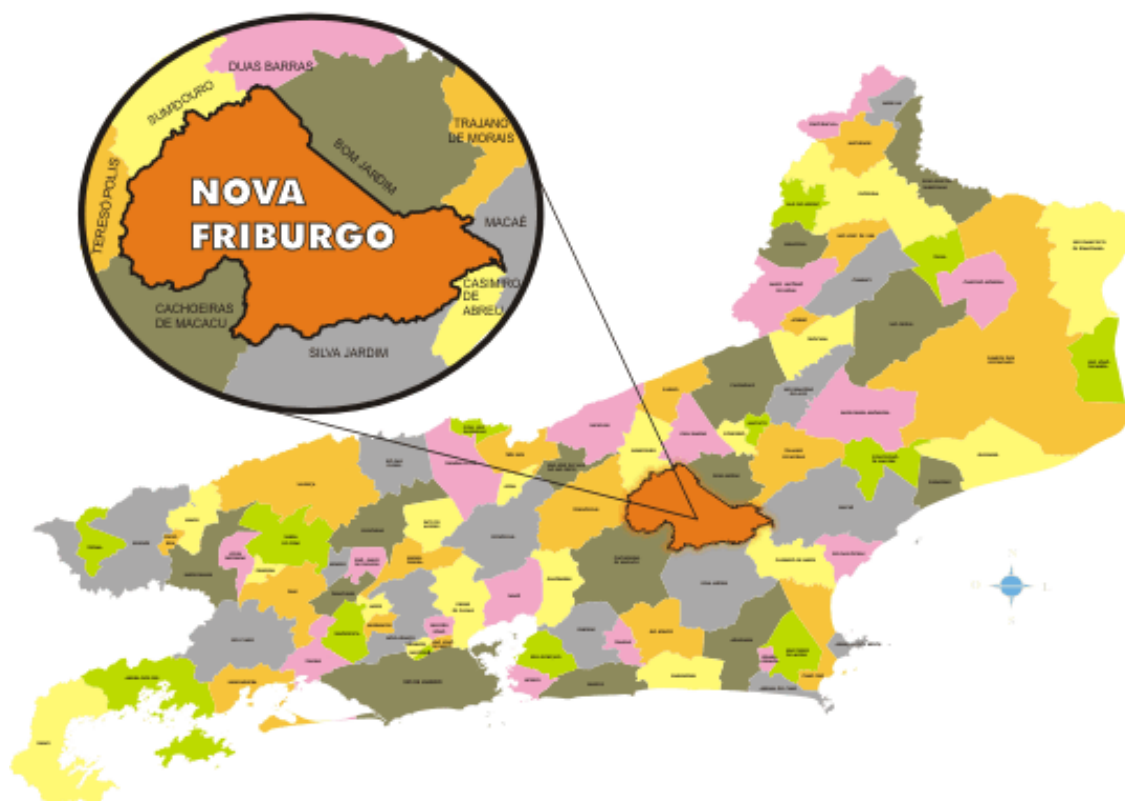


Figura 1: Mapa de Localização⁶

Durante a elaboração do Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, no estado do Rio de Janeiro houve a necessidade de estimativa e avaliação dos prejuízos causados por inundações decorrentes de eventos de chuvas com diversos períodos de retorno como 10, 20, 50 e 100 anos.

A partir das profundidades de inundação resultantes dos estudos hidrodinâmicos efetuados para as bacias dos rios Santo Antonio, Cônego e Bengala e para o córrego D'antas, foram estimados os prejuízos causados para cada evento de chuva e respectivo período de retorno, ou seja, foi estimado o risco associado aos prejuízos pontuais.

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

A curva "Risco x Prejuízo" possibilita a transformação quantitativa das consequências físicas causadas pelas inundações em consequências econômicas, ou seja, ela fornece a dimensão econômica dos danos e prejuízos.

Entendesse por risco a probabilidade de ocorrência de um evento hidrológico ser igualado ou excedido em um determinado período de n anos, sendo inversamente proporcional ao período de retorno.

Os prejuízos causados pelas inundações podem ser classificados como tangíveis, quando podem receber um valor monetário, e intangíveis quando não podem. Essas duas classificações podem ser divididas em duas categorias, prejuízos diretos e indiretos. Assim, são subdivididos quatro grupos de prejuízos: tangíveis, intangíveis, diretos e indiretos.

Seguindo essa classificação, na elaboração da curva "Risco x Prejuízo" do Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo, foram considerados os danos ou prejuízos tangíveis diretos, que resultam do contato direto da inundação com a propriedade atingida.

2 – METODOLOGIA

Para a elaboração da curva são necessárias informações sobre estudos hidrológicos, estudos hidráulicos e informações de prejuízo em função da profundidade e área prejudicada resultantes da simulação hidrodinâmica. As informações de prejuízos são obtidas a partir de pesquisas aplicadas à população estudada. No caso específico de Nova Friburgo, não havia tempo hábil para elaboração das pesquisas de campo, assim como, a municipalidade também não dispunha do referido dado. Optou-se então, pela adoção dos dados referentes ao município de Itajubá (MG), apresentados por Lima (2003), uma vez que as classes sociais eram similares às predominantes nos setores censitários (censo 2000, IBGE) identificadas em Nova Friburgo.

Os estudos hidrológicos foram realizados com a aplicação do modelo hidrológico CABC, e os hidráulicos e hidrodinâmicos com a aplicação do software de simulação de escoamentos em condutos livres – CLiv, ambos desenvolvidos pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH).

Dos estudos hidrológicos resultaram as vazões máximas associadas aos respectivos períodos de retorno, e como resultados da simulação hidrodinâmica obtiveram-se as cotas de inundação ao longo dos trechos estudados.

A construção da curva "Risco x Prejuízo" contemplou as etapas a seguir:

- **Obtenção das áreas inundáveis e profundidades de inundação**

Para a região em estudo e para cada um dos períodos de retorno TR 10, 20, 50 e 100 anos, foram elaboradas as simulações hidrodinâmicas dos rios e córregos em questão por meio do software CLIV, obtendo-se os mapas de inundação, com as respectivas manchas e as profundidades.

Para a identificação e visualização das profundidades de inundação em cada um dos setores censitários constantes nas bacias estudadas, com as classes sociais predominantes identificadas, houve a necessidade de elaboração de um desenho que possibilitasse a mensuração das áreas referentes a cada uma das faixas de profundidades.

Para essa finalidade foi criada uma rotina com o auxílio do aplicativo Excel, a qual selecionava as faixas de profundidades a partir das coordenadas do ponto, que corresponde a uma quadrícula de 10 x 10m, e as exportava para um desenho em ambiente Auto Cad (Autodesk).

Foram criados layers para cada uma das faixas definidas, essas foram selecionadas a partir de outro software, o ArcGis, o qual simultaneamente também leu as informações de outro desenho que continha os setores censitários de cada bacia. Com a sobreposição dessas informações pode-se então, calcular a área resultante de cada faixa de profundidade em cada um dos setores. A Figura 2 ilustra as profundidades de inundação obtidas.

PROFUNDIDADES: (em metros)



Figura 2: Profundidades de Inundação

- **Quantificação dos danos**

Os danos foram quantificados para as diferentes faixas de profundidades de submersão, para cada classe social ou tipo de unidade.

Por meio de um cadastramento da ocupação das áreas inundáveis e estimativa de prejuízos para os diferentes tipos de unidades desta ocupação e, em função da classe social do setor censitário foi definida a relação entre os níveis de submersão e os prejuízos.

As Tabela 1 a Tabela 8 apresentam os dados da relação danos por metro quadrado para cada *classe* ou *tipo de unidade de uso do solo* considerada. Esses danos tomaram como base as estimativas elaboradas no estudo desenvolvido por Lima (2003) para o ano de 2000 para o município de Itajubá. Esses valores foram atualizados para o ano de 2005 com a aplicação do IGP-M.

Tabela 1: Danos por metro quadrado - Classe A - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 0,5	12.000,00	1.015,33	11,82
0,5 a 1,0	118.550,00	4.563,87	25,98
1,0 a 1,5	193.050,00	8.117,82	23,78
1,5 a 2,0	281.550,00	9.386,82	29,99
2,0 a 2,5	476.050,00	10.966,50	43,41
2,5 a 3,0	497.050,00	11.514,50	43,17

Tabela 2: Danos por metro quadrado - Classe B - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 0,5	39.000,00	2.017,01	19,34
0,5 a 1,0	207.800,00	6.047,25	34,36
1,0 a 1,5	391.300,00	9.708,09	40,31
1,5 a 2,0	538.300,00	11.924,04	45,14
2,0 a 2,5	778.800,00	14.293,07	54,49
2,5 a 3,0	814.300,00	14.812,07	54,98
3,0 a 3,5	820.300,00	14.884,07	55,11

Tabela 3: Danos por metro quadrado - Classe C - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 0,5	19.060,00	1.010,95	18,85
0,5 a 1,0	152.760,00	5.464,92	27,95
1,0 a 1,5	377.660,00	10.098,30	37,40
1,5 a 2,0	590.660,00	13.336,74	44,29
2,0 a 2,5	739.460,00	15.450,51	47,86
2,5 a 3,0	811.760,00	16.485,76	49,24
3,0 a 3,5	846.260,00	16.804,26	50,36

Tabela 4: Danos por metro quadrado - Classe D - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 0,5	2.000,00	496,07	4,03
0,5 a 1,0	25.000,00	1.210,25	20,66
1,0 a 1,5	143.400,00	3.177,50	45,13
1,5 a 2,0	221.400,00	4.516,43	49,02
2,0 a 2,5	345.900,00	5.551,23	62,31
2,5 a 3,0	387.971,00	5.879,20	65,99
3,0 a 3,5	415.971,00	6.104,30	68,14

Tabela 5: Danos por metro quadrado - Classe E - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 1,0	3.500,00	195,00	17,95
1,0 a 1,5	14.000,00	271,26	51,61
1,5 a 2,0	15.000,00	319,26	46,98
2,0 a 2,5	16.000,00	341,26	46,89

Tabela 6: Danos por metro quadrado - Comércio - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 0,5	314.150,00	2.681,50	117,15
0,5 a 1,0	1.491.760,00	8.307,24	179,57
1,0 a 1,5	3.209.230,00	16.297,04	196,92
1,5 a 2,0	5.001.180,00	23.627,13	211,67
2,0 a 2,5	5.740.830,00	26.495,13	216,67
2,5 a 3,0	5.828.080,00	26.681,13	218,43

Tabela 7: Danos por metro quadrado - Serviços - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 0,5	3000,00	580,00	5,17
0,5 a 1,0	24450,00	2313,75	10,57
1,0 a 1,5	234540,00	6806,25	34,46
1,5 a 2,0	628040,00	12989,25	48,35
2,0 a 2,5	795540,00	14848,75	53,58
2,5 a 3,0	859290,00	15048,75	57,10

Tabela 8: Danos por metro quadrado - Indústrias - fonte: Lima(2003)

Profundidade (m)	Curvas		
	Danos (R\$)	Área Total (m ²)	Danos/Área (R\$/m ²)
0 a 0,5	350.000,00	5.600,00	62,50
0,5 a 1,0	410.000,00	5.800,00	70,69
1,0 a 1,5	535.500,00	8.516,00	62,88
1,5 a 2,0	1.484.200,00	123.600,00	12,01
2,0 a 3,0	1.506.200,00	127.100,00	11,85

- **Identificação das áreas inundadas**

A partir da Classificação do Critério Brasil, que dispõe sobre a faixa de renda de cada classe social, do mapeamento dos setores censitários do censo IBGE de 2000, e do levantamento da renda mensal do responsável pelo domicílio particular permanente (dpp) de cada um desses setores, também resultantes do Censo de 2000, pode-se ainda, com os limites das manchas de inundação obtidas por meio das simulações hidrodinâmicas, identificar e calcular a área de predominância de cada classe social presente na área urbana de Nova Friburgo. A Tabela 9 exhibe a classificação considerada no Critério Brasil.

Tabela 9: Classificação – Critério Brasil⁷

Classe Social	Renda máxima
A	R\$ 3.417,00*
B	R\$ 3.416,00
C	R\$ 1.235,00
D	R\$ 575,00
E	R\$ 304,00

*Renda mínima

⁷ Fonte: <http://www.cmbr.com.br>

Além das áreas habitacionais foram também identificadas as áreas industriais, de serviços e de uso misto (residencial e comercial) na medida em que o município de Nova Friburgo não dispunha desses dados em separado.

- **Determinação dos danos totais**

Os prejuízos foram calculados para cada período de retorno, em função das profundidades de submersão obtidas das simulações hidrodinâmicas, a partir do cálculo das áreas resultantes da mancha de inundação, para cada unidade de uso do solo e classe social presente nos setores censitários considerados no censo IBGE de 2000.

3 – RESULTADOS

De acordo com o disposto no item anterior chegou-se aos resultados apresentados na Tabela 10 e gráficos a seguir.

Tabela 10: Faixas de profundidades e Danos por Período de Retorno

Faixas de Profundidades (m)		Danos (x10 ⁶ R\$) - TR=10 anos	Danos (x10 ⁶ R\$) - TR=20 anos	Danos (x10 ⁶ R\$) - TR=50 anos	Danos (x10 ⁶ R\$) - TR=100 anos
0	0,5	3,208705	2,967858	2,871487	2,602364
0,5	1	8,235281	7,846485	7,315743	6,988082
1	1,5	14,87398	13,88936	13,27881	12,63602
1,5	2	25,33203	22,5046	20,79815	19,66235
2	2,5	31,73368	32,21032	30,73937	28,98098
2,5	3	37,08119	38,22061	38,93795	38,67174
3	3,5	42,94061	44,28815	44,7684	45,02803
3,5	4	47,04426	49,24543	51,14363	51,64837
4	4,5	51,1495	53,03251	54,92463	56,22019
4,5	5	55,89665	57,69569	58,82655	59,98811
5	5,5	60,10504	61,83615	63,1576	64,47639
5,5	6	64,07015	65,3143	66,59105	68,34641
6	6,5	65,46058	69,17762	70,07056	71,43215
6,5	7	65,55827	70,09531	72,59317	75,0299
7	7,5	65,56841	70,1272	72,88614	75,93117
Dano Total		65,56841	65,56841	65,56841	65,56841

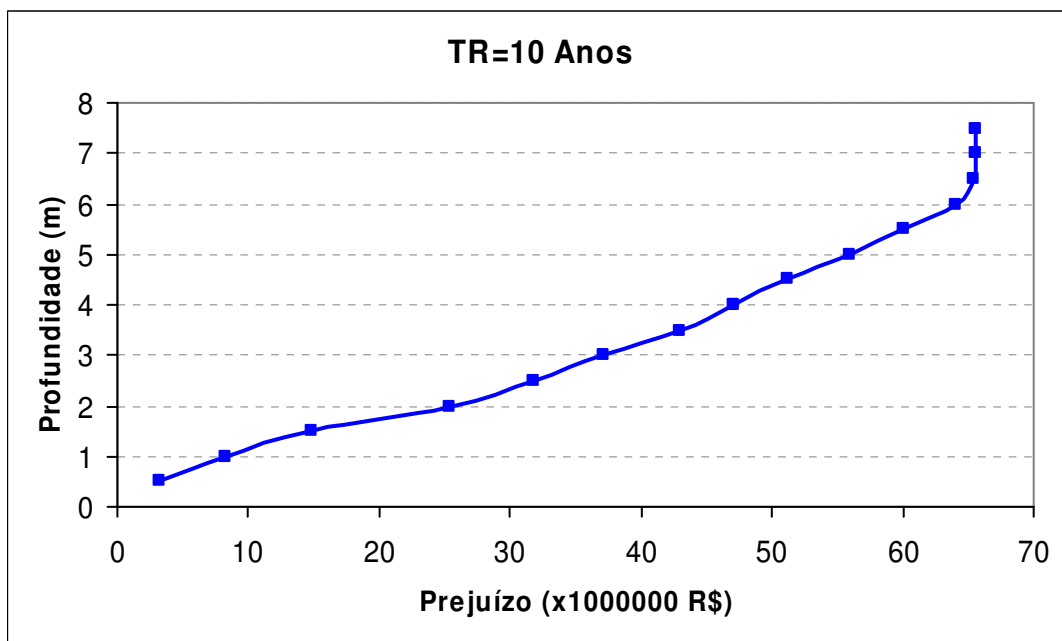


Figura 3: Prejuízos em função da profundidade para TR 10 anos

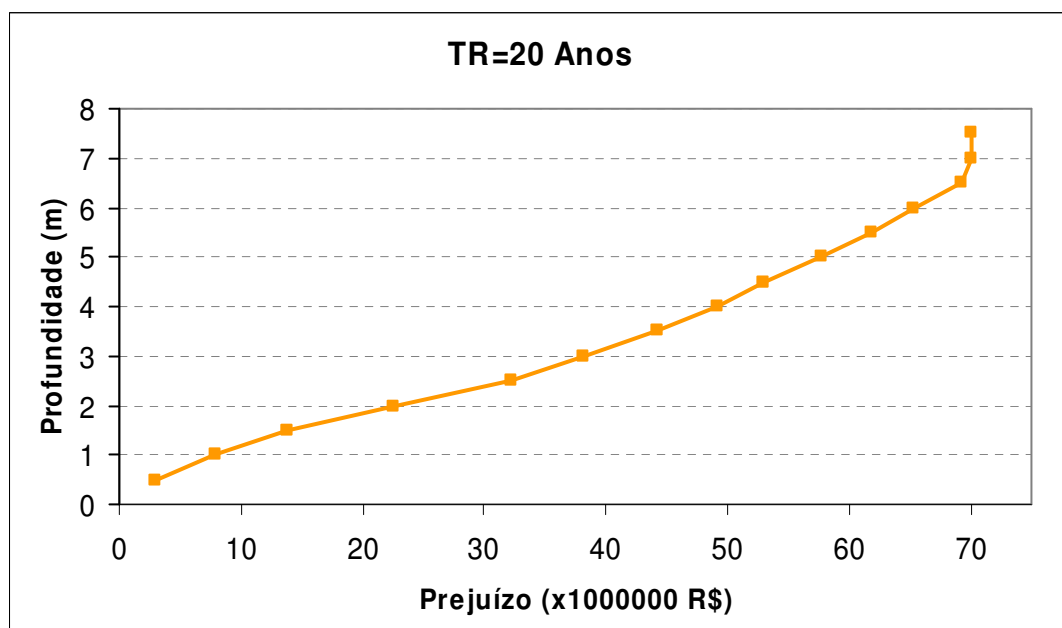


Figura 4: Prejuízos em função da profundidade para TR 20 anos

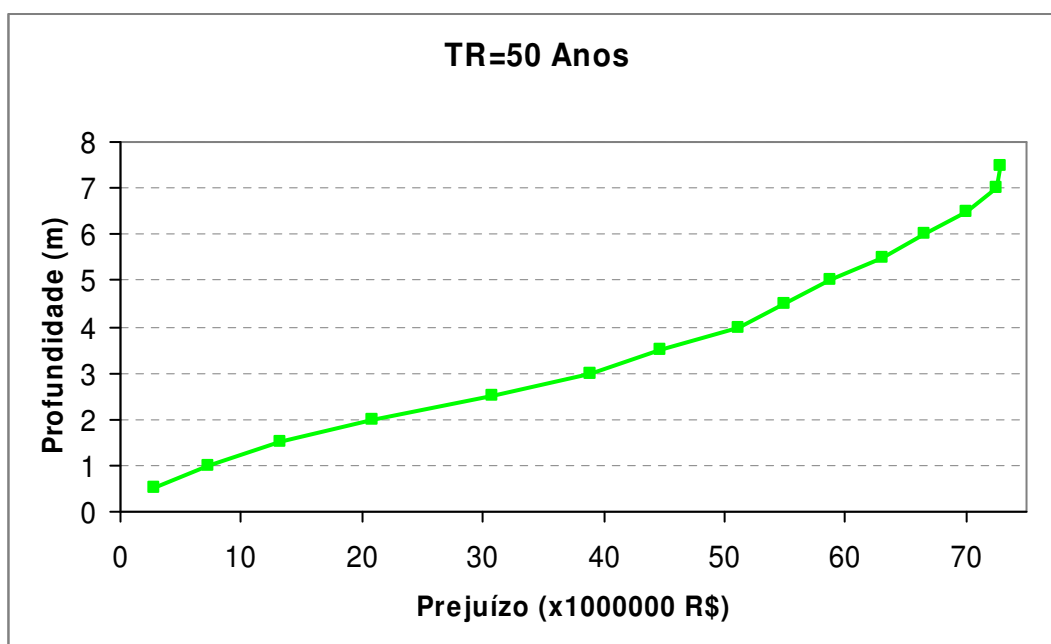


Figura 5: Prejuízos em função da profundidade para TR 50 anos

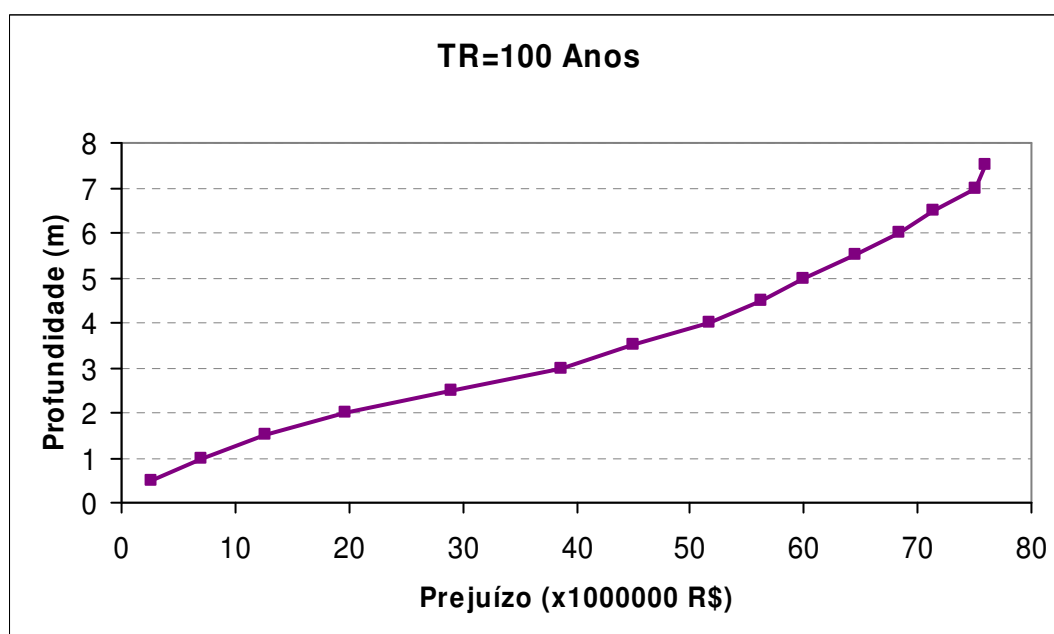


Figura 6: Prejuízos em função da profundidade para TR 100 anos

Finalmente, a curva “Risco x Prejuízo” pôde então, ser construída com a compilação dos dados referentes aos prejuízos ocasionados para cada um dos períodos de retorno analisados, como pode ser visto na Tabela 11 e Figura 7.

Tabela 11: Danos Totais por Período de Retorno

TR (anos)	10	20	50	100
Danos Totais (x106R\$)	65,56841154	70,1272	72,88614	75,93117

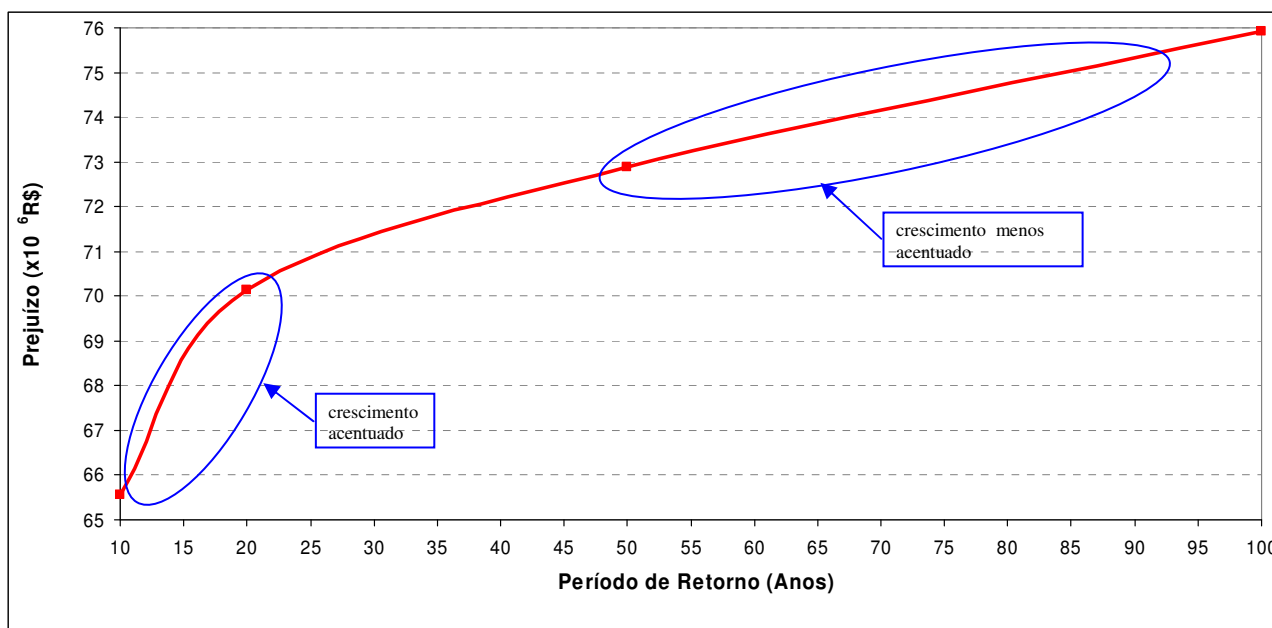


Figura 7: Prejuízos em função das profundidades para Tr 10, 20, 50 e 100 anos

4 – CONCLUSÃO

A curva “Risco x Prejuízo” é uma ferramenta que estima os danos diretos causados por inundações, e é fundamental na utilização da análise benefício x custo para o planejamento de medidas de controle de inundação.

Em Nova Friburgo o prejuízo causado por uma inundação de período de retorno de TR 10 anos, cujo risco ou probabilidade de ocorrência é de 10% ao ano, é estimado em aproximadamente 65,5 milhões de reais (ano base 2005).

Analisando-se a Figura 3 e a Figura 5 pode-se afirmar que a medida que a profundidade de inundação aumenta, no caso específico de Nova Friburgo, a partir da profundidade de 6,5m, o prejuízo tende a se estabilizar, como pode-se observar para os períodos de retorno TR 10, 20 e 50 anos.

Portanto, na curva “Risco x Prejuízo” elaborada para o município de Nova Friburgo, pôde-se verificar uma tendência menor de crescimento do prejuízo a partir de período de retorno 20 anos, onde há uma alteração significativa na referida curva. Por outro lado, o trecho compreendido entre TR = 10 anos e TR = 20 anos apresenta um crescimento mais acentuado do prejuízo. Partindo do princípio de que períodos de retorno menores apresentam probabilidade de ocorrência (risco) maiores, pode-se concluir que para o município de Nova Friburgo, eventos com probabilidade de ocorrência maior, TR menores podem gerar prejuízos de aproximadamente R\$ 70.000.000,00

(setenta milhões de reais), o que certamente auxilia a decisão dos órgãos municipais de planejamento.

O que se quer comprovar com esse estudo é a finalidade e a importância da construção da curva de Danos (curva “Risco x Prejuízo”) como instrumento fundamental de planejamento, para um determinado município, mesmo que este não disponha de dados referentes a danos x área inundada, mesmo que seja elaborada a correlação com dados de municípios cujas classes predominantes apresentem padrões similares às do estudo.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2000**. Rio de Janeiro, 2000.

LIMA, J.C. **Avaliação dos riscos e danos de inundação e do impacto da adoção de medidas não-estruturais em Itajubá-MG**. 2003. 180f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2003.