

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA
E ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE
INTERVENÇÕES EM CURSOS DE ÁGUA
URBANOS**

Janaína de Andrade Evangelista
Setembro/2011

**SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA
E ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE
INTERVENÇÕES EM CURSOS DE ÁGUA
URBANOS**

Janaína de Andrade Evangelista

Janaína de Andrade Evangelista

SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÕES EM CURSOS DE ÁGUA URBANOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de mestre em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Hidrologia Urbana e Drenagem

Orientador: Prof. Márcio Benedito Baptista

Co-Orientadora: Profa. Priscilla Macedo Moura

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

Setembro/2011

E92s

Evangelista, Janaína de Andrade.

Sistemática para avaliação técnica e econômica de alternativas de intervenções em cursos de água urbanos [manuscrito] / Janaína de Andrade Evangelista.-2011.

xix, 203 f., enc. : il.

Orientador: Márcio Benedito Baptista.

Co-orientadora: Priscilla Macedo Moura.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais.
Escola de Engenharia.

Apêndices: f.149-203.

Bibliografia: f. 141-148.

1. Engenharia sanitária – Teses. 2. Recursos hídricos – Desenvolvimento – Teses. 3. Drenagem urbana – Teses. I. Baptista, Márcio Benedito. II. Moura, Priscilla Macedo. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL
Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br
<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

FOLHA DE APROVAÇÃO

Sistemática para Avaliação Técnica e Econômica de Alternativas de
Intervenções em Cursos de Água Urbanos

JANAÍNA DE ANDRADE EVANGELISTA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. MÁRCIO BENEDITO BAPTISTA

Profa. PRISCILLA MACEDO MOURA

Prof. VÁLTER LÚCIO DE PÁDUA

Profª JUSSANÃ MILOGRANA

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Profª. Mônica Maria Diniz Leão
Coordenadora

Versão Final aprovada por

Prof. Márcio Benedito Baptista
Orientador

Belo Horizonte, 19 de setembro de 2011.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e à minha irmã
Cláudia, pelo incentivo e confiança.

Ao meu amado Iuri,
pelo apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me ofereceu as habilidades e as condições necessárias à elaboração deste trabalho.

Aos meus queridos pais, que sempre acreditaram na minha capacidade e no valor da educação e do conhecimento, e à minha irmã Cláudia, companheira de sempre.

Ao meu amado Iuri, que me deu apoio incondicional, compreendendo a importância deste trabalho e a necessidade de dividir as nossas horas de convívio com os estudos.

Ao professor Márcio Baptista, que acreditou neste trabalho desde o começo, tendo sempre uma palavra de incentivo e um apoio técnico decisivo no desenvolvimento desta pesquisa, e sendo uma referência de profissional, professor, pesquisador e ser humano.

À professora Priscilla, pela experiência transmitida, e pelo apoio e incentivo em momentos de dificuldade no desenvolvimento desta pesquisa.

À Adriana Cardoso, pela colaboração neste trabalho e companheirismo durante o curso.

Aos meus professores e colegas deste Programa, que me auxiliaram a subir mais um degrau na escala do conhecimento e da minha formação profissional.

Aos técnicos que colaboraram na pesquisa de avaliação dos indicadores, contribuindo de forma decisiva no aprimoramento deste trabalho: colegas da pós-graduação, Pedro de Paula Drumond, Adriana Cardoso e Nelson Amanthea; professora Maria Rita - do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG -; técnicos da PBH, Sônia Knauer, Ana Paula Barbosa Vitor de Oliveira, Bernardo Monteiro, Viviane Mendes, Marcelo Vichiato, Lucia Lloyd.

À Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, pela disponibilização de dados do Programa DRENURBS, em especial aos senhores Ricardo Aroeira e Marcos Ferreira de Souza.

Aos meus coordenadores do TCE-MG, Sandro Miguez, Luiz Henrique Starling e Denise Delgado, que sempre me deram apoio e permitiram tantas vezes a flexibilização de prazos e horários de trabalho para que eu pudesse cumprir os compromissos acadêmicos.

RESUMO

O processo de urbanização e ocupação desordenada das bacias hidrográficas tem propiciado grandes impactos ambientais, podendo-se destacar a remoção da vegetação - com desenvolvimento de processos erosivos e de assoreamento dos rios-, e impactos sobre o ciclo hidrológico - com aumento das vazões de pico, da frequência e magnitude das inundações. As intervenções tradicionalmente implantadas para solucionar estes problemas, em grande parte dos casos, têm agravado esses impactos, já que geralmente envolvem a retificação do curso de água, o revestimento e alteração da forma da seção transversal - aumentando a velocidade do escoamento e os picos de vazão a jusante-, e a eliminação das condições necessárias para a manutenção de fauna e flora, entre outros impactos.

As soluções que proporcionam maior integração ambiental do curso de água, com utilização de elementos naturais, apresentam-se como uma opção frente às técnicas tradicionais. Entretanto, a escolha da técnica mais adequada é complexa, devido ao grande número de aspectos envolvidos, compreendendo critérios ambientais, hidráulicos, hidrológicos, sanitários, econômico-financeiros, sociais, legais e políticos. Neste contexto verifica-se uma grande aplicabilidade de métodos multicriteriais, incluindo a utilização de indicadores.

O presente trabalho busca atender a esta necessidade, oferecendo uma sistemática de avaliação de alternativas de projeto baseada em uma avaliação do tipo desempenho X custo, e compreendendo técnicas tradicionais e técnicas mais integradas ambientalmente. Foram estabelecidos indicadores de desempenho abrangendo as dimensões ambiental, sanitária, hidrológica e hidráulica, e indicadores de custo de implantação, de operação e manutenção. Os pesos dos indicadores foram estabelecidos por meio de consulta a especialistas, e sua agregação foi feita pelo método TOPSIS.

A metodologia foi avaliada por meio de sua aplicação em um estudo de caso no Córrego Bonsucesso, o qual integra a bacia do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte/MG. Os resultados obtidos confirmaram a sua aplicabilidade, robustez e simplicidade, permitindo a classificação das alternativas de forma a auxiliar o analista na escolha da opção mais adequada ao curso de água em avaliação.

ABSTRACT

The urbanization process and sprawl watershed has caused environmental impacts, such as the removal of vegetation - with river erosion and silting-, and impacts on the hydrological cycle, increasing the peak flows, the frequency and magnitude of floods. Interventions traditionally employed to solve these problems, in most cases, have got worse the impacts, since they usually involve stream rectification, changes in the shape of the cross section and its covering - increasing the flow velocity and peak flow downstream, but also destroying fauna and flora conditions-, among other impacts.

Solutions that provide greater environmental integration in the watercourse, using natural elements, appear as an option in face of traditional techniques. However, choosing the most appropriate technique is complex, because of the large number of criteria involved, such as environmental, hydraulic, hydrologic, sanitary, economic, financial, social, legal and political. In this context, there is a great applicability of multicriteria methods, including the use of indicators.

This study attempts to address this need, providing a systematic evaluation of design alternatives, based on a cost-performance assessment, including traditional techniques and environmentally integrated technique. Performance indicators have been established considering environmental, sanitary, hydraulic and hydrologic dimensions, and indicators of cost of maintenance and operation. The indicators weights were defined through experts consultation and the aggregation method used was TOPSIS.

The methodology was evaluated through its application in a case study in Bonsucesso Stream, which is part of the Ribeirão Arrudas basin, in Belo Horizonte/MG. The results confirmed the methodology applicability, robustness and simplicity, allowing classification of the alternatives, in order to assist the analyst in the choice of the most suitable option to the stream evaluated.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS.....	5
2.1	Objetivo geral.....	5
2.2	Objetivos específicos.....	5
2.3	Etapas Metodológicas.....	5
2.4	Considerações gerais.....	6
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	7
3.1	Processo de Urbanização e a restauração de rios.....	7
3.2	Técnicas convencionais de intervenção em cursos de água.....	10
3.3	Técnicas de manutenção ou recuperação das condições naturais de cursos de água.....	12
3.3.1	Estabilização de Margens.....	13
3.3.2	Estruturas de deflexão do escoamento.....	27
3.3.3	Estruturas de controle de sedimentos.....	30
3.3.4	Técnicas para enriquecimento de “habitats”.....	31
3.4	Técnicas para melhoria da qualidade das águas fluviais e pluviais.....	33
3.5	Indicadores.....	37
3.6	Métodos Multicriteriais.....	39
3.6.1	Método TOPSIS.....	42
3.6.2	Método ELECTRE.....	44
3.7	Metodologias desenvolvidas para escolha de alternativas de projetos de drenagem.....	45
3.8	Considerações gerais.....	49
4	METODOLOGIA E INDICADORES PROPOSTOS.....	50
4.1	Considerações iniciais.....	50
4.2	Indicadores de Desempenho.....	54
4.2.1	Indicadores Hidráulicos e Hidrológicos.....	55
4.2.2	Indicadores Sanitários.....	61
4.2.3	Indicadores Ambientais.....	69
4.2.4	Avaliação dos indicadores por especialistas.....	83
4.3	Indicadores de custos.....	86
4.3.1	Custos de desapropriação.....	87
4.3.2	Custos de implantação, manutenção e operação.....	88
4.4	Pesos dos indicadores.....	99
	Pesos dos indicadores de desempenho.....	99
	Pesos dos indicadores de custo.....	102
4.5	Análise desempenho-custo.....	102
4.6	Considerações gerais.....	104
5	ESTUDO DE CASO.....	106
5.1	Caracterização do Córrego Bonsucesso.....	106
5.1.1	Trecho 16 e 17.....	109
5.1.2	Trecho 18.....	111
5.1.3	Trecho 18A.....	112
5.1.4	Trecho 21.....	114
5.1.5	Trecho 20.....	115
5.2	Alternativas de projeto.....	116
5.3	Indicadores de desempenho.....	119

5.4	Indicadores de custo.....	119
5.5	Avaliação desempenho-custo.....	122
5.6	Considerações Gerais.....	125
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	127
6.1	Considerações iniciais.....	127
6.2	Avaliação da robustez quanto à variação dos pesos dos indicadores que apresentaram maiores coeficientes de variação.....	127
6.3	Avaliação da robustez quanto ao perfil do analista	128
6.3.1	Avaliação tradicionalista	128
6.3.2	Avaliação Ambientalista.....	131
6.4	Avaliação da robustez quanto ao indicador de custos	134
6.5	Avaliação de sensibilidade.....	135
6.6	Considerações Gerais.....	137
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	138
8	REFERÊNCIAS	141
	APÊNDICE I.....	149
	Custos de implantação, manutenção e operação das técnicas tradicionais com base nos custos obtidos por moura (2004)	149
	APÊNDICE II.....	169
	Questionário aplicado aos especialistas para ponderação e avaliação dos indicadores	169
	APÊNDICE III	181
	Cálculo dos indicadores de desempenho	181
	APÊNDICE IV	191
	Agregação dos indicadores.....	191
	APÊNDICE V.....	199
	Avaliação de robustez da sistemática de avaliação quanto aos pesos dos indicadores que apresentaram maior coeficiente de variação.....	199

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Balança de Lane	9
Figura 3.2: Inclinações limites de taludes para técnicas de estabilização de margens	13
Figura 3.3: Tratamento de margem em solo reforçado com malha metálica – Córrego Balears/Belo Horizonte	14
Figura 3.4: Estacas – detalhe	16
Figura 3.5: Cravação de estacas “vivas”	16
Figura 3.6: Aplicação de faxinas	17
Figura 3.7: Detalhe da seção transversal de uma margem com aplicação de faxinas	18
Figura 3.8: Ilustração do “peigne” – seção transversal	19
Figura 3.9: Aplicação de biorretentores	20
Figura 3.10: Margem protegida com galhos de árvores	21
Figura 3.11: Colchão de galhos aplicado em margens	22
Figura 3.12: Margem protegida com colchão de galhos	22
Figura 3.13: Ilustração do plantio de vegetação entre pedras.....	23
Figura 3.14: Ilustração de “rootwads” – seção transversal.....	24
Figura 3.15: Ilustração de “rootwads” - planta.....	25
Figura 3.16: “Cribwall” – seção transversal.....	26
Figura 3.17: Contenção de margens em “cribwall”.....	26
Figura 3.18: Aplicação de biomanta em margens	27
Figura 3.19: Defletor tipo “asa” – “wing deflectors”	28
Figura 3.20: Defletor linear	28
Figura 3.21: Espigões no rio Lek, Holanda	29
Figura 3.22: Barragens de pedras - “Rock vortex weirs”	30
Figura 3.23: Defletores transversais de pedras - “Rock cross vanes”	30
Figura 3.24: Poços em sequência - “Step pools”	31
Figura 3.25: Troncos em V - “V-log drops”	31
Figura 3.26: Nichos em madeira e pedras - “Lunkers”	32
Figura 3.27: Pedras agrupadas - “Bolder clusters”	32
Figura 3.28: Grandes troncos para retenção de sedimentos	32
“Large Wood debris”	32
Figura 3.30: Distância das alternativas à solução ideal e anti-ideal	43
Figura 3.31: Situações de preferência.....	44
Figura 4.1: Processo de construção, avaliação, comparação e seleção de alternativas de intervenção em cursos de água urbanos.....	52
Figura 4.2: Indicadores de desempenho	55
Figura 4.2.1: Variação do indicador I_{QI} em função do tempo de retorno de projeto TR_{Alt}	57
Figura 4.2.2: Variação do indicador I_{QJ} em função da vazão a jusante Q_d	59
Figura 4.2.3: Variação do indicador I_{AH} em função do fator de condução da potencial seção futura k_{Fut}	61
Figura 4.2.4: Variação do indicador I_{CR} em função dos domicílios não atendidos por coleta de resíduos sólidos após a intervenção $DSC_{Após}$	64
Figura 4.2.5: Escala do Fator de risco (R).....	66
Figura 4.2.6: Variação do indicador I_{PV} em função da área do espelho de água formado A_E	66
Figura 4.2.7: Variação do indicador I_{QA} em função da área de drenagem atendida com implantação de técnicas compensatórias e com áreas verdes $A_{TRP}+A_{Verdes}$	68

Figura 4.2.8: Variação do indicador I_{DL} em função da soma da extensão do trecho e da extensão sem mudança de eixo após a intervenção L_P+L_{SME}	70
Figura 4.2.9: Variação do indicador I_{EG} em função da velocidade de escoamento -V-, para revestimentos cuja velocidade máxima admissível foi definida por uma faixa de valores.....	73
Figura 4.2.10: Variação do indicador I_{EG} em função da velocidade de escoamento -V-, para revestimentos cuja velocidade máxima admissível foi definida por um único valor	73
Figura 4.2.11: Exemplo de determinação do indicador I_{EG}	74
Figura 4.2.12: Variação do indicador I_{AV} em função das áreas verdes após a intervenção, para bacias com $A_{VAntes} > 0$	77
Figura 4.2.13: Variação do indicador I_{AV} em função das áreas verdes após a intervenção, para bacias com $A_{VAntes} = 0$	78
Figura 4.2.14: Variação do indicador I_{IA} em função do coeficiente de integração ambiental $k_{médio}$	79
Figura 4.3.1: Técnicas ambientalizadas de estabilização de margens – Custos de implantação.....	95
Figura 4.5.1: Gráfico de Pareto	104
Figura 5.1: Localização da bacia do Córrego Bonsucesso	107
Figura 5.2: Córrego Bonsucesso - Trechos avaliados no estudo de caso	108
Figura 5.4: Trechos 16 e 17 à jusante, na entrada do Hospital Eduardo de Menezes	110
Figura 5.5: Vista aérea do Trecho 18	111
Figura 5.6: Trecho 18 à montante, na Junção dos Trechos 19, 20 e 21.....	112
Figura 5.7: Trecho 18 à jusante após o bueiro da rua Ópera	112
Figura 5.8: Vista aérea do Trecho 18A.....	113
Figura 5.9: Trecho 18A, a jusante do lançamento do trecho canalizado da Vila CEMIG	113
Figura 5.10: Vista aérea do Trecho 21	114
Figura 5.11: Junção dos Trechos 19, 20 e 21	114
Figura 5.13: Junção dos Trechos 19, 20 e 21	115
Figura 5.14: Alternativa 1 – Intervenção intermediária	116
Figura 5.15: Alternativa 2 – Intervenção Tradicional	117
Figura 5.16: Alternativa 3 – Intervenção Ambientalizada	118
Figura 5.16: Trecho 18A - Resultado da avaliação desempenho- custo	123
Figura 6.1: Avaliação Tradicionalista – Trecho 18A	129
Figura 6.2: Avaliação Tradicionalista – Trecho 20	129
Figura 6.3: Avaliação Tradicionalista – Trecho 21	130
Figura 6.4: Avaliação Tradicionalista – Trecho 18	130
Figura 6.5: Avaliação Tradicionalista – Trechos 16-17	131
Figura 6.6: Avaliação Ambientalista – Trecho 18A.....	132
Figura 6.7: Avaliação Ambientalista – Trecho 20.....	132
Figura 6.8: Avaliação Ambientalista – Trecho 21.....	133
Figura 6.9: Avaliação Ambientalista – Trecho 18.....	133
Figura 6.10: Avaliação Ambientalista – Trechos 16-17.....	134
Figura 6.11: Avaliação da robustez quanto aos indicadores de custo – Trechos 20	134
Figura 6.12: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{QI} – Trecho 18	135
Figura 6.13: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{EG} – Trecho 21.....	136
Figura 6.14: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{CR} – Trecho 21.....	136
Figura 6.15: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{QA} – Trecho 18.....	137

Figura I.1: Projeto-tipo de galeria.....	150
Figura I.2: Custos de implantação (CI) em função da área da seção e da extensão .	151
Figura I.3: Projeto-tipo de canal em concreto e grama.....	152
Figura I.4: Projeto-tipo de canal em concreto	154
Figura I.5: Canal com revestimento vegetal (medidas em cm)	155
Figura I.5: Canal em enrocamento (medidas em cm).....	157
Figura I.6: Canal em gabião tipo caixa (medidas em cm).....	159
Figura I.7: Canal em gabião tipo caixa (medidas em cm).....	160
Figura I.8: Canal em gabião colchão (medidas em cm)	162
Figura I.9: Bacia de detenção aberta (medidas em cm).....	164
Figura I.10: Bacia de detenção aberta revestida em concreto (medidas em cm).....	165
Figura I.11: Bacia de detenção enterrada (medidas em cm).....	166
Figura I.12: Bacia de infiltração (medidas em cm)	168
Figura A-V.1: Avaliação 1 – Trecho 18A	201
Figura A-V.2: Avaliação 2 – Trecho 21	201
Figura A-V.3: Avaliação 3 – Trecho 21	202
Figura A-V.4: Avaliação 4-Resultado do Trechos 16-17.....	202
Figura A-V.5: Avaliação 5-Resultado do Trechos 16-17.....	203
Figura A-V.6: Avaliação 6 - Resultado do Trecho 21.....	203

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Critérios e indicadores de desempenho de estruturas de drenagem	46
Tabela 3.2: Ponderação dos indicadores de desempenho	47
Tabela 3.3: Peso médio e coeficiente de variação dos indicadores de impacto	48
Tabela 4.2.1: Velocidade admissível limite para leito e margens	71
Tabela 4.2.2: Relevância das áreas verdes ou matas ciliares criadas ou tratadas	77
Tabela 4.2.3: Indicador de Integração Ambiental - Valores do coeficiente de integração ambiental	80
Tabela 4.3.2: Técnicas ambientalizadas de estabilização de margens - Custos de implantação (CI)	94
Tabela 4.3.4: Técnicas ambientalizadas de estabilização de margens – Custos anuais de manutenção devido à recomposição do revestimento da calha (CMC)	97
Tabela 4.3.5: Técnicas ambientalizadas de estabilização de margens – VPL dos custos de manutenção devido à recomposição do revestimento da calha	98
Tabela 4.4.1: Pesos dos indicadores após consulta a especialistas	101
Figura 5.12: Vista aérea dos Trechos 19 e 20	115
Tabela 5.1: Características dos trechos avaliados	118
Tabela 5.2: Indicadores e Índices de desempenho por trecho para cada alternativa	119
Tabela 5.4: Índices de custo das alternativas do estudo de caso - Córrego Bonsucesso	121
Tabela 6.3.1: Pesos dos indicadores para avaliação da robustez	128
Tabela I.1: Dispositivos por metro linear de galeria	151
Tabela I.2: Custos de manutenção e operação da galeria	151
Tabela 4.23.3: Dispositivos por metro linear de canal em concreto	153
Tabela I.4: Custos de implantação (CI) por metro linear de canal em concreto	153
Tabela I.4: Custos de manutenção e operação do canal em concreto	154
Tabela I.6: Custos de implantação para canais com revestimento vegetal	156
Tabela I.7: Custos de manutenção (CM) para canais com revestimento vegetal	157
Tabela I.8: Custos de implantação (CI) para canais em enrocamento	158
Tabela I.9: Custos de manutenção para canais em enrocamento	158
Tabela I.10: Custos de implantação (CI) para canais em gabião tipo caixa	160
Tabela I.11: Custos de manutenção de canais em gabião tipo caixa	161
Tabela I.12: Custos de implantação (CI) para canais em gabião tipo colchão	162
Tabela I.13: Custos de manutenção para canais em gabião tipo colchão	163
Tabela I.14: Custos de implantação (CI) de bacia de detenção revestida com grama	164
Tabela I.15: Bacia de detenção em concreto - Custos de implantação (CI)	165
Tabela I.16: Custos de implantação (CI) de bacia enterrada	167
Tabela I.17: Custos de implantação (CI) de bacia de infiltração	168
Tabela V.1: Pesos dos indicadores para avaliação da robustez	200

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	- Área da seção transversal da galeria ou canal.
A_{Bacia}	- Área de contribuição da bacia hidrográfica.
A_E	- Área do espelho de água formado pela contenção de águas pluviais por bacias de detenção, re'tenção ou infiltração da alternativa avaliada.
$A_{E\text{-MAX}}$	- Maior área do espelho de água dentre as alternativas avaliadas.
AHP	- Análise Hierárquica ou Analytic Hierarchy Process.
a_{ij}	- Ponto da alternativa "i" analisada para o critério "j".
a^M_j	- Valor máximo do critério "j" (valor ideal).
a^m_j	- Valor mínimo do critério "j" (valor anti-ideal).
ANA	- Agência Nacional de Águas.
ANP	- Analytic Network Process.
ASCE	- American Society of Civil Engineers.
A_{TRP}	- Área da bacia com drenagem pluvial tratada para redução de poluentes, devido à implantação da alternativa em análise.
$A_{V\text{Antes}}$	- Área verde antes da implantação da intervenção.
$A_{V\text{Após}}$	- Área verde após a implantação da intervenção.
A_{verdes}	- Áreas verdes acrescidas pela alternativa em análise.
BMP	- Best Management Practice
CIDEU	- Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano
CI	- Custo de implantação.
CM	- Custo total de manutenção.
CM_C	- Custo de manutenção corretiva.
CM_{LT}	- Custo de manutenção de longo termo.
CMO	- Custos de manutenção e operação.
CSD	- Comissão de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas.
CV	- Coeficiente de variação.
CWP	- Center of Watershed Promotion.
d_M	- Distância ao ponto ideal.
d_m	- Distância ao ponto anti-ideal.
DMD	- Decisão Multicritério Discreta.
$D_p(a_i)$	- Taxa de similaridade.

DRENURBS	- Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e Córregos em Leito Natural da Cidade de Belo Horizonte.
DSC	- Domicílios sem atendimento por coleta de resíduos.
d_{50}	- Diâmetro mediano do material utilizado, ou seja 50% dos blocos possuem diâmetro inferior a d_{50} .
EA	- Environment Agency of England and Wales.
ELECTRE	- Elimination et Choix Traduisant Réalité.
FCTH – USP	- Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo.
FEAM	- Fundação Estadual de Meio Ambiente.
FISRWG	- Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group.
ϕ	- Diâmetro.
i	- Taxa de desconto anual.
I	- Indiferença.
I_{AH}	- Indicador de adaptabilidade hidráulica.
I_{AV}	- Indicador de áreas verdes.
I_c	- Indicador de custo.
IC_K	- Índice de custo da alternativa k.
I_{CR}	- Indicador de coleta de resíduos sólidos domiciliares.
ID_K	- Índice de desempenho.
I_{DL}	- Indicador de desenvolvimento longitudinal.
IGAM	- Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
I_{IA}	- Indicador de integração ambiental.
INSA de Lyon-	Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
I_{PV}	- Indicador de proliferação de vetores.
I_{QA}	- Indicador de qualidade das águas.
I_{QI}	- Indicador de impacto nas vazões locais.
I_{QJ}	- Indicador de impacto nas vazões a jusante.
j	- Critério analisado.
k	- Fator de condução.
k_{AV}	- Fator de relevância das áreas verdes e matas ciliares tratadas ou acrescidas para a bacia.
k_{Fut}	- Fator de condução da potencial seção futura.

$k_{\text{Fut-max}}$	- Maior fator de condutância da potencial seção futura, dentre as alternativas.
k_i	- Coeficiente de integração ambiental do trecho “i”.
k_{NC}	- Percentual de domicílios, ou de áreas habitadas, sem cobertura por coleta de resíduos sólidos domiciliares na bacia.
L	- Extensão do trecho do canal ou galeria para estimativa de custos
L_i	- Extensão do trecho “i” do rio.
L_N	- Extensão do rio na situação natural ou de referência.
L_P	- Extensão do rio após a implantação da intervenção.
L_{SME}	- Extensão de projeto do rio sem mudança do eixo atual.
n	- Menor coeficiente de Manning.
n_h	- Número de trechos homogêneos quanto ao padrão de técnicas aplicadas e forma da seção.
N	- Número de intervalos de pagamento.
NRCS	- Natural Resources Conservation Service.
OECD	- Organization for Economic Cooperation and Development.
OFWAT	- Water Services Regulation Authority of England and Wales.
ONG	- Organização não governamental.
ONU	- Organização das Nações Unidas.
p	- Valor que define o tipo de distância.
P	- Preferência estrita.
P_s	- Perímetro da seção do canal.
PBH	- Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.
PROMETHÉE	- Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations.
P_p	- Perímetro da seção de projeto do canal.
PV	- Poço de visita.
Q	- Preferência fraca.
Q_a	- Vazão de pico na situação atual para o tempo de retorno adotado.
Q_d	- Vazão de pico a jusante após a intervenção para o tempo de retorno adotado.
Q_R	- Vazão de restrição.
Q_2	- Vazão de pico para tempo de retorno de 2 anos.
Q_{25}	- Vazão de pico para tempo de retorno de 25 anos.
Q_{50}	- Vazão de pico para tempo de retorno de 50 anos.

R_A	- Montante a ser pago anualmente (custos anuais de manutenção).
R	- Fator de risco.
SABESP	- Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo
SMMA	- Secretaria Municipal de Meio Ambiente.
SUDECAP	- Superintendência de Desenvolvimento da Capital.
SUDS	- Sustainable Drainage Systems
TODIM	- Tomada de Decisão Interativa Multicritério.
TOPSIS	- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.
T	- Tempo de retorno.
t_c	- Tempo de concentração da bacia hidrográfica.
$T_{R \text{ Alt.}}$	- Tempo de retorno para o qual a alternativa em análise foi dimensionada.
$T_{R \text{ Inund.}}$	- Tempo de retorno da cheia a partir da qual se verifica a possibilidade de inundações atingirem áreas comerciais, residenciais ou industriais com possíveis danos materiais e perdas de vidas.
UFJF	- Universidade Federal de Juiz de Fora.
UFMG	- Universidade Federal de Minas Gerais.
UFScar	- Universidade Federal de São Carlos.
UnB	- Universidade de Brasília.
UNESP -Ilha Solteira	- Universidade Estadual Paulista de Ilha Solteira.
USP	- Universidade de São Paulo.
V_{BD}	-Volume da bacia de detenção.
VPL	-Valor presente líquido, em unidades monetárias.
V_1	- Limite inferior Velocidade máxima admissível.
V_2	- Limite superior Velocidade máxima admissível.
WEF	- Water Environmental Federation.
w_j	- Peso do critério “j”.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das cidades é geralmente associado a grandes impactos nos cursos de água, os quais são ocasionados principalmente por alterações no ciclo hidrológico e na produção e transporte de sedimentos. Essas alterações são ocasionadas pela retirada da cobertura vegetal e impermeabilização do solo, levando ao aumento do volume do escoamento superficial da água de chuva e a um grande aporte de sedimentos ao rio no início do processo, que é reduzido progressivamente após a consolidação da urbanização. Ambas as alterações no aporte de sedimentos são causadoras de impactos na morfologia dos rios (GREGORY, 2002; BERNHARDT e PALMER, 2007; WOLMAN, 1967 *apud* GREGORY, 2002).

O aumento das áreas impermeabilizadas e a construção das redes de drenagem pluvial por meio de bocas de lobo, tubos e galerias provocam a redução do tempo de concentração e o aumento da magnitude das vazões de pico. De forma complementar, com o passar do tempo a redução de áreas disponíveis para edificações e infraestrutura urbana ocasionou a ocupação das planícies de inundação. Devido ao aumento das vazões de pico, as calhas naturais se tornaram insuficientes para sua condução, o que associado à ocupação das planícies de inundação dos rios, fez com que os eventos de inundações tornassem-se cada vez mais frequentes, e normalmente, associados a perdas materiais e de vidas.

Como resposta a esses problemas, os rios foram então sendo retificados e revestidos para que com o aumento da velocidade e da área da seção transversal houvesse aumento da capacidade de vazão, e dessa forma fosse possível evitar, ou reduzir, a frequência e a magnitude das inundações.

Essas técnicas aplicadas de forma isolada se mostraram insuficientes para solucionar os problemas relativos às inundações, ocorrendo na maioria das vezes apenas o deslocamento dos pontos de inundação para jusante do trecho canalizado.

Além, da ineficiência no controle de inundações, a artificialização dos corpos de água vem ocasionando a perda de suas funções típicas como recreação, lazer, pesca, abastecimento de água, manutenção da biota e do equilíbrio ecológico.

Verifica-se hoje uma mudança de paradigma do gerenciamento dos recursos hídricos focado no comando e controle, no qual o homem altera e explora os cursos de água para atender aos interesses humanos, para uma perspectiva de gerenciamento baseado no equilíbrio das necessidades humanas com os valores ambientais (BRIERLEY e FRYIRS, 2008).

Dessa forma, vem crescendo a popularidade da estratégia de gerenciamento por meio da melhoria das condições físicas e ecológicas de rios urbanos degradados (BERNHARDT e PALMER, 2007). Apesar de no Brasil essas técnicas ainda não serem amplamente conhecidas e utilizadas, nota-se o início do processo de mudança de postura frente às alternativas de macrodrenagem que mantêm ou recuperam as condições naturais dos rios, que permitem uma maior integração ambiental e que neste estudo serão denominadas *técnicas ambientalizadas*. Estas podem envolver tecnologias de bioengenharia¹ ou a associação destas às tradicionais.

O programa DRENURBS da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte é um exemplo de que essa mudança de paradigma parece estar chegando ao Brasil. O programa propõe o tratamento integrado dos problemas sanitários, ambientais e sociais nas bacias hidrográficas cujos cursos de água, embora degradados pela poluição e pela invasão de suas margens, ainda se conservem em seus leitos naturais, ou não canalizados, e busca a integração das águas existentes ao cenário urbano e melhoria da qualidade de vida da população (CIDEU, 2010).

Em contrapartida, paralelamente à implantação das ações do DRENURBS, foi vivenciada em Belo Horizonte mais uma exclusão completa de um rio da paisagem do Centro da cidade. A construção do *Boulevard Arrudas* cobriu um trecho do Ribeirão Arrudas para ampliação do sistema viário. Este curso de água encontra-se bastante impactado devido a sua canalização em concreto, ao lançamento de esgoto bruto em sua calha e à ocupação de suas margens por edificações e sistema viário, de forma que o seu

¹ Técnicas de Bioengenharia ou engenharia biotécnica são aplicadas para estabilização de margens e taludes utilizando elementos naturais, vivos (mudas, sementes ou estacas) ou mortos (troncos ou galhos de árvores, pedras).

potencial de restauração é muito baixo, porém, a solução adotada aumentou ainda mais o impacto sobre o rio, sem buscar solução para os problemas existentes.

Esse fato evidencia a dificuldade de conscientização quanto à necessidade de se restaurar as funções precípuas dos cursos de água urbanos, verificando-se a convivência de duas concepções antagônicas dentro de um órgão, que vem sendo considerado inovador quanto ao tratamento dado aos cursos de água. Desta forma, fica evidente a necessidade de desenvolvimento de trabalhos como a presente pesquisa, disseminando essa nova abordagem e desmistificando a ideia de que a restauração representa maiores custos e baixa eficiência, e fornecendo subsídios aos analistas, para que esses tenham maior segurança ao escolher a intervenção mais adequada.

Nesse contexto os gestores veem-se frente a alternativas tradicionais e já amplamente conhecidas e utilizadas, porém de efetividade e eficácia insatisfatórias, e às técnicas de restauração de rios ainda pouco utilizadas e sobre as quais normalmente possuem pouco conhecimento, mas que surgem como alternativas ambientalmente mais adequadas. Ao terem que decidir sobre a técnica mais adequada, os gestores precisam analisar cenários complexos envolvendo aspectos socioambientais, políticos e econômico-financeiros, que são de difícil comparação devido à diversidade de natureza, e alguns deles de difícil mensuração.

Diante deste cenário, a análise multicritério apresenta-se como uma ferramenta bastante útil na análise desse tipo de problema, sendo o presente trabalho uma proposta de indicadores e metodologia para análise e ordenação de alternativas de intervenções em cursos de água, baseada em análises multicriteriais, de forma a auxiliar os gestores no processo de decisão. Os indicadores propostos visaram contemplar as principais dimensões envolvidas no processo de avaliação de uma intervenção em curso de água, quais sejam, ambiental, hidrológica, hidráulica, sanitária e econômico-financeira. Esses indicadores são agregados por métodos multicriteriais para então ser efetuada uma análise do tipo benefício-custo, que permite o ordenamento das alternativas.

O presente trabalho é apresentado em sete capítulos. O capítulo 1 contempla esta introdução e no Capítulo 2 são apresentados os objetivos e as etapas metodológicas. A

revisão da literatura é apresentada no capítulo 3 e o capítulo 4 compreende o estabelecimento dos indicadores de desempenho e de custos e sua ponderação. No Capítulo 5 é realizada agregação dos indicadores por metodologia multicriterial e aplicação em um estudo de caso, e no Capítulo 6 a avaliação da aplicação da metodologia proposta e dos resultados. Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e recomendações.

2 OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS

2.1 Objetivo geral

Propor uma sistemática de avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água urbanos por meio de indicadores de desempenho e custos, utilizando metodologias de análise multicritério.

2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer indicadores de desempenho para avaliação *a priori* de intervenções em cursos de água;
- Avaliar os custos de implantação, manutenção e operação de diversos tipos de técnicas de intervenção em cursos de água e propor indicadores pertinentes;
- Agregar esses indicadores por métodos multicriteriais de forma a possibilitar o ordenamento das alternativas de projetos;
- Avaliar a metodologia com sua aplicação em estudo de caso.

2.3 Etapas Metodológicas

As etapas do desenvolvimento metodológico da pesquisa são apresentadas de forma sumária a seguir, e serão apresentadas em detalhes no Capítulo 4.

A primeira etapa consistiu da revisão da literatura relacionada à restauração de cursos de água e às técnicas de intervenção em cursos de água existentes, sua aplicabilidade e limitações, serviços de manutenção e os custos de implantação e manutenção correlatos. Foi feita uma pesquisa sobre estudos realizados para auxílio a decisão na escolha de projetos relacionados à drenagem urbana, assim como, sobre métodos multicriteriais e sua aplicação em estudos ambientais.

A etapa seguinte envolveu a definição dos indicadores de desempenho e de custos, e a definição dos seus pesos a partir de estudos já realizados com escopo e abordagem similares aos adotados nesta pesquisa e por meio de consulta a um grupo de especialistas.

Os indicadores de desempenho foram agregados pelo método multicritério Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS em um índice de desempenho e os indicadores de custos em um índice de custos. De posse dos índices de custos e de desempenho pôde ser realizada uma avaliação do tipo desempenho-custo das alternativas de forma a permitir ao decisor a escolha da alternativa que melhor atenda à realidade local.

Após definidos os indicadores e seus pesos, a metodologia proposta foi avaliada através da sua aplicação a um estudo de caso no Córrego Bonsucesso. Os resultados foram avaliados de forma a definir os limites de aplicação e as recomendações para trabalhos futuros que permitam o seu aprimoramento.

2.4 Considerações gerais

A metodologia escolhida para realização da análise buscou simplicidade de aplicação, porém sem prejuízo ao objetivo de redução do grau de subjetividade na determinação dos indicadores.

Foram utilizados os resultados de pesquisas com objeto similar ao deste trabalho, o que permitiu estabelecer com segurança os métodos e procedimentos mais adequados ao objetivo da pesquisa, à complexidade do tema e escassez de informações sobre as técnicas *ambientalizadas*.

Apesar da dificuldade de obtenção de dados brasileiros sobre estas técnicas e sobre serviços e custos de manutenção de cursos de água de uma forma geral, pôde-se contornar essa dificuldade com a consulta a literatura internacional.

Nos capítulos seguintes serão apresentadas em detalhe as etapas de desenvolvimento da pesquisa, as considerações, premissas e justificativas para os procedimentos adotados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Processo de Urbanização e a restauração de rios*

O processo de urbanização das cidades está relacionado a diversos problemas, podendo-se destacar os relativos aos impactos ambientais. A remoção da cobertura vegetal do solo e a sua impermeabilização ocasionam, além da destruição da biota, um grande impacto no ciclo hidrológico, com aumento do volume de escoamento superficial devido à redução da interceptação pela vegetação e da infiltração no solo das águas pluviais. Verifica-se também, a redução do tempo de concentração, causada pelo aumento da velocidade do escoamento superficial e nas redes de drenagem.

O aumento do volume do escoamento superficial e a redução do tempo de concentração conduzem ao aumento da magnitude das vazões de pico nos rios, provocando aumento da incidência de inundações, das áreas atingidas e dos danos causados. Esses danos têm seu efeito majorado devido à progressiva ocupação dos leitos dos rios e da calha maior na medida em que há redução na oferta de áreas para as edificações e infraestrutura urbana e o conseqüente aumento do valor dos terrenos. Baptista e Nascimento (1996) estimaram um valor anual médio superior a 2 bilhões de dólares com despesas e prejuízos com inundações no Brasil. Segundo Berz (2000) *apud* Milograna (2009) somente na década de 90 do século passado, mais de U\$240 bilhões foram gastos no mundo para compensar as conseqüências das inundações.

A artificialização e canalização de rios, que envolvem a alteração de sua seção, da sua sinuosidade e do seu revestimento, são técnicas tradicionalmente utilizadas no controle das inundações, porém verifica-se que tais técnicas podem controlar as inundações na sua origem, mas devido ao aumento da velocidade de escoamento e da maior concentração dos volumes escoados pelos sistemas de microdrenagem convencionais, tem-se muitas vezes a transferência dos pontos de inundação para jusante.

Ademais, a alteração das condições naturais que mantêm o equilíbrio dinâmico dos rios provoca entre outros problemas, instabilização das margens, formação de focos erosivos e de assoreamento, destruição dos “habitats” e redução da qualidade das águas.

O ciclo hidrosedimentológico de formação dos rios tem seu início na bacia ou no leito fluvial quando devido a diversos fatores como variação de temperatura, precipitação, ação antrópica, dentre outros, ocorre a desagregação das partículas constituintes de rochas e solos, que serão carreados, caso as forças hidrodinâmicas do escoamento superem a resistência oferecida pelas partículas, desencadeando processos erosivos e assoreamento em alguns trechos dos rios.

No canal fluvial estas partículas são transportadas pelo escoamento de três formas: pela descarga de arraste das partículas de maior granulometria e peso específico, que são deslocadas junto ao leito do canal por rolamento ou tombamento; pela descarga em suspensão das partículas mais leves; e pelo transporte em solução que compreende a parcela do material carreado que é dissolvida na água. A maior parte do transporte de sedimentos se dá pela descarga em suspensão, sendo estimada entre 90 a 94% da carga sólida nos rios por Christofolletti (1981) *apud* von Sperling e Baptista (2007).

Um curso de água estável é aquele que fornece exatamente a velocidade requerida para o transporte da carga de sedimentos proveniente da bacia de drenagem (WEF e ASCE, 1992). A busca pelo equilíbrio geomorfológico dos cursos de água guarda grande relação com a carga de sedimentos transportada, ou seja, para um canal que teve sua carga de sedimentos aumentada haverá uma tendência a deposição e agradação do leito fluvial, já um canal que sofreu redução no aporte de sedimentos terá uma tendência a desagregação e erosão para compensar a redução da carga de sedimentos. Esta relação foi representada por Lane na “Balança de Lane”, Figura 3.1.

A alteração no volume de sedimentos transportados pelo rio pode ocasionar desequilíbrio em outras condições naturais como, na luminosidade devido ao aumento da turbidez e dessa maneira das condições para manutenção da vida de animais e plantas aquáticas, ou mesmo no transporte de poluentes ou organismos patogênicos presos a essas partículas.

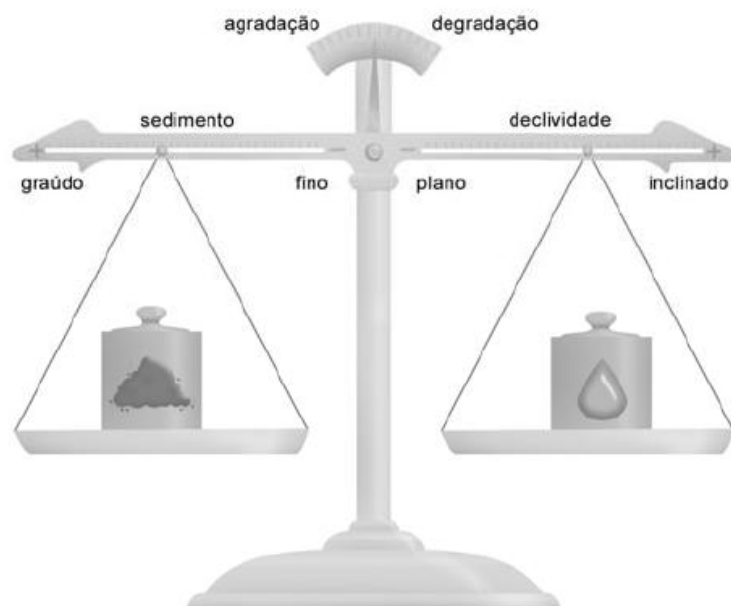


Figura 3.1: Balança de Lane
(Adaptado de Yang, 1996 *apud* Baptista e von Sperling, 2007)

O comportamento natural do rio compreende ajustes geomorfológicos e ecológicos dentro de uma escala de tempo na qual o regime de vazões e sedimentos e a interação com a vegetação são mantidos relativamente uniformes, entretanto a mudança indiscriminada da sua estrutura geomorfológica e das inter-relações existentes podem diminuir sensivelmente a capacidade de suporte ao sistema ecológico (BRIERLEY e FRYIRS, 2008).

As técnicas que visem recuperar ou manter condições naturais dos cursos de água, com a utilização de elementos naturais e reconstituição da vegetação das margens, são uma alternativa de intervenção quando esta é inevitável, quer seja pelo estágio de degradação ou pela necessidade de atendimento de outras funções ou usos prioritários do rio, como por exemplo, o abastecimento público. Essas técnicas vão oferecer maior integração ao meio e menor alteração dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos do rio.

A adoção de tecnologias de intervenção que visem à preservação e recuperação das condições naturais dos leitos dos cursos de água e o controle do uso das áreas inundáveis é uma alternativa que, além de propiciar benefícios hidrológicos e hidráulicos para a bacia hidrográfica, permite a revalorização e reinserção de rios e

córregos como elementos paisagísticos do tecido urbano, bem como em alguns casos a criação de áreas públicas para lazer e recreação, tais como parques lineares, pistas para ciclistas e pedestres, áreas verdes, entre outras (CARDOSO, 2008).

3.2 Técnicas convencionais de intervenção em cursos de água

Controlar inundações tem sido o objetivo mais frequente das intervenções em cursos de água. Este controle tem sido realizado geralmente pelo aumento da capacidade de vazão e pela estabilização das margens do canal, o que aliado à necessidade crescente de ampliação e melhoria do sistema viário com a criação de avenidas sanitárias, ou canais com vias marginais, fizeram com que essas técnicas fossem, e ainda sejam, amplamente utilizadas.

As técnicas convencionais de intervenção em cursos de água se caracterizam pela artificialização por meio de retificação, alterações na geometria da seção e na rugosidade do leito e margens dos rios, revestindo-os com concreto, gabiões, pedra argamassada, enrocamento ou contenções localizadas. O muro de arrimo é uma estrutura de contenção que pode ser adotada para estabilização localizada de margens de cursos de água que estejam muito próximas a vias ou edificações, que não podem ser relocadas, e que estejam sob risco de movimentações de massa. Essas estruturas quando construídas em concreto armado, permitem a execução de taludes com inclinação próxima a 90°.

Canais ou galerias em concreto permitem a utilização das mais diversas seções transversais como seção trapezoidal, triangular, retangular ou mista, assim como maiores declividades devido à maior resistência ao desgaste pelo atrito provocado pelo escoamento e sedimentos.

Os canais em gabião além de permitirem a utilização de diversas seções transversais têm a vantagem de terem uma maior flexibilidade para acomodação da estrutura na ocorrência de recalques do leito, além da melhor integração à paisagem no caso de uso associado à vegetação e manutenção do fluxo entre o escoamento do curso de água e do lençol freático.

O uso de enrocamento apresenta vantagens similares ao do gabião, exceto pelo tipo de seção indicada, pois não é possível a sua utilização em margens com declividades altas.

As pedras argamassadas se assemelham ao enrocamento, também são indicadas para margens com declividades suaves e impermeabilizam margem e leito, de forma que não há conexão entre o escoamento do curso de água e o lençol freático, ou desenvolvimento de vegetação.

A ineficiência de tais técnicas foi sendo demonstrada na medida em que as canalizações, que tinham por objetivo a ampliação da capacidade de vazão pelo aumento da seção e da velocidade do escoamento provocavam com frequência o deslocamento para jusante das inundações e com o passar dos anos as calhas precisavam ser sempre ampliadas para comportar o volume cada vez maior do escoamento superficial provocado pela crescente impermeabilização das bacias urbanas.

A brusca transição hidrológica, hidráulica e de transporte de sedimentos força o rio a buscar a sua configuração original ou um novo equilíbrio geomorfológico. Como são intervenções rígidas que não permitem a movimentação natural do leito do rio, podem ser verificados também problemas relacionados a processos erosivos para montante e deposição de sedimentos no trecho canalizado ou para jusante, agravando em muitos casos os eventos de inundação.

Downs e Gregory (2004) relacionam os impactos da canalização à extensão das modificações. Para canais em concreto tem-se a aceleração do escoamento e a redução do aporte local de sedimentos. Para aqueles com proteção das margens, mas não do leito, o aumento da velocidade do escoamento pode provocar pontos de erosão no leito que podem avançar para montante. Nos casos em que há retificação do curso de água sem a proteção das margens e do leito, a erosão em ambas as partes são substanciais, de forma que a sequência de corredeiras e poços são alteradas ou destruídas causando também a redução da diversidade de “habitats” e de potenciais nichos, redução da qualidade e função das espécies, redução drástica da densidade de espécies e declínio ou eliminação de determinadas espécies de peixes.

Ressalta-se, entretanto, que essas técnicas ainda são aplicáveis em situações críticas nas quais o estado de degradação do rio e as condições de ocupação de suas margens inviabilizam a sua restauração por técnicas alternativas.

Verifica-se que as técnicas envolvendo gabiões e enrocamento são menos agressivas e podem oferecer melhor inserção da obra, favorecendo a infiltração das águas e o crescimento de vegetação que oferece um aspecto mais natural.

3.3 Técnicas de manutenção ou recuperação das condições naturais de cursos de água

As técnicas de manutenção ou recuperação das condições naturais de cursos de água têm por objetivo recuperar o equilíbrio dinâmico dos rios, restabelecendo processos geomorfológicos, reconstituir a vegetação e os “habitats” e melhorar a qualidade das águas. Na maioria dos casos é necessário fazer intervenções localizadas para estabilização imediata das margens por meio de estruturas provisórias com utilização de pedras, troncos de árvores e mantas de fibra vegetal até que a vegetação se desenvolva e propicie a estabilização definitiva. Após o estabelecimento da vegetação estas estruturas, devido às suas características naturais, são decompostas ou incorporadas de forma harmoniosa à paisagem.

As intervenções podem ser feitas ao longo das margens para sua estabilização, transversalmente ao escoamento para controlar focos erosivos localizados. O desvio do escoamento reduz a velocidade junto à área tratada, promovendo a deposição dos sedimentos. Podem ser utilizadas ainda, estruturas que visam o aumento da diversidade de “habitats”.

Nos itens seguintes são apresentadas de forma sintética as características e aplicabilidade destas técnicas.

3.3.1 Estabilização de Margens

O crescimento da vegetação propicia maior estabilidade aos taludes das margens pela ação do seu sistema radicular, bem como por oferecer proteção física contra a ação erosiva do escoamento sobre as margens. A vegetação é importante também para fornecer sombreamento e nutrientes para peixes e para a manutenção da temperatura da água em níveis adequados à vida aquática (WEF e ASCE, 1992).

A adoção dessas técnicas de estabilização de margens está condicionada às características geotécnicas do local onde deverá ser realizada a intervenção. A principal condicionante para a determinação das técnicas de bioengenharia a serem utilizadas está vinculada à inclinação das margens. A Figura 3.2 apresenta diferentes inclinações de taludes com as técnicas consideradas mais adequadas para cada faixa de inclinação, de forma que as técnicas de bioengenharia mostram-se apropriadas aos casos de margens com taludes de inclinação máxima 2H:1V, porém sua utilização associada a técnicas de estabilização estrutural e geotécnica são indicadas para margens com declividade máxima 1V:1H.

Ressalta-se que outros aspectos são determinantes para a aplicação das técnicas de bioengenharia, como tipo de solo, disponibilidade de material e extensão da intervenção.

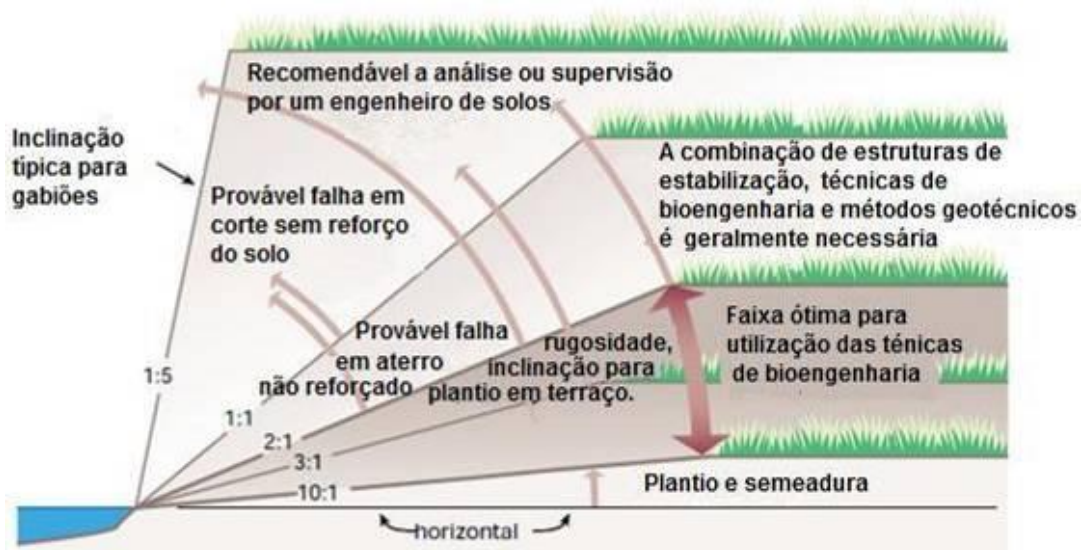


Figura 3.2: Inclinações limites de taludes para técnicas de estabilização de margens (Adaptado de FISRWG, 2001)

A seguir são apresentadas as principais técnicas de intervenções em cursos de água que buscam a manutenção das condições naturais dos corpos de água.

Estabilização por meio de reforço do solo das margens

Os geossintéticos como o geotêxtil e geogrelhas, ou mesmo barras ou malha de aço (Figura 3.3), podem ser utilizados em margens instáveis, sendo dispostos horizontalmente e cobertos com solo compactado em camadas subseqüentes, propiciando o reforço do solo. Devido a suas características, esses materiais permitem a percolação da água e a penetração de raízes que auxiliarão no reforço do solo e na estabilização das margens, de forma que seu uso é geralmente associado à aplicação de biomantas e/ou revegetação do talude.

A utilização desta técnica permite a proteção imediata das margens, podendo ser utilizada em margens com taludes bastante íngremes, com a aplicação associada de biomanta, mudas e estacas, oferecendo uma boa integração ao ambiente natural.

A manutenção deve ser feita com inspeções mensais nos primeiros meses após a implantação, com o objetivo de verificar plantas que não se desenvolveram, promovendo o replantio, podendo ser necessária a rega ou irrigação. Após o estabelecimento da vegetação, geralmente requer pouca manutenção.

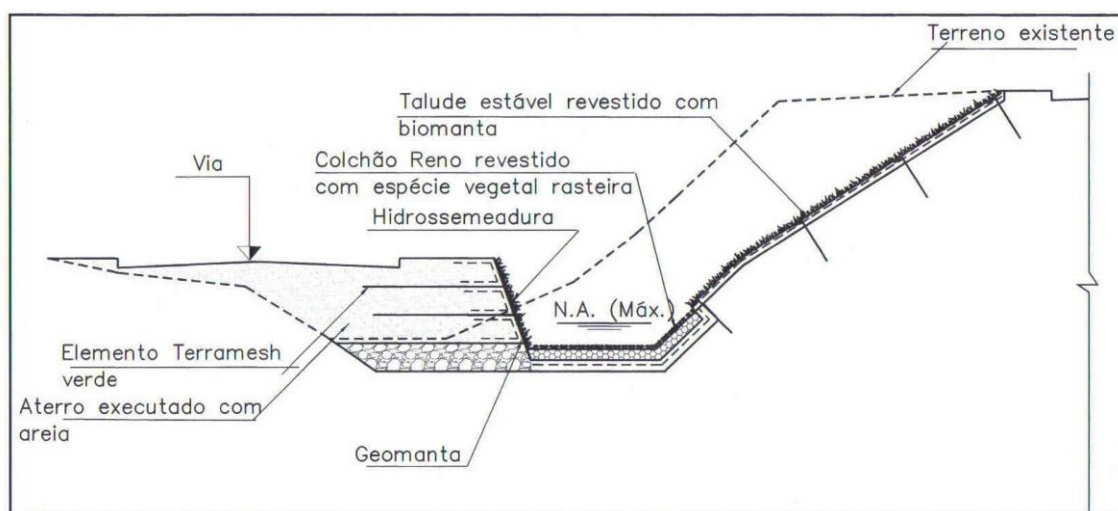


Figura 3.3: Tratamento de margem em solo reforçado com malha metálica – Córrego Baleares/Belo Horizonte

Fonte: CONSERVASOLO Engenharia de Projetos e Consultoria Técnica Ltda *apud* Cardoso (2008)

Aplicação de estacas vivas ou dormentes

Trata-se de uma técnica que se caracteriza pela cravação ou plantio de mudas em forma de estacas, ou seja, segmentos de galhos de árvores ou arbustos, que ao criarem raízes, estabilizam o talude através do “agrupamento” das partículas do solo, conforme Figura 3.4. É uma técnica de baixo custo e de fácil aplicação, sendo apropriada para estabilizar margens que apresentam pequenos deslizamentos e processos erosivos.

Com o plantio de estacas tem-se o aumento da rugosidade e redução da velocidade do escoamento, provocando o aumento da deposição de sedimentos e redução dos processos erosivos.

O processo construtivo é manual com reduzida intervenção nas margens e produção de sedimentos, conforme Figura 3.5. O uso de estacas deve estar associado a outras técnicas de bioengenharia, oferecendo condições adequadas para uma rápida recuperação da vegetação e dos “habitats”, assim como o incremento de espécies nativas.

A manutenção deve ser feita com inspeções mensais nos primeiros meses, quando ocorre o crescimento das raízes e desenvolvimento das mudas, com o objetivo de verificar estacas que não se desenvolveram, promovendo a sua substituição, podendo ser necessária a rega ou irrigação. Após o estabelecimento da vegetação, geralmente requer pouca manutenção.

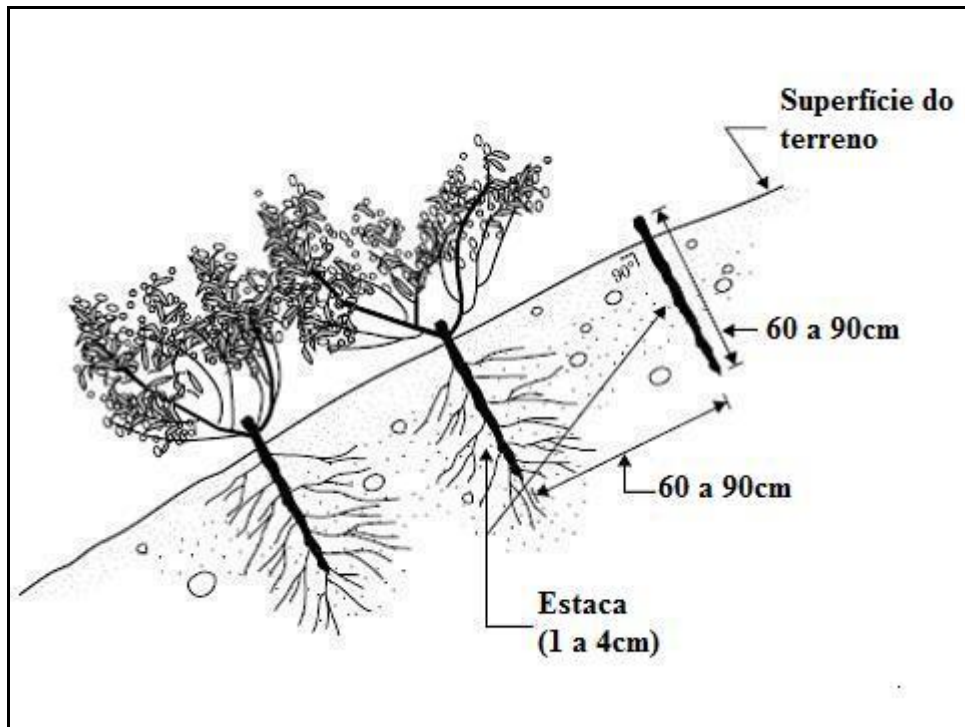


Figura 3.4: Estacas – detalhe
(Adaptado de NRCS, 1992)



Figura 3.5: Cravação de estacas “vivas”
Fonte: www.foggymtn.com/LiveStakes.html

Faxinas

As faxinas consistem da aplicação de feixes de vime, piaçava, fibra ou outro tipo de material de espécies vegetais vivas ou mortas, fixados horizontalmente na base do talude através de estacas de maneira que protejam a margem contra a erosão, até que raízes se desenvolvam e assumam essa tarefa, detalhes na Figuras 3.6 e 3.7. O seu

funcionamento proporciona uma barreira para os sedimentos que seriam carreados para dentro do curso de água e proteção física das margens até que as faxinas desenvolvam raízes. As faxinas não devem ser aplicadas abaixo do nível de água, devendo ser associada a outras técnicas para proteção do pé do talude. A técnica requer pouca interferência no curso de água, porém não é apropriada para tratamento de taludes com possibilidade de movimento de massa.

NRCS (1992) sugere espaçamento de 90 a 140cm entre as linhas de aplicação das faxinas para taludes com declividade variando de 1H:1V a 2H:1V e de 140 a 240cm para taludes entre 2H:1V a 3H:1V, enquanto Heaton *et al.* (2002) sugerem espaçamentos de 100cm para taludes com declividade de 1H:1V, 140cm para taludes 2H:1V, 200cm para taludes com 3H:1V.

A técnica requer pouca manutenção, devendo ser feitas inspeções nos primeiros meses, quando ocorre o crescimento das raízes e desenvolvimento da vegetação, com o objetivo de verificar o posicionamento e integridade das faxinas, promovendo a fixação, reposicionamento e a substituição de trechos danificados. Após o estabelecimento da vegetação, geralmente requer pouca manutenção. Porém em pequenos cursos de água há a tendência a reduzir a seção do rio, caso não seja feita a manutenção.



Figura 3.6: Aplicação de faxinas
Fonte: www.epa.gov/greenacres/tooltestkit

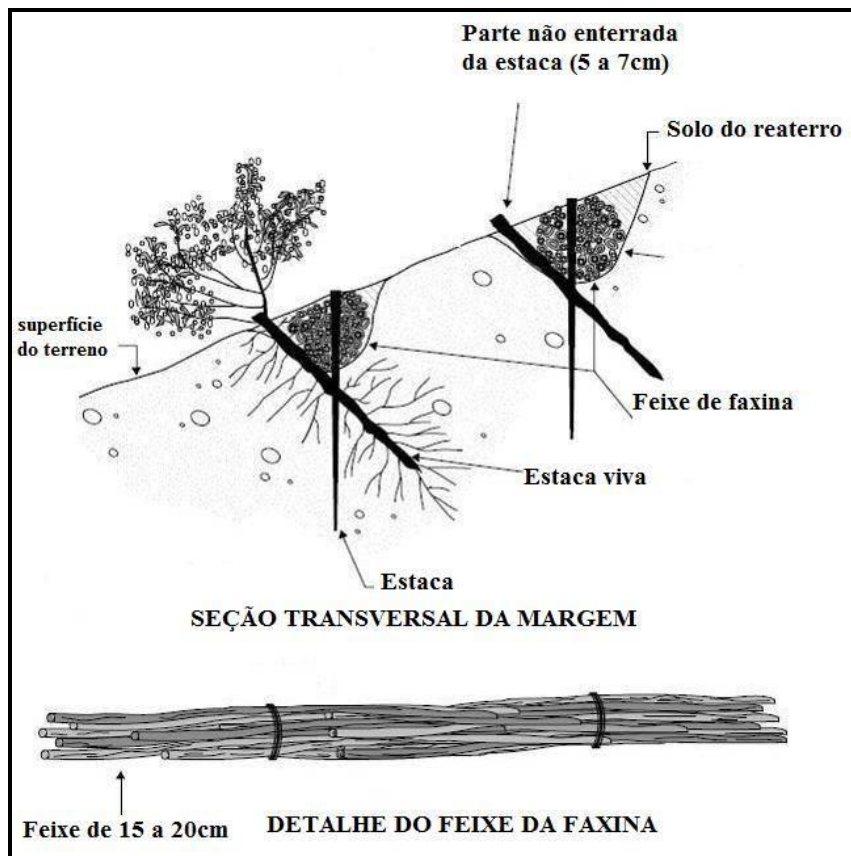


Figura 3.7: Detalhe da seção transversal de uma margem com aplicação de faxinas (Adaptado de NRCS,1992)

“Peigne” ou feixe de galhos de diâmetros variados

Os “*peignes*” são formados por galhos de diversos tamanhos e espessuras, entrelaçados em forma de feixes que são dispostos nos pés dos taludes das margens de rios promovendo a filtração das águas do curso de água, como demonstrado no detalhe da Figura 3.8. O escoamento perde velocidade ao atravessar o feixe e provoca a deposição dos sedimentos em suspensão, favorecendo a reconstituição da margem. A técnica é indicada para estabilização dos pés dos taludes das margens e possui vantagem quanto à rapidez de aplicação, oferecendo proteção imediata, porém necessita de manutenção constante.

Devem ser efetuadas inspeções após chuvas fortes para verificar se os galhos não foram deslocados, efetuando-se o seu reposicionamento, fixação e a substituição de galhos levados pela correnteza. Após o crescimento e consolidação da vegetação requer pouca manutenção.

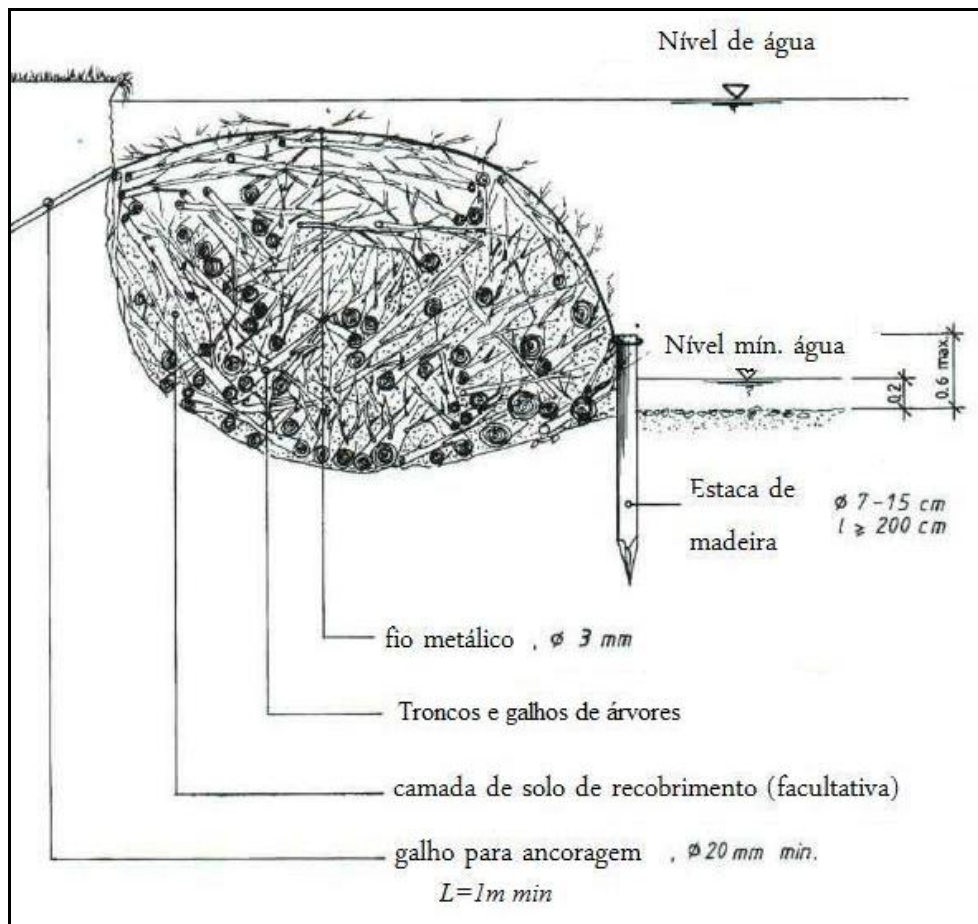


Figura 3.8: Ilustração do “peigne” – seção transversal
(Adaptado de Lachat, 1999)

Biorretentores

Técnica similar ao “peigne”, porém, utilizando cilindros de 10 a 30 cm de diâmetro, que são produzidos industrialmente com material biodegradável, geralmente em fibra de coco. Estes cilindros são utilizados para controlar a erosão no pé de taludes, onde a velocidade do escoamento não é muito alta, como ilustrado no exemplo de aplicação da Figura 3.9. Os biorretentores se degradam após um período de dois a cinco anos, porém as sementes que estão em seu interior promovem a revegetação que produzirá a estabilização definitiva pelo sistema radicular na medida em que o biorretentor se degrada. Geralmente são utilizadas outras técnicas associadas aos biorretentores para revegetação da parte superior das margens, como faxinas, estacas, etc.

Após as primeiras chuvas devem ser feitas inspeções para verificar se os biorretentores estão na posição em que foram instalados, devendo ser feitas inspeções regulares durante os primeiros meses, quando ocorre o crescimento da vegetação e é necessário o replantio da vegetação que não se desenvolveu na parte superior do talude.

Após o estabelecimento da vegetação e degradação do biorretentor devem ser feitas inspeções para verificar se o crescimento do sistema radicular da vegetação foi suficiente para estabilizar a margem.



Figura 3.9: Aplicação de biorretentores
Fonte: <http://www.southfayetteconservation.org>

Proteção com galhos de árvores

A disposição de galhos de árvores ou de arbustos junto às margens reduz a velocidade de escoamento e cria bolsões de contenção de sedimentos para o estabelecimento da vegetação, conforme imagem da Figura 3.10. A técnica possui baixo custo e utiliza materiais de fácil obtenção, porém exige a previsão de ancoragem adequada, necessitando de manutenção frequente. A técnica é contraindicada em locais onde o deslocamento de galhos para jusante possa causar obstruções em pontes ou bueiros. Caso não seja feita a manutenção, há tendência de redução da seção do curso de água pelo crescimento da vegetação e deposição de sedimentos.

Verifica-se a necessidade de utilização de outras técnicas associadas e usualmente sua utilização é limitada a taludes de pequena altura, até cerca de 40 cm.

Devem ser efetuadas inspeções após chuvas fortes para verificar se os galhos não foram deslocados, efetuando-se o seu reposicionamento, fixação e a substituição de galhos

levados pela correnteza. Após o crescimento e consolidação da vegetação requer pouca manutenção.



Figura 3.10: Margem protegida com galhos de árvores

Fonte: www.chestchatrcd.org/sitebuildercontent/sitebuilderpictures

Proteção com “colchão” de galhos

Esta técnica se assemelha à proteção com galhos, porém neste caso a margem é coberta em toda sua altura e extensão com uma camada de galhos entrelaçados, conforme Figura 3.11. Este “colchão” de galhos é posicionado perpendicularmente ao fluxo e fixado por estacas ou grampeados, conforme ilustração nas Figuras 3.11 e 3.12. CWP(2004), NRCS (1992) e Heaton *et al.* (2002) recomendam a sua instalação para taludes com inclinação inferior a 2H:1V.

A técnica é indicada para tratar margens atingidas por erosões devido à força da correnteza, de maneira a oferecer uma camada de proteção mecânica imediata que com o passar do tempo permite o desenvolvimento da vegetação que constituirá a proteção definitiva.

A principal desvantagem dessa técnica é a necessidade de grande quantidade de material e de mão de obra, o que faz com que o custo seja elevado em comparação às demais técnicas de restauração.

Devem ser feitas inspeções nos primeiros meses após a implantação, quando ocorre o crescimento das raízes e desenvolvimento da vegetação, com o objetivo de verificar a integridade dos “colchões” de galhos, promovendo a fixação, reposicionamento e a substituição de trechos danificados. Após o estabelecimento da vegetação, normalmente requer pouca manutenção.

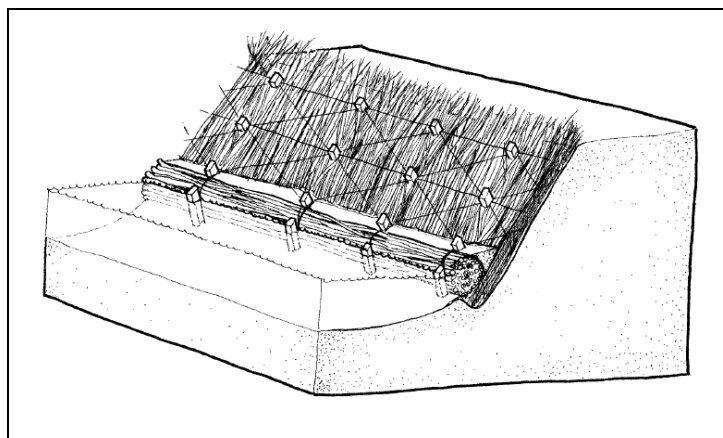


Figura 3.11: Colchão de galhos aplicado em margens
Fonte: Bentrup e Hoag (1998)

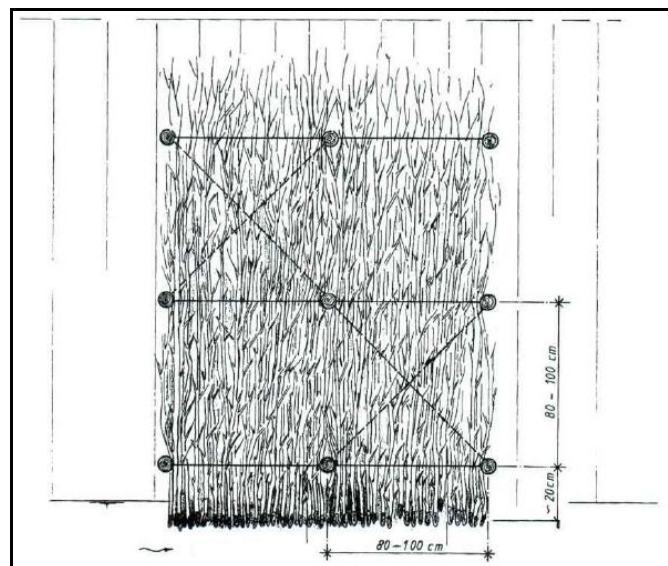


Figura 3.12: Margem protegida com colchão de galhos
Fonte: Lachat (1999)

Plantio de vegetação entre pedras

Esta técnica envolve a cravação de estacas “vivas” nos vazios existentes entre as pedras dispostas nas margens do rio, conforme Figura 3.13, sendo apropriada quando existe espaço para recobrimento vegetal entre o enrocamento existente ou a ser executado. As raízes das estacas facilitam a drenagem, impedem o carreamento de finos e oferecem maior estabilidade ao enrocamento. Deve ser utilizada juntamente com técnicas de revegetação, permitindo um rápido estabelecimento da vegetação. Esta técnica tem aplicabilidade desde o pé do talude até o topo, apresentando como desvantagem apenas a necessidade de ferramentas específicas para execução da primeira faixa de enrocamento.

Os serviços de manutenção envolvem inspeções mais frequentes nos primeiros meses de desenvolvimento da vegetação, especialmente após chuvas fortes, com o intuito de verificar deslocamento de pedras e vegetação que não tenha se desenvolvido, efetuando-se o replantio. Após o estabelecimento da vegetação as inspeções podem ser anuais.

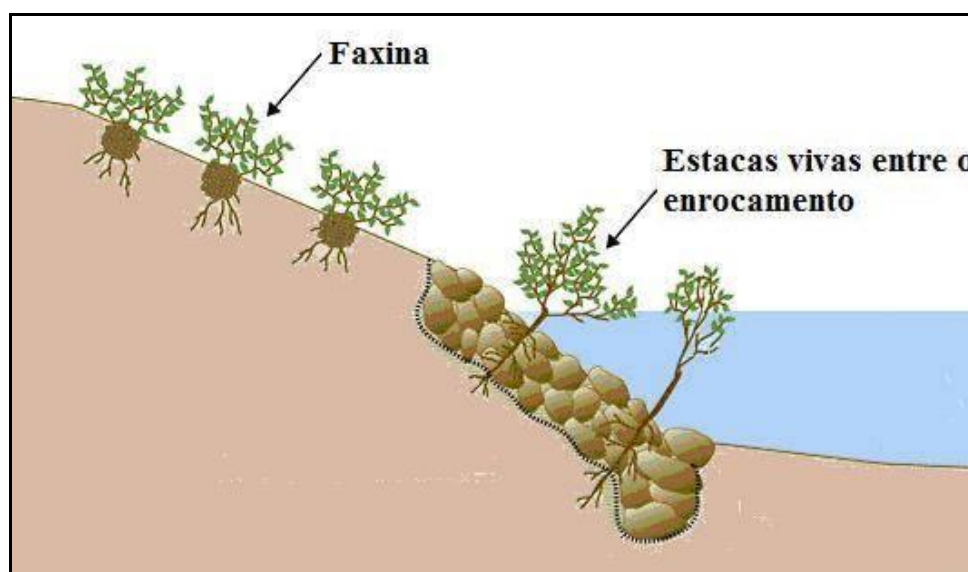


Figura 3.13: Ilustração do plantio de vegetação entre pedras
(Adaptado de www.timmessick.com/graphics/illustrations1/images)

Escoramento das margens com troncos e pedras - “Rootwads”

A técnica envolve a disposição de pedras e troncos ancorados nas margens com raízes voltadas para o escoamento, de acordo com a ilustração da Figura 3.14. Pode ser utilizado um único tronco, ou vários, como no exemplo da Figura 3.15, ao longo dos meandros, dependendo da extensão e localização dos focos erosivos.

A redução da velocidade do escoamento tem como objetivo principal a contenção de sedimentos e material orgânico para controlar processos erosivos e aumentar a diversidade de “habitats”. Pode ser associada a outras técnicas que promovam a revegetação da parte superior do talude, sendo aplicável a taludes propensos a deslizamentos, desde que a dimensão e disposição dos troncos tenham sido projetadas para este fim.

A técnica tem como desvantagens requerer em muitos casos o acesso de equipamentos pesados e materiais que podem estar indisponíveis na região, além de promover grande revolvimento do solo das margens. Sua utilização pode provocar focos de erosão e envolver elevados custos.

Os serviços de manutenção envolvem inspeções mais frequentes nos dois primeiros anos, especialmente após chuvas fortes, com o intuito de verificar deslocamento dos troncos e carreamento de solo e de vegetação, com formação de focos erosivos, com recomposição dos trechos danificados. Após o estabelecimento da vegetação as inspeções podem ser anuais.

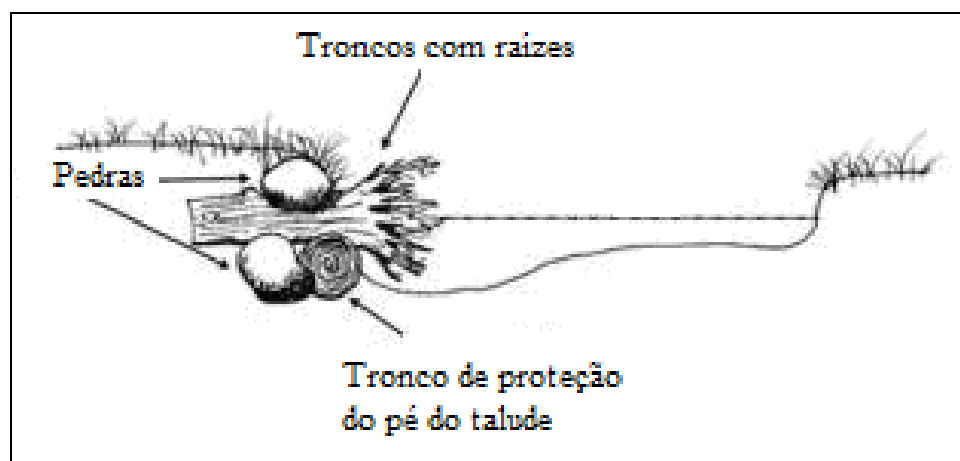


Figura 3.14: Ilustração de “rootwads” – seção transversal
(Adaptado de www.stormwatercenter.net/Assorted/ Assorted Fact Sheets)

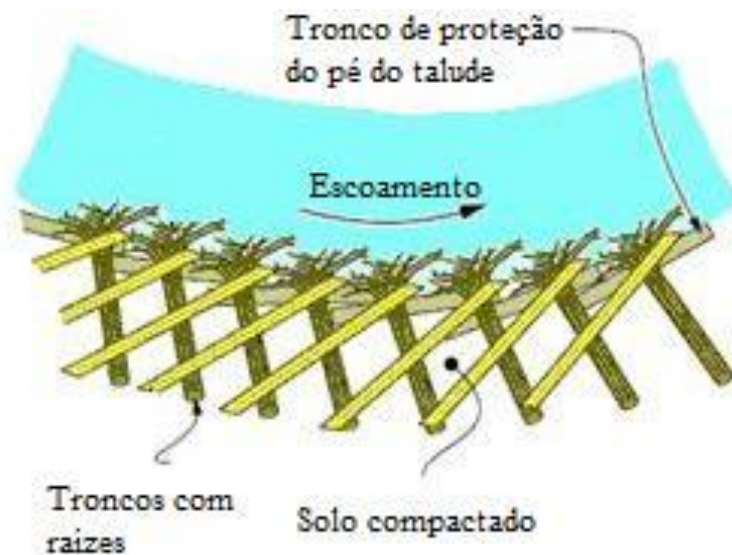


Figura 3.15: Ilustração de “rootwads” - planta
(Adaptado de CA, 2005)

“Cribwalls”

O “cribwall” é uma técnica constituída por armações de troncos de madeira, ou de elementos de concreto pré-moldado, montadas de forma similar a uma fogueira e preenchidas com pedras, solo e vegetação para estabilização de margens com taludes muito íngremes, conforme Figuras 3.16 e 3.17 .

A técnica é indicada para situações nas quais há necessidade de estabilização imediata, principalmente, se há velocidades elevadas e quando é preciso estabilizar o pé do talude com reduzido espaço. Requer proteção do pé do talude com pedras e pode ser construído acima ou abaixo do nível de água. Envolve grande movimentação de terra na margem e possui custo mais elevado que, por exemplo, as técnicas que envolvem plantio de estacas e vegetação. Quanto à diversidade de “habitats”, esta técnica não oferece grande ganho, porém, tendo em vista que seu uso deve estar associado ao plantio de vegetação e técnicas de bioengenharia para estabilização da parte superior da margem, a sua aplicação conjunta com outras técnicas pode oferecer alguma melhoria na diversidade de “habitats”.

Os serviços de manutenção envolvidos são mais frequentes nos primeiros meses até o crescimento e estabelecimento da vegetação, envolvendo a verificação da integridade da estrutura, com substituição dos elementos danificados, e a verificação de mudas ou áreas em que a vegetação não se desenvolveu, promovendo o replantio. Pode ser

necessário regar nos primeiros estágios de desenvolvimento da vegetação. Após o estabelecimento da vegetação as inspeções devem ser anuais com reposição de peças e mudas.

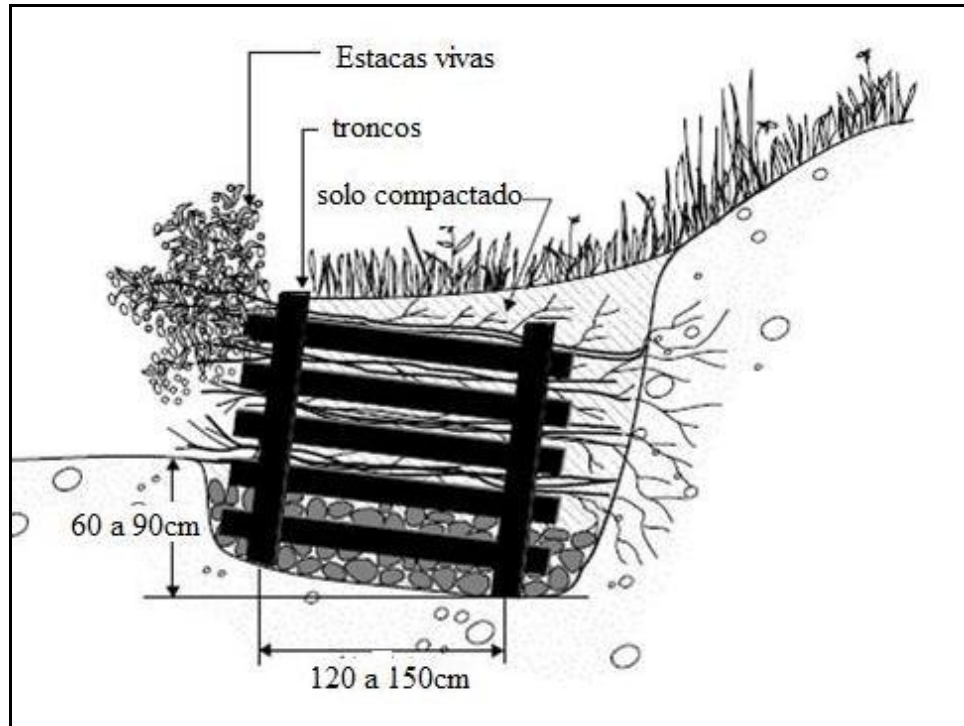


Figura 3.16: “Cribwall” – seção transversal
(Adaptado de NRCS,1992)



Figura 3.17: Contenção de margem em “cribwall”
Fonte: <http://naturlink.sapo.pt>

Biomanta

As biomantas são produzidas industrialmente com fibras vegetais, sendo mais frequentes as de fibra de coco. Sua aplicação é indicada para a parte da margem que não

está em contato com o escoamento. Deve ser feita uma ancoragem da manta no topo e no pé do talude, por meio de trincheiras, como na Figura 3.18, ou por meio de outras técnicas com enrocamento de pedras, biorretentores, entre outros. Trata-se de uma proteção temporária, para que a vegetação possa se estabelecer e atuar como estabilização definitiva, sendo normalmente aplicada associada a outras técnicas, com fixação por estacas ou grampeadas.

A manutenção deve ser feita com maior frequência nos primeiros meses de desenvolvimento da vegetação e após chuvas fortes, para verificar a necessidade de substituição de estacas ou recomposição de alguma área danificada. Pode ser necessário regar nos primeiros estágios de desenvolvimento da vegetação.

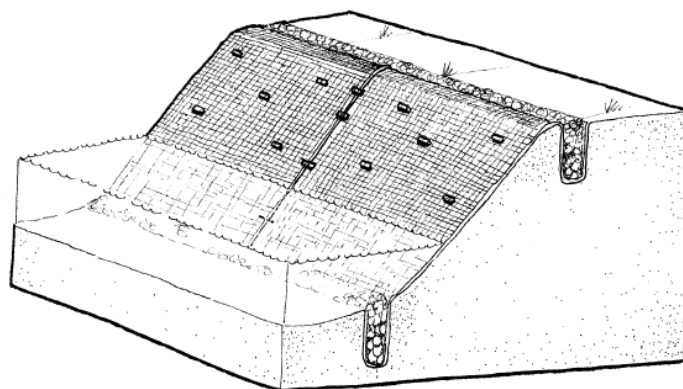


Figura 3.18: Aplicação de biomanta em margens
Fonte: Bentrup e Hoag (1998)

3.3.2 Estruturas de deflexão do escoamento

Os defletores são estruturas que são instaladas dentro do curso de água transversalmente ao escoamento, de forma a desviar o escoamento das margens onde estão localizados os focos erosivos, ou para proteção de pilares de pontes. Com a instalação dos defletores tem-se a redução da velocidade de escoamento junto aos trechos onde estes são instalados, o que aumenta a deposição de sedimentos e a agradação no canal. Entretanto, com o desvio do escoamento, estes dispositivos podem provocar erosão em outros pontos do curso de água.

Estes dispositivos podem ser instalados junto a uma das margens, ou em ambas, e podem ser constituídos de pedras, madeira ou elementos pré-fabricados. Podem-se citar como exemplos os defletores tipo “asa” (Figura 3.19) e os defletores lineares (Figura 3.20).

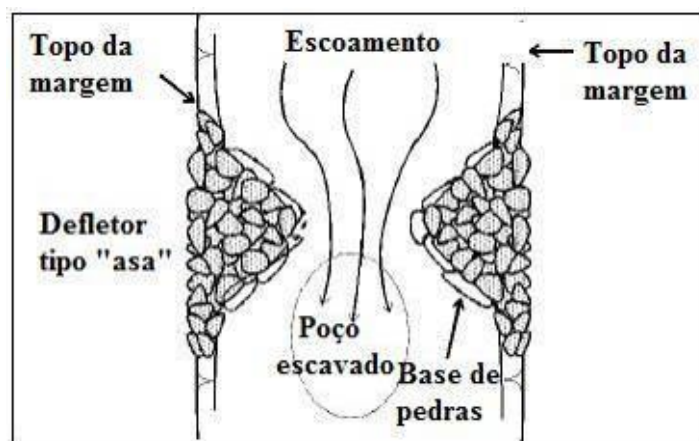


Figura 3.19: Defletor tipo "asa" – "wing deflectors"
(Adaptado de CWP, 2004)

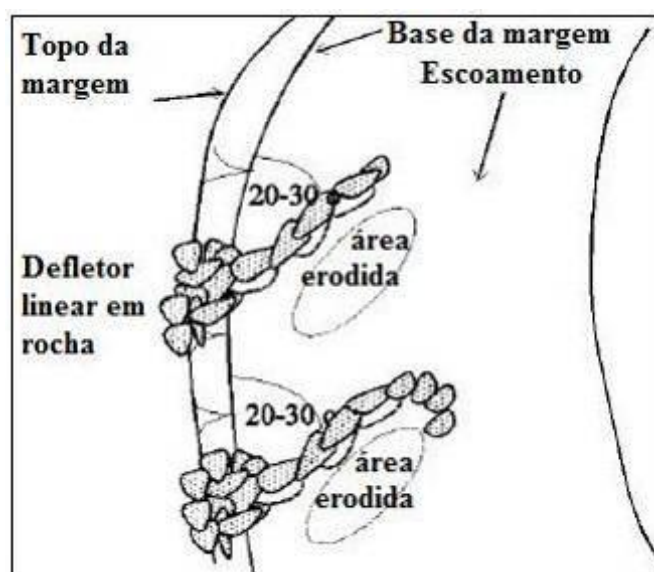


Figura 3.20: Defletor linear
(Adaptado de CWP, 2004)

Os espigões são um tipo de defletor, fixado na margem e que se estende transversalmente ao fluxo, criando zonas de baixa velocidade, o que propicia o aumento da sedimentação nessas regiões. Estas estruturas podem ser construídas com materiais como gabião e sacos de solo cimento. Os espigões podem ser isolados, de repulsão ou de sedimentação.

Os espigões isolados são utilizados para proteção de taludes de ensecadeiras, pontes e outras situações nas quais se pretende deslocar as correntes para certa direção e proteger um ponto da margem que esteja susceptível a erosão. São estruturas que provocam a recirculação e o turbilhonamento à jusante do espigão e, em alguns casos, podem aumentar o processo erosivo.

Espigões de repulsão são estruturas rígidas instaladas sequencialmente, como na Figura 3.21, visando deslocar as correntes. Nesta configuração tem-se o controle dos efeitos erosivos que ocorrem com os espigões isolados, já que há formação de um colchão de água estático entre os espigões, que desviam as correntes da margem. O comprimento dos espigões aumenta de montante para jusante, sendo a sua maior desvantagem o custo, uma vez que dependendo da extensão do trecho a ser tratado, pode superar o preço da proteção direta da margem.



Figura 3.21: Espigões no rio Lek, Holanda
Fonte: Geological Survey of Ireland (2008 *apud* Pereira, 2008)

Os espigões de sedimentação são construídos em material permeável e visam propiciar a sedimentação de sólidos em suspensão, sendo viáveis somente em rios com grande transporte de sedimentos. Os espigões são construídos em série, produzindo áreas de baixas velocidades de escoamento entre eles, promovendo a sedimentação. Com o passar do tempo, vai-se formando um depósito de sedimentos junto à margem do canal, sendo então prolongados os espigões a fim de se ampliar a área de depósito, permitindo assim realizar grandes economias nas primeiras obras.

3.3.3 Estruturas de controle de sedimentos

Essas estruturas são instaladas dentro do curso de água de forma a aumentar irregularidades na seção transversal, a diversificação dos tipos de escoamento e a deposição de sedimentos à montante. As barragens de pedras, ou “rock vortex weirs”(Figura 3.22), os defletores transversais, ou “rock cross vanes” (Figura 3.23), poços em sequência, ou “step pools” (Figura 3.24) e os troncos em V, ou “V log drops” (Figura 3.25) são exemplos de estruturas para controle de sedimentos.

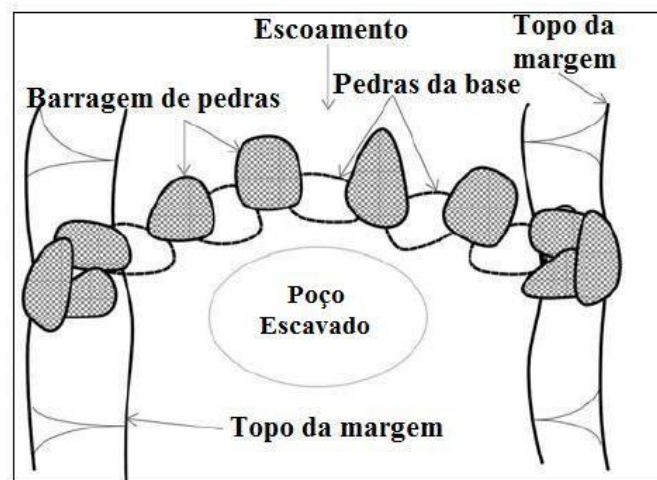


Figura 3.22: Barragens de pedras - “Rock vortex weirs”
(Adaptado de CWP, 2004)

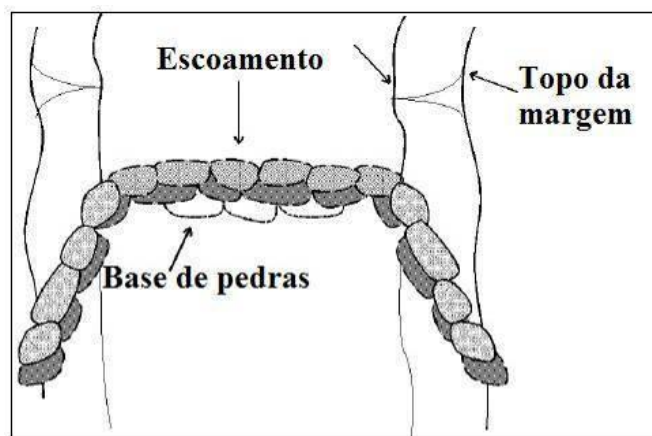


Figura 3.23: Defletores transversais de pedras - “Rock cross vanes”
(Adaptado de CWP, 2004)



Figura 3.24: Poços em sequência - “Step pools”
(Adaptado de CWP, 2004)

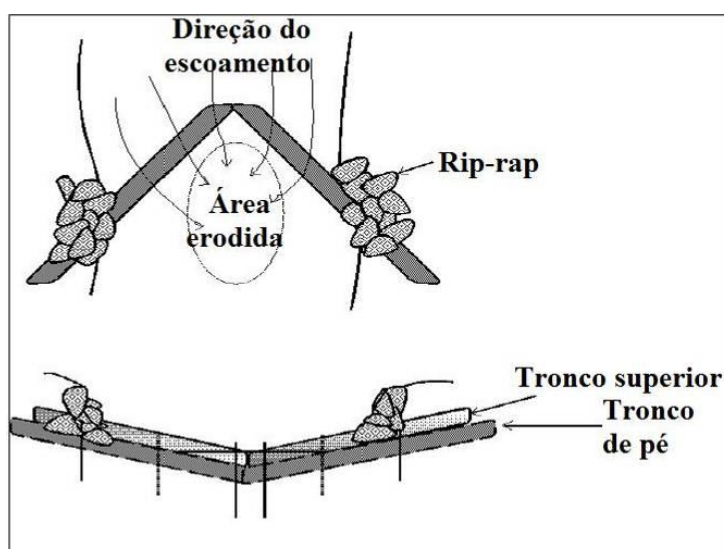


Figura 3.25: Troncos em V - “V-log drops”
(Adaptado de CWP, 2004)

3.3.4 Técnicas para enriquecimento de “habitats”

Algumas técnicas, apesar de também promoverem o controle dos sedimentos e redirecionamento ou concentração do escoamento, têm como objetivo principal o enriquecimento de “habitats”, com a formação de nichos em madeira e pedras nas margens, ou “lunkers” apresentados na Figura 3.26, ou pela diversificação do escoamento e formação de poços e corredeiras, instalando pedras agrupadas ou “bolder clusters” apresentados na Figura 3.27, ou mesmo a instalação de troncos transversalmente ao escoamento (Figura 3.28).

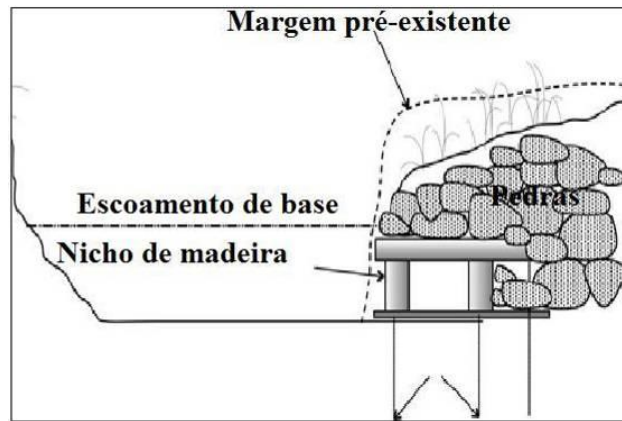


Figura 3.26: Nichos em madeira e pedras - “Lunkers”
(Adaptado de CWP, 2004)

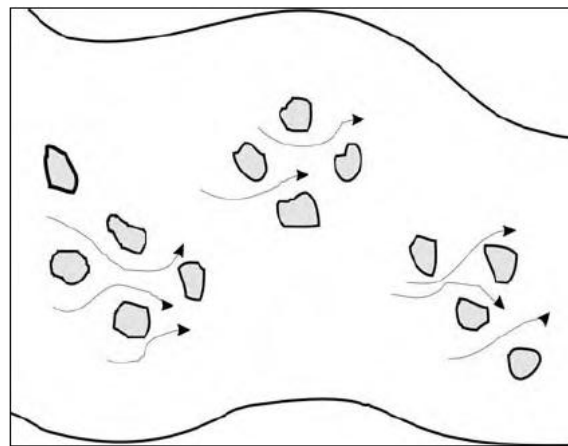


Figura 3.27: Pedras agrupadas - “Bolder clusters”
(Adaptado de CWP, 2004)



Figura 3.28: Grandes troncos para retenção de sedimentos
“Large Wood debris”
(Adaptado de CWP, 2004)

Os defletores, as estruturas de controle de sedimentos e de enriquecimento de “habitats” têm aplicação reduzida em cursos de água urbanos, motivo pelo qual serão consideradas neste estudo somente as técnicas *ambientalizadas* de estabilização de margens. Isso se

deve, a esses cursos de água terem sua capacidade de escoamento de cheias já bastante comprometida, devido ao processo de impermeabilização da bacia e da ocupação antrópica das margens, e ao fato dessas estruturas aumentarem muito a rugosidade e reduzirem a seção transversal, com possibilidade de formação de remanso. Outro fator advém do fato de os rios urbanos geralmente encontrarem-se em um estágio de degradação avançado, e portanto, com reduzida capacidade de restauração, e como essas técnicas atendem principalmente a objetivos ecológicos, como enriquecimento de “habitats”, sua aplicabilidade é reduzida. Diante do exposto, o presente estudo compreenderá fundamentalmente as técnicas de estabilização de margens.

3.4 Técnicas para melhoria da qualidade das águas fluviais e pluviais

A qualidade das águas de rios são afetadas por lançamentos pontuais de efluentes de indústrias ou de esgoto doméstico, e pela poluição difusa, associada ao carreamento pelas águas de chuva de nutrientes e poluentes dispersos na atmosfera e na superfície que entra em contato com o escoamento das águas pluviais.

O controle da contaminação pontual depende da utilização de estações de tratamento de esgoto industrial e doméstico. Para uma adequada avaliação do impacto destes tratamentos na qualidade da água é importante avaliar a remoção de matéria orgânica, assim como a remoção de nutrientes como o fósforo e nitrogênio e outras substâncias tóxicas, que reduzem a diversidade biológica do rio.

No estudo de Prat e Munnê (2000) para o rio Congost no Mediterrâneo, os tratamentos físico-químicos foram menos eficientes que os tratamentos biológicos quanto à restauração dos processos ecológicos, devido a sua insuficiência na remoção de minerais e de amônia.

Segundo Casterot (2010), o rio Sena após a implantação de estações de tratamento de esgotos apresenta nível de excelência em remoção DBO, o que não tem garantido a diversidade de peixes, pois os níveis de fósforo e nitrogênio, assim como a presença de substâncias tóxicas e baixa diversidade de “habitats” têm impedido o alcance da diversidade de espécies esperada.

A poluição difusa possui controle mais complexo, já que se encontra dispersa na bacia e possui grande variedade de poluentes, que todavia, podem ser identificados por meio de monitoramento das águas pluviais que chegam ao rio em estudo. Chocat *et al.* (1997) apontaram como principais origens dos poluentes carreados pelo escoamento superficial: circulação de automóveis (hidrocarbonetos, metais pesados e gases provenientes da queima de combustíveis), indústria (metais pesados, resíduos de petróleo e micropoluentes), animais (matéria orgânica, bactérias e vírus), resíduos sólidos, erosão dos solos e canteiros de obras (material sem suspensão como minerais e agentes ativos como o asfalto), vegetação e agricultura (matéria orgânica, nutrientes advindos de fertilizantes e compostos organoclorados de pesticidas e herbicidas).

De acordo com o estudo de Pitt e Maestre (2005), 50 a 75% dos metais estão associados ao material particulado e as fontes críticas da poluição das águas de escoamento urbano incluem grandes áreas impermeabilizadas, áreas de tráfego pesado de veículos e áreas de comércio ou indústria com estocagem ou uso ao ar livre de material poluente, e áreas residenciais, essas porém, em baixas concentrações.

As técnicas utilizadas para remoção de poluentes de águas da drenagem urbana de acordo com Clark e Pitt (2012) envolvem processos físicos como a sedimentação e filtração, a remoção de poluentes coloidais, não ionizados e iônicos por meio de processos químicos, e processos biológicos.

Para um adequado nível de remoção destes materiais Clark e Pitt (2012) recomendam a utilização associada de processo de sedimentação, químicos e de filtração biológica, pois a eficiência de cada uma delas depende das características do material a ser removido. Por exemplo, a filtração e processos químicos devem ser precedidos da sedimentação, processo no qual são removidos o material particulado, e micro-organismos e outros poluentes que se agregam a esse material, sendo em alguns casos induzida esta aglomeração pelo uso de coagulantes no processo de tratamento. A sedimentação, entretanto, tem reduzida remoção de bactérias e vírus devido ao menor peso específico destes em relação à água, permanecendo em suspensão. Para o tratamento de águas residuárias os métodos mais comuns de remoção, desativação ou

desinfecção de patógenos são a cloração, o ozônio e a luz ultravioleta (Droste, 1996; Metcalf e Eddy, 2003 *apud* Clark e Pitt, 2012).

Não somente o peso específico, mas outras características interferem na eficiência da remoção de poluentes, como a sua solubilidade na água, de maneira que substâncias apolares são mais facilmente removidas. A presença de íons dissolvidos podem alterar os pontos de ebulição e de congelamento da água, interferindo em alguns processos de remoção baseados nos diferentes pontos de mudança de fases das substâncias a serem envolvidas. Alguns ânions inorgânicos como cloretos e hidretos podem permanecer como íons livres ou, segundo Soeink e Jenkis (1980), podem participar de reações complexas e aumentar a solubilidade de muitos metais.

Pode-se citar ainda a experiência de gestores ingleses no rio Tâmsa (Hill, 2010), onde há monitoramento automático em tempo real em oito pontos do rio para alguns parâmetros de qualidade da água, com intervalos de 15 minutos. Esse monitoramento permitiu a adoção de três procedimentos corretivos quando a concentração de oxigênio dissolvido não atende ao padrão exigido por lei: o primeiro procedimento é a interrupção de retirada de água na parte superior do rio; o segundo a utilização de um equipamento denominado “Thames Bubblers” (fazedores de bolhas do Tâmsa) que instalados em barcos retiram oxigênio do ar e o injetam no rio, podendo chegar a 30t de oxigênio por dia; e o terceiro a utilização de peróxido de hidrogênio, havendo estações dosadoras que em períodos com baixa concentração de oxigênio nos rio liberam o peróxido de hidrogênio.

A flotação a ar dissolvido é outro processo de tratamento, inicialmente desenvolvido para tratamento de águas de abastecimento, posteriormente passou a ser utilizado também para esgotos doméstico, industrial e águas pluviais.

Os princípios básicos de funcionamento do processo de flotação a ar dissolvido, embora simples, pois se resumem no contato das partículas sólidas com as bolhas de ar dissolvidas no líquido e no seu conseqüente arraste para a superfície do líquido, dependem de um cuidadoso controle dos parâmetros de projeto, determinados em função das características do afluente a ser tratado (COUTINHO, 2007).

Esse sistema foi implantado na França em 1993 por Bernard *et al.* (1995) e em 1997 por Lainé *et al.* (1998), ambas para remoção de poluição difusa de cursos de água urbanos. Foram obtidos bons resultados para a remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão, fósforo, metais pesados e hidrocarbonetos.

No Brasil, pode-se destacar duas experiências com sistemas de flotação a ar dissolvido para tratamento de cursos de água, uma em São Paulo pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo-SABESP em 1997, com a finalidade proteger os lagos do Parque Ibirapuera e Aclimação, localizados na capital paulista, e a estação de tratamento dos córregos Ressaca e Sarandi, afluentes da represa da Pampulha em Belo Horizonte, Minas Gerais, apresentando um bom desempenho em ambos os casos, conforme estudo de Coutinho (2007).

Os processos biológicos de remoção de poluentes tem sido utilizados a décadas, mas recentemente as “wetlands” tem sido objeto de maior número de pesquisas e utilização em projetos em escala real. Células como bactérias ou organismos complexos como plantas são formadas primariamente por carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre (Metcalf e Eddy, 2003 *apud* Clark e Pitt, 2012). Segundo Banik *et al.* (1996) muitos poluentes, quando em concentrações não tóxicas, podem ser incorporados na biomassa desses organismos e serem utilizados como fonte de energia e então excretados ou serem incorporados de forma não perigosa ao organismo.

Alguns dos fatores que afetam a captura e distribuição dos poluentes nas plantas são: (1) propriedades químicas e físicas do composto (ex. solubilidade em água, pressão de vapor, peso molecular, especiação química, coeficiente de repartição óleo-água - Kow); (2) características ambientais (ex. temperatura, pH, teor de matéria orgânica, potencial REDOX, salinidade e umidade do solo); (3) características das plantas (ex. espécie de planta, tipo de sistema radicular, tipos de enzimas envolvidos, mecanismos específicos e taxas de transpiração) (Susarla *et al.*, 2002; Dhir *et al.*, 2009; Rai, 2009 *apud* Barreto, 2011).

3.5 Indicadores

Gallopin (1997) relata o grande número de definições para indicadores ambientais, dentre as quais o indicador é considerado: variável, parâmetro, medida, medida estatística, representação de uma medida, valor, uma medida ou instrumento de medida, índice. Para o autor, indicadores são variáveis que sumarizam ou simplificam um conjunto de informações a respeito de um fenômeno, de modo que o mesmo seja perceptível, quantificável e mensurável. Os indicadores ambientais procuram medir o comportamento e transmitir o progresso do ambiente em direção ao desenvolvimento sustentável. A relevância de um grupo de indicadores está na importância atribuída ao mesmo pelos decisores e pelo público alvo. Os indicadores têm como principais funções avaliar condições e tendências, comparar lugares e situações, avaliar condições e tendências em relação a metas e objetivos, fornecer informações preventivas e antecipar condições e tendências futuras.

Indicador pode ser definido ainda, segundo OECD (2003), como um parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros que fornecem informações sobre algo ou descrevem o estado de um fenômeno, um ambiente ou uma área, cujas informações possuem um significado que se estende além do valor do parâmetro em si.

Os indicadores podem ser observados ou medidos diretamente, ou indiretamente quando representam funções complexas. Os indicadores podem ainda ser quantitativos ou qualitativos, sendo esses últimos mais utilizados quando se trata de informações não quantificáveis ou indisponíveis, ou quando os recursos, pessoal para realização de levantamentos e o tempo necessários à sua quantificação a inviabilizarem. Indicadores qualitativos podem ser transformados em quantitativos adotando-se escalas adequadas, principalmente quando se deseja agregar indicadores de diferentes naturezas.

Existem algumas características que devem ser verificadas no intuito de garantir a adequação dos indicadores, sendo o requisito mais importante destes indicadores a sua relevância para a solução ou o entendimento do problema em questão. Feita a avaliação de sua relevância devem ser verificados outros critérios que vão definir sua aplicabilidade.

De acordo com Adriaanse (1993), OECD (1993), Tunstall (1994) *apud* Castro (2007), pode-se definir alguns requisitos desejáveis em um bom indicador para que ele seja prático e útil. Os principais requisitos são listados a seguir:

- os valores dos indicadores têm de ser mensuráveis (ou pelo menos observáveis);
- os dados têm de estar disponíveis ou poderem ser obtidos por meio de medidas, cálculos, observações ou atividades de monitoramento;
- a metodologia para a coleta e o processamento de dados e construção dos indicadores deve ser clara, transparente e padronizada;
- os meios para a construção e monitoramento dos indicadores devem ser disponíveis, incluindo-se aí meios financeiros, humanos e capacitação técnica;
- os indicadores ou conjuntos de indicadores devem poder ser obtidos a um custo razoável;
- Os indicadores devem ser aceitáveis no nível apropriado ao estudo (local, nacional ou internacional);
- A participação e o suporte pelo público na utilização dos indicadores são desejáveis.

Verifica-se o crescimento da utilização de indicadores para avaliação de sistemas ambientais, que normalmente envolvem problemas de análise complexa. Castro (2007) cita, dentre vários trabalhos já realizados com utilização de indicadores, os seguintes estudos ambientais:

- Kolsky e Butler (2002) apresentaram possíveis indicadores e discutiram perspectivas conceituais e práticas no desenvolvimento de indicadores para avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana.
- Geerse e Lobbrecht (2002) apresentaram os indicadores propostos e aplicados para avaliação do sistema de saneamento e drenagem da cidade de Rotterdam, na Holanda.
- Kondratyev *et al.* (2002) aplicaram indicadores propostos pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas - ONU (CSD, 1995) para avaliar a situação do lago Ladoga, o maior da Europa e responsável

pelo abastecimento da cidade de São Petersburgo na Rússia, além do recebimento de suas águas de esgotamento sanitário e pluvial.

- Ribeiro (2005) propôs um Índice para avaliar o desempenho da Política Pública de Meio Ambiente, baseado em indicadores referentes aos aspectos água, biodiversidade, ar, solo, institucional e sócio-econômico.
- Barrera-Roldán e Saldívar-Valdés (2002) propuseram um conjunto de indicadores para avaliar o desenvolvimento urbano e aplicaram em sete cidades em uma região industrializada do México. Os indicadores propostos foram para avaliar os aspectos econômicos, sociais e ambientais.
- OFWAT e EA (2001) propuseram indicadores para a avaliação dos sistemas de esgotamento sanitário e drenagem urbana no Reino Unido com vistas a aspectos ambientais e de atendimento aos consumidores.

A avaliação e a ordenação de alternativas de intervenções em cursos de água, se inserem nesta gama de problemas de análise complexa, tendo em vista o envolvimento de aspectos ambientais, hidráulicos, hidrológicos, sanitários e econômico-financeiros, requerendo a utilização de indicadores relativos a diversos aspectos, sendo sua agregação realizada por métodos multicriteriais.

3.6 Métodos Multicriteriais

Após a II Guerra Mundial a experiência sobre problemas logístico-militares estimularam as pesquisas sobre métodos que visavam à otimização de custos, gastos e lucros, de forma a obter a solução ótima para os problemas. Os modelos matemáticos desenvolvidos compreendiam uma única função objetivo, porém, estas soluções não se mostravam satisfatórias frente a uma vasta gama de problemas para os quais o tomador de decisões deveria considerar critérios múltiplos para a escolha entre alternativas, sendo para alguns deles difícil a mensuração de benefícios e custos. De forma que a partir da década de 60 do século passado começaram a surgir métodos multicriteriais de apoio ou auxílio à decisão.

Roy e Bouyssou (1993) *apud* Moura (2004) definem auxílio à decisão como a atividade que ajuda na obtenção dos elementos de respostas às questões intervenientes dentro de um processo de decisão. Gomes *et al.* (2004) definem apoio multicritério à decisão como a

atividade daquele (analista de decisões ou homem de estudo) que baseado em modelos claramente apresentados, mas não necessariamente formalizados, ajuda na obtenção de elementos de resposta às questões de um agente de decisão no decorrer de um processo. Esses elementos têm como objetivo esclarecer cada decisão e, normalmente recomendá-la ou, simplesmente, favorecê-la.

A avaliação de alternativas de intervenções em cursos de água é bastante complexa, tendo em vista o envolvimento de diversos aspectos e a existência de diversas variáveis que são de difícil mensuração e comparação, ou não mensuráveis, o que requer a utilização dos métodos multicriteriais.

Esses métodos têm sido amplamente utilizados em estudos onde aspectos ambientais, sociais e econômico-financeiros são de elevada relevância. No quadro da UFMG, pode-se citar a proposição de metodologias de auxílio à decisão para escolha de projetos que visam à implementação de sistemas de drenagem, de sistemas de controle de inundações ou de intervenções em cursos de água por Castro (2002) e Moura (2004), Milograna (2009) e Cardoso (2008), respectivamente.

Fuamba *et al.* (2011) e AL-ANI *et al.* (2012) também apresentaram modelos de auxílio à decisão com base em métodos multicriteriais para seleção de sistemas de drenagem do tipo “Best Management Practice” – BMP, com realização de estudos de caso no Quebec e na Malaysia, respectivamente. Na Europa podem ser citados os estudos de proposição de modelos multicriteriais de auxílio à decisão de Martin *et al.* (2007) para classificação de alternativas de drenagem do tipo “Storm Water Source Control” (Controle do escoamento na fonte), que foi aplicado em um caso hipotético e o de Ellisa *et al.* (2004) para escolha de sistemas de drenagem do tipo “Sustainable Drainage Systems” – SUDS, com estudo de caso realizado em Paris.

Os métodos multicriteriais ou multiobjetivos podem ser divididos em contínuos ou discretos. Os problemas cujas alternativas podem assumir um número infinito de valores são do ramo contínuo e são trabalhados pela Programação Multiobjetivo ou Otimização Vetorial. Já os problemas cujas alternativas assumem um número finito de valores ou infinito numerável são discretos e são tratados pela Decisão Multicritério Discreta – DMD.

Como o presente estudo trabalha com indicadores que fornecem valores discretos, a descrição dos métodos existentes feita a seguir compreenderá somente os métodos DMD.

Na Decisão Multicritério Discreta, como por exemplo, a escolha da melhor alternativa de intervenção em um curso de água, as problemáticas podem ser agrupadas em diferentes tipos (Gomes *et al.*, 2004):

Problemas tipo α ($p\alpha$): selecionar a “melhor” alternativa ou as melhores alternativas;

Problema tipo β ($p\beta$): aceitar alternativas que parecem “boas” e descartar as que parecem “ruins”, ou seja, realizar uma classificação de alternativas;

Problema tipo γ ($p\gamma$): gerar uma ordenação de alternativas;

Problema tipo δ ($p\delta$): realizar uma descrição de alternativas.

Os métodos multicriteriais mais utilizados têm suas bases na escola americana, na escola francesa ou européia e nos métodos interativos.

A escola americana baseia-se na teoria da análise multiatributo, a qual aceita a existência de uma função de valor real sobre o conjunto de alternativas que agrega os vários critérios definidos, essas alternativas discretas poderão ser avaliadas a partir de uma hierarquização dos critérios. Os principais métodos da escola americana são o Método de Análise Hierárquica ou Analytic Hierarchy Process – AHP, o Analytic Network Process – ANP, o método Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS, o método dos Pesos, o método das Restrições e o método Multiobjetivo linear.

Os métodos da escola francesa de apoio multicritério estabelecem, a partir da relação entre duas alternativas, argumentos que permitem decidir se uma é melhor que a outra, de forma que em alguns casos não é possível estabelecer uma ordenação completa das alternativas. Os principais métodos são os da família ELECTRE - ELimination Et Choix

Traduisant REALité e os da família PROMETHEE - Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations.

Os métodos interativos têm como princípio básico o sistema de preferências que é interativo, havendo discussão entre os decisores durante o processo decisório e à medida que vai se alcançando um melhor entendimento do problema, novas informações são incorporadas ao método. O método Tomada de Decisão Interativa Multicritério - TODIM pode ser citado como exemplo de método interativo.

Os potenciais usuários da metodologia proposta neste estudo situam-se em variadas regiões do Brasil, havendo inclusive a possibilidade de uso por técnicos de outros países. Os usuários podem trabalhar em empresas de consultoria, para órgãos ou entidades da administração municipal e órgãos ambientais. Além disso, trata-se de uma pesquisa de mestrado, tornando-se inviável estabelecer um processo de discussão entre os decisores, com incorporação de informações, posteriormente à conclusão da pesquisa. Desta forma, descartou-se a possibilidade de utilização dos métodos interativos neste trabalho.

3.6.1 Método TOPSIS

O método TOPSIS foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) *apud* Pomerol e Barba-Romero (1993), de forma a avaliar a distância de cada alternativa à solução ideal (Equação 3.1) e à anti-ideal (Equação 3.2). A partir destas duas distâncias é possível calcular a taxa de similaridade (Equação 3.3), que varia de 0, ponto anti-ideal, a 1, ponto ideal.

A distância ao ponto ideal pode ser calculada pela Equação 3.1.

$$d_p^M(a_i) = \left[\sum_j w_j^p |a_j^M - a_{ij}|^p \right]^{1/p} \quad (3.1)$$

Onde:

$d_p^M(a_i)$ - distância ao ponto ideal;

j - critério analisado;

w_j - peso do critério “j”;

- a_j^M - valor máximo do critério “j” (valor ideal);
- a_{ij} - ponto da alternativa “i” analisada para o critério “j”;
- p - valor que define o tipo de distância.

A Equação 3.2 define a distância ao ponto anti-ideal.

$$d_p^m(a_i) = \left[\sum_j w_j^p |a_j^m - a_{ij}|^p \right]^{1/p} \quad (3.2)$$

Onde:

- $d_p^m(a_i)$ - distância ao ponto anti-ideal;
- a_j^m - valor mínimo do critério “j” (valor anti-ideal).

De posse das distâncias entre a alternativa e o ponto ideal e o ponto anti-ideal, pode-se calcular a taxa de similaridade, segundo a Equação 3.3, a qual corresponde para este trabalho ao indicador de desempenho, e onde, $D_p(a_i)$ é a taxa de similaridade.

$$D_p(a_i) = \frac{d_p^m(a_i)}{[d_p^M(a_i) + d_p^m(a_i)]} \quad (3.3)$$

Na Figura 3.30 pode ser visualizada a representação gráfica da distância das alternativas A, B, C, D e E aos pontos ideal e anti-ideal, com relação aos critérios C_1 e C_2 . Nesta figura fica claro que a alternativa com menor distância ao ponto ideal (C) nem sempre será a com maior distância ao ponto anti-ideal (D).

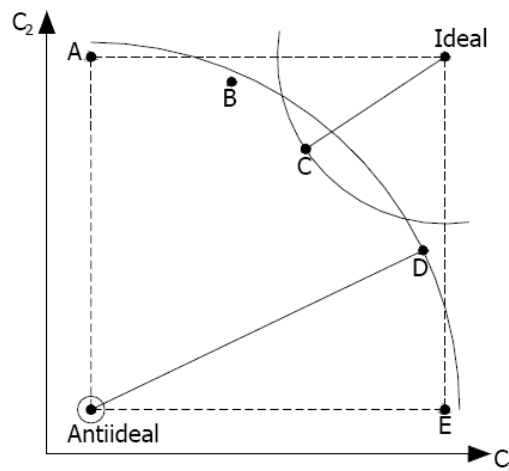


Figura 3.30: Distância das alternativas à solução ideal e anti-ideal
 Fonte: Pomerol e Barba-Romero (1993)

A distância “p” para aplicação do método TOPSIS pode ser do tipo retangular, na qual $p=1$, Euclidiana, com $p=2$ e Tchebycheff com $p=\infty$. O tipo de distância escolhida neste trabalho foi a Euclidiana, com $p=2$, por apresentar a vantagem de se distanciar dos métodos de soma ponderada, fazendo com que o valor da escala do indicador tenha menor influência no resultado final, conforme Moura (2004).

3.6.2 Método ELECTRE

Desenvolvido em 1964 por Bernard Roy, o método ELECTRE é baseado em relações classificatórias binárias, sendo aplicável quando se conhece as preferências do decisor. A avaliação permite avaliar se uma alternativa “a” é tão boa, melhor ou pior que outra “b”. Além da possibilidade de preferência estrita (P) e indiferença (I), podem ser definidas a preferência fraca (Q) e a incomparabilidade, por meio do estabelecimento de pseudocritérios que definem os limites de preferência (p) e indiferença (q) (Figura 3.31).



Figura 3.31: Situações de preferência
Adaptado de Gomes *et al.*(2004)

A família ELECTRE compreende os métodos:

- ELECTRE I e o ELECTRE IS, permitem a formação de um conjunto com as melhores alternativas, utilizando critérios e pseudocritérios, respectivamente;
- ELECTRE II, que é uma evolução do método ELECTRE I que permite a ordenação das alternativas;
- ELECTRE III, que permite a ordenação de alternativas quando há apenas um decisor, ou quando é possível estabelecer hipóteses sobre os pesos de cada decisor, utilizando pseudocritérios;
- ELECTRE IV, também trabalha com os pseudocritérios, é o único método da família ELECTRE para o qual não é necessário estabelecer pesos para os indicadores, sendo indicado para casos em que seja difícil estabelecer esta ponderação; e

- ELECTRE TRI, que permite a comparação de diversas alternativas com uma alternativa de referência ou ideal, oferecendo também como resultado a ordenação de alternativas.

O método ELECTRE III se enquadra na problemática γ ($p\gamma$), no qual se deseja gerar uma ordenação de alternativas. O método classifica as diversas alternativas para a solução de um problema e considera ainda que, diante da necessidade de comparar duas alternativas, o decisor poderá reagir com as alternativas por preferência, indiferença ou veto. Calcula-se um índice de concordância, entre as alternativas, com o intuito de construir a matriz de comparação para cada critério (Castro, 2002).

3.7 Metodologias desenvolvidas para escolha de alternativas de projetos de drenagem

Castro (2002) estabeleceu indicadores de desempenho de sistemas de drenagem e por meio de consulta a especialistas fixou os pesos que foram utilizados em uma metodologia de análise multicritério baseada nos métodos ELECTRE III e Programação de compromisso. Essa metodologia permitiu identificar dentre várias alternativas de projeto de drenagem aquela que possuía melhor desempenho.

Os indicadores de desempenho foram estabelecidos de forma a caracterizar o atendimento ao objetivo da obra, os impactos gerados pela obra e a inserção desta no meio. De acordo com os critérios a serem avaliados os indicadores foram agrupados como na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Critérios e indicadores de desempenho de estruturas de drenagem

Critério	Indicadores
Objetivo	Atendimento ao objetivo da obra avaliado através da relação entre o tempo de retorno previsto da alternativa em questão e o tempo de retorno desejável para a obra.
Impactos da obra	Impacto sobre as vazões a jusante da obra, por meio da relação entre a vazão mínima a ser mantida a jusante e a vazão de dimensionamento, ou entre a vazão de dimensionamento e a vazão máxima, para o caso de haver um limite superior para a vazão a jusante.
	Impacto na recarga do aquífero, através da razão entre a vazão que deixa de se infiltrar devido à obra e a vazão infiltrada na condição natural.
Impactos sanitários	Impactos sanitários com avaliação qualitativa da possível proliferação de insetos.
Impactos sobre a qualidade das águas	Impacto nas águas superficiais e nas águas subterrâneas, ambos avaliados de forma qualitativa.
Inserção da obra	Criação e preservação de “habitats”, mensurado pela razão entre o aumento da área apta após implantação do projeto pela área apta pré-existente.
	Quadro cênico que avalia o impacto paisagístico de forma qualitativa.
	Criação de áreas de recreação e lazer e equipamentos urbanos - razão entre a diferença entre o aumento na área de recreação após implantação do projeto e a área pré-existente.
	Impacto nas condições de circulação - expressa o impacto da obra sobre as condições do trânsito de veículos e de pessoas de forma qualitativa.
	Possibilidade da utilização da obra para o desempenho de outras funções técnicas, sendo realizada uma avaliação qualitativa.
	Desapropriação de áreas - razão entre a diferença entre a área máxima desapropriável e a área desapropriada, pela área máxima desapropriável menos um.

Moura (2004) estabeleceu indicadores de custos de sistemas de drenagem e os agregou aos indicadores de Castro (2002) por meio do método multicritério TOPSIS e do gráfico de Pareto. Introduziu ainda o peso proveniente da opinião da população aos pesos já

avaliados por Castro (2002), sendo a ponderação final dos indicadores de desempenho apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Ponderação dos indicadores de desempenho
Fonte: Moura (2004)

Indicador	Pesos (%) atribuídos pelos decisores
Atendimento ao objetivo	15,44
Impacto hidrológico nas vazões de jusante	12,66
Impacto na recarga do aquífero	6,17
Impacto na possibilidade de transmissão de doenças	7,82
Impacto na possibilidade de proliferação de insetos	6,86
Impacto na qualidade das águas superficiais	7,89
Impacto na qualidade das águas subterrâneas	6,84
Criação e preservação de “habitats”	7,53
Impacto paisagístico	6,99
Criação e áreas de preservação e lazer	6,42
Impacto nas condições de circulação	6,03
Possibilidade de utilização para outras funções técnicas	3,93
Desapropriação de áreas	5,41

Neste mesmo estudo foi estabelecido o indicador de custo, calculado pela soma do custo de implantação e dos Valores Presentes Líquidos dos custos de manutenção e de operação. O peso deste indicador foi estabelecido por meio de consulta à população e a especialistas, sendo estimado com base no valor máximo de sobrepreço que os especialistas e a população consideraram aceitável, tendo sido obtido o valor de 30%.

Os trabalhos de Moura (2004) e Castro (2002) tiveram como foco principal os sistemas de microdrenagem, apresentando alguns tipos de sistemas de macrodrenagem, porém avaliando somente técnicas tradicionais de intervenções, como gabião e canais em concreto.

A urbanização das cidades devido aos impactos sobre o ciclo hidrológico e à produção e transporte de sedimentos, já citados neste trabalho. Essa urbanização foi acompanhada ao longo dos anos de intervenções em cursos de água com o objetivo de aumentar a velocidade de escoamento e a capacidade de vazão. As intervenções tradicionalmente adotadas compreendem o revestimento e retificação dos canais, causando mais impactos sociais e ambientais, e tratando-se muitas vezes de uma solução localizada, com deslocamento dos pontos de inundação para jusante. Neste contexto, as técnicas de

recuperação e de manutenção das condições naturais ganham importância e aceitação, porém, verifica-se que é necessário um diagnóstico da situação existente e uma avaliação de impacto das alternativas de intervenção sobre as condições sociais, ambientais, sanitárias, assim como os custos envolvidos.

Buscando atender a essa necessidade foi elaborada por Cardoso (2008) uma metodologia de diagnóstico do trecho do corpo de água a ser avaliado e os impactos causados por alternativas de intervenções. Foram estabelecidos indicadores de impacto de alternativas de contenção de margens de canais, a serem estimados qualitativamente em uma escala com cinco níveis, (+2) grande melhora, (+1) pequena melhora, (0) indiferente, (-1) pequena piora e (-2) grande piora.

Os indicadores foram divididos de acordo com o impacto causado: impactos no curso de água, impactos hidrológicos/hidráulicos, impactos ambientais, impactos sanitários e impactos sociais. Esta divisão pode ser visualizada na Tabela 3.3, que apresenta também os pesos atribuídos aos indicadores após consulta a um grupo de 17 especialistas.

Tabela 3.3: Peso médio e coeficiente de variação dos indicadores de impacto
Fonte: Cardoso (2008)

Impactos da intervenção	Indicador	Pesos (%)		CV (%)
Impactos no curso de água	Forma/sinuosidade (planta)	17,5	8,0	48
	Leito e margens (seção)		9,5	46
Impactos hidrológicos/hidráulicos	Condições de vulnerabilidade e inundações no local	26,0	14,5	29
	Impactos sobre as vazões de jusante		11,5	38
Impactos ambientais	Processos de erosão e assoreamento	26,0	9,0	33
	Diversidade de “habitats”		5,3	56
	Áreas verdes adjacentes ao corpo de água		6,5	30
	Impacto paisagístico		5,2	44
Impactos sanitários	Proliferação de insetos	8,0	8,0	65
Impactos sociais	Áreas e equipamentos urbanos e de lazer	22,5	9,8	37
	Desapropriação, remoção e reassentamento da população		8,2	51
	Valorização financeira da área		4,5	47

A metodologia desenvolvida visou uma análise preliminar das alternativas de intervenção em cursos de água. Apesar da subjetividade envolvida, representa uma grande contribuição para a avaliação desse tipo de projeto. Não obstante, é importante

ressaltar a necessidade de se buscar uma metodologia menos subjetiva para uma análise mais avançada de alternativas de intervenções em corpos de água, que envolvam também os custos de implantação, manutenção e operação.

Outros estudos aplicados à escolha ou hierarquização de projetos de intervenções em cursos de água foram identificados, entretanto tratam-se de modelos aplicáveis a determinado rio, e geralmente para análise dos tipos de usos mais importantes e não medidas de tratamento ou restauração de um rio, como o trabalho de Hermans *et al.* (2007) no “White River” em Vermont nos Estados Unidos da América. Alguns estudos são focados em dimensões específicas como SCHLÜTER *et al.* (2006) sobre diversidade de “habitats” e alocação de água no delta do rio Amudarya na Ásia, e o de Alvarez-Guerra *et al.* (2010) sobre gerenciamento da produção e transporte de sedimentos na Baía Santander na Espanha.

O presente trabalho tomará como referência o estudo de Cardoso (2008), buscando dar maior objetividade aos indicadores, sendo estes reavaliados e incorporados indicadores de custo, que serão agregados com métodos multicriteriais mais complexos e robustos.

3.8 Considerações gerais

Neste capítulo foram apresentadas diversas técnicas de estabilização de margens, deflexão do escoamento, enriquecimento de “habitats” e controle de sedimentos, os limites de utilização e tipo de serviços de manutenção requeridos. As técnicas de bioengenharia ou *ambientalizadas* são utilizadas em conjunto e têm muitas vezes uma função de estabilização provisória até que a vegetação estabeleça e assuma esta função.

Foram apresentados também, os principais métodos multicriteriais e estudos ambientais mais recentes que utilizaram estes métodos, e que são referências para este estudo.

Os capítulos seguintes apresentam os resultados da pesquisa, tais como indicadores propostos, avaliação da metodologia, aplicação em estudo de caso e conclusões.

4 METODOLOGIA E INDICADORES PROPOSTOS

4.1 Considerações iniciais

A revisão da literatura permitiu tomar conhecimento das técnicas disponíveis para o tratamento de cursos de água, compreendendo desde materiais, método executivo, aplicabilidade, limitações de uso até custos de implantação e manutenção. Esta etapa do trabalho permitiu avaliar também, quais os fatores mais relevantes para a restauração de cursos de água, ou para a manutenção do seu equilíbrio geomorfológico, hidrológico e ecológico, bem como os cuidados necessários para a manutenção destes sistemas, que envolvem desde a manutenção e monitoramento, até o a conscientização da população. A pesquisa envolveu a análise de trabalhos recentes sobre métodos multicritério para auxílio à decisão aplicados na escolha de opções de projetos ambientais, com ênfase nos relativos à drenagem pluvial e fluvial. Por fim os métodos multicriteriais e exemplos de aplicação constituíram outro tópico importante da revisão da literatura.

A metodologia desenvolvida para avaliação das alternativas de intervenções em cursos de água baseou-se em uma avaliação do tipo desempenho-custo, utilizando indicadores de desempenho e um indicador de custos, o qual compreende custos de implantação, manutenção e operação dos sistemas em análise.

As referências principais deste estudo foram os trabalhos desenvolvidos por Moura (2004) e Cardoso (2008), que tiveram por objetivo a proposição de metodologia de auxílio à decisão na escolha de alternativas de sistema de microdrenagem e de intervenções em cursos de água, respectivamente, utilizando métodos multicriteriais.

Moura (2004) apresentou resultados que serão utilizados no desenvolvimento deste estudo, tais como os custos de diversas técnicas tradicionais de intervenção em cursos de água, assim como o sobrepreço aceito pela população e especialistas para que se tenha os benefícios da utilização de técnicas mais integradas ambientalmente.

O trabalho de Cardoso (2008) apresentou uma proposta de avaliação de impacto de projetos de intervenções em cursos de água, para escolha da melhor alternativa. A proposta do presente estudo é ampliar a avaliação feita, promovendo uma revisão dos

indicadores, buscando aumentar a objetividade e aprofundamento da análise feita, porém mantendo o objetivo de trabalhar com indicadores de fácil aplicação, e agregando indicadores de custo à análise.

Antes de proceder à mensuração dos indicadores e à análise proposta é importante dividir o curso de água a ser avaliado em trechos homogêneos. Segundo Simons e Boeters (1998) *apud* Cardoso (2008), muito dificilmente será possível realizar o mesmo processo de intervenção para um trecho de um curso de água como um todo, uma vez que sempre existem diferenças e particularidades entre as suas diversas seções. Portanto, devem ser avaliadas características como uso e ocupação do solo, tipo de seção e revestimento existentes e propostos, variações de declividade do trecho, entroncamento com recebimento de vazão de afluentes, e mesmo os níveis de detalhamento das informações e dos resultados pretendidos.

No presente trabalho, os indicadores de desempenho foram distribuídos em três dimensões: ambiental, sanitária e hidrológica/hidráulica; e os indicadores de custo em: custos de implantação, operação e manutenção.

Cardoso (2011) propôs uma metodologia para construção, avaliação, comparação e seleção de alternativas de intervenção em cursos de água seguindo as etapas apresentadas na Figura 4.1. O presente trabalho compreende as três últimas etapas: avaliação de desempenho e custos, comparação de alternativas e ordenamento das alternativas. As etapas anteriores fazem parte do escopo de uma tese de doutorado em desenvolvimento neste mesmo programa de pós-graduação.

Em concordância com esta proposta, a dimensão social foi excluída da etapa relativa à análise de desempenho e custos das alternativas por integrar as etapas iniciais de avaliação. A dimensão social se enquadra nas etapas de determinação do potencial de restauração e na definição dos objetivos e escopo da intervenção (Figura 4.1). Isto porque, os impactos sociais das intervenções, que estão relacionados principalmente às desapropriações e aos usos atuais ou potenciais do curso de água pela população, serão avaliados em função do enquadramento legal, do uso e ocupação do solo, da infraestrutura existente, ou necessária, e dos objetivos da obra, que são definidos, dentre

outros critérios, em função das necessidades da população e dos impactos causados. Desta maneira, quando forem ser avaliadas as alternativas de intervenções, os impactos sociais já terão sido avaliados e decisivos na definição das alternativas de intervenção viáveis.

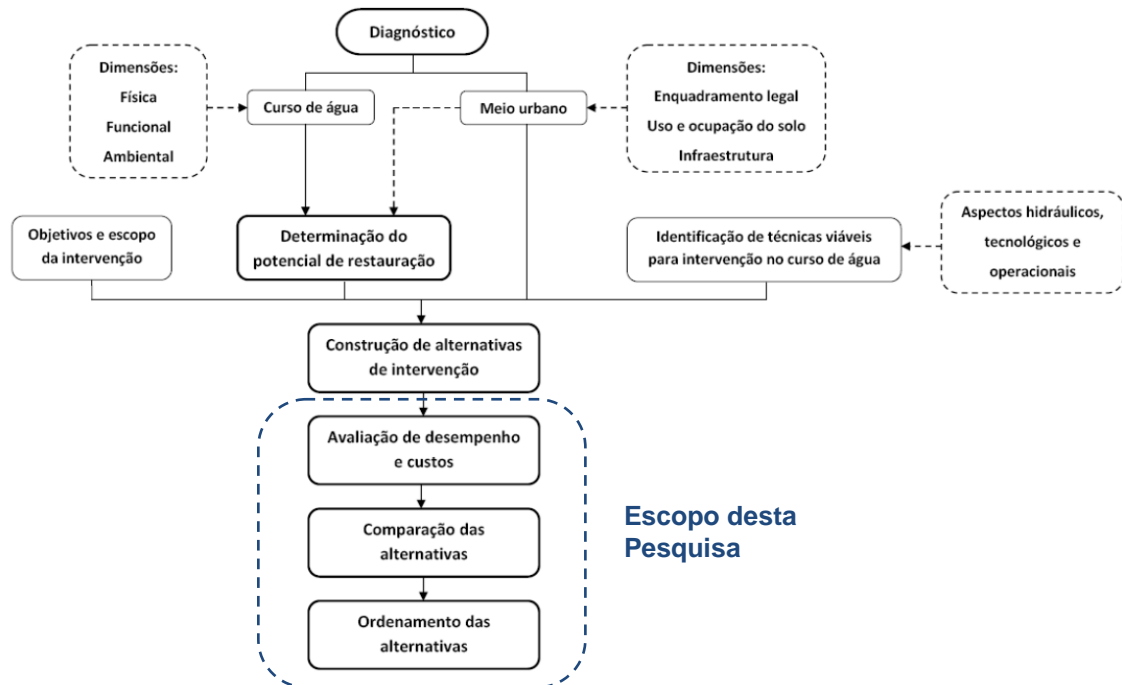


Figura 4.1: Processo de construção, avaliação, comparação e seleção de alternativas de intervenção em cursos de água urbanos (Adaptado de Cardoso, 2011)

Quanto à avaliação de custos das alternativas, o levantamento de custos de implantação, operação e manutenção foi feito por meio de pesquisa de dados disponíveis na literatura, dados do Programa DRENURBS, de instituições e órgãos internacionais que desenvolvem projetos de restauração de rios, e de outras prefeituras, bem como os do trabalho de Moura (2004).

A utilização intensa de referências internacionais se justificou pela inexistência de dados nacionais de custo para algumas técnicas de manutenção ou recuperação da condição natural de cursos de água, que ainda são pouco conhecidas e aplicadas no país. Após o confronto dos custos dos serviços, para os quais foram obtidos dados tanto nas referências internacionais quanto nas brasileiras, verificou-se uma boa aderência entre as respectivas faixas de variação verificadas, o que assegurou a possibilidade de utilização de dados internacionais para técnicas sem referência de custos no Brasil.

Após a definição dos indicadores, foi realizada consulta a técnicos da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte que trabalham em áreas correlatas ao tema da pesquisa, e também a professores e alunos de pós-graduação da UFMG. Esta consulta teve como objetivos avaliar aspectos como pertinência, relevância, redundância e adequação das expressões de cálculo dos indicadores, assim como para o estabelecer peso para os indicadores propostos.

Os pesos dos indicadores foram estabelecidos com base nos pesos obtidos na consulta ao grupo de especialistas, nos pesos do trabalho de Cardoso (2008) e nos pesos dos indicadores de custo de Moura (2004).

Nos itens 4.2, 4.3 e 4.4 são apresentados, respectivamente, os indicadores de desempenho, de custos e os pesos atribuídos aos indicadores.

A etapa seguinte consistiu da agregação dos indicadores pelo método Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution – TOPSIS – de análise multicritério, apresentado no capítulo 3, com obtenção do índice de desempenho.

A análise desempenho-custo foi realizada por meio de um gráfico de Pareto, com representação do índice de desempenho no eixo das ordenadas e do índice de custo no eixo das abscissas. No gráfico de Pareto o analista pode visualizar as alternativas com melhor pontuação e selecionar aquela que melhor atenda às necessidades verificadas.

A escolha do método foi orientada pelos resultados do estudo de Moura *et al.* (2005) que procederam a uma comparação entre os resultados obtidos pela metodologia desenvolvida por Moura (2004), que é baseada no método TOPSIS, e pelo método ELimination Et Choix Traduisant REalité III - ELECTRE III na escolha entre alternativas de sistemas de drenagem em termos de desempenho e custos. Os resultados indicaram que não houve grande variação na ordenação das alternativas e que ambos os métodos são robustos e possuem baixa sensibilidade à variação nos indicadores de custos, nos indicadores de desempenho e seus pesos, em função do perfil dos analistas,

dentre os quais, técnicos de agências ambientais, de prefeituras municipais, consultores e a população.

Devido à similaridade entre o tipo de problema em análise neste estudo com o do trabalho de Moura (2004), definiu-se que seria utilizado o método TOPSIS devido aos bons resultados obtidos e à facilidade de aplicação.

A metodologia foi validada por meio de estudo de caso, de forma a avaliar a aplicabilidade e os resultados da metodologia proposta, os quais são apresentados no capítulo 5. Esta metodologia foi aplicada na bacia do córrego Bonsucesso, por situar-se em Belo Horizonte, facilitando possíveis levantamentos de campo e por já ter sido alvo de diversos estudos, que foram utilizados como fonte de dados secundários.

4.2 Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho visam avaliar os impactos da intervenção sobre as funções fluviais de maior relevância, abrangendo desde a manutenção da sua integridade física e do equilíbrio ecológico até o atendimento às necessidades humanas.

A avaliação será sempre comparativa, portanto os fatores que integram os indicadores são aqueles que permitem discriminar o desempenho de uma alternativa em relação às demais. Ressalta-se que aspectos importantes como diversidade de “habitats” e recarga de aquíferos, apesar de não possuírem um indicador específico, encontram-se avaliados indiretamente por outros indicadores, como os indicadores de mata ciliar e áreas verdes e de integração ambiental.

A Figura 4.2 apresenta os indicadores de desempenho distribuídos nas três dimensões. Optou-se por esta estrutura simplificada para facilitar a avaliação de pesos e mensuração dos indicadores, assim como, evitar redundância.

Os indicadores foram estabelecidos com uma variação de 0 a 1, que segue uma tendência de preferência crescente, sendo 0 a pontuação corresponde ao pior desempenho de uma alternativa quanto a um determinado critério e 1 o melhor desempenho.

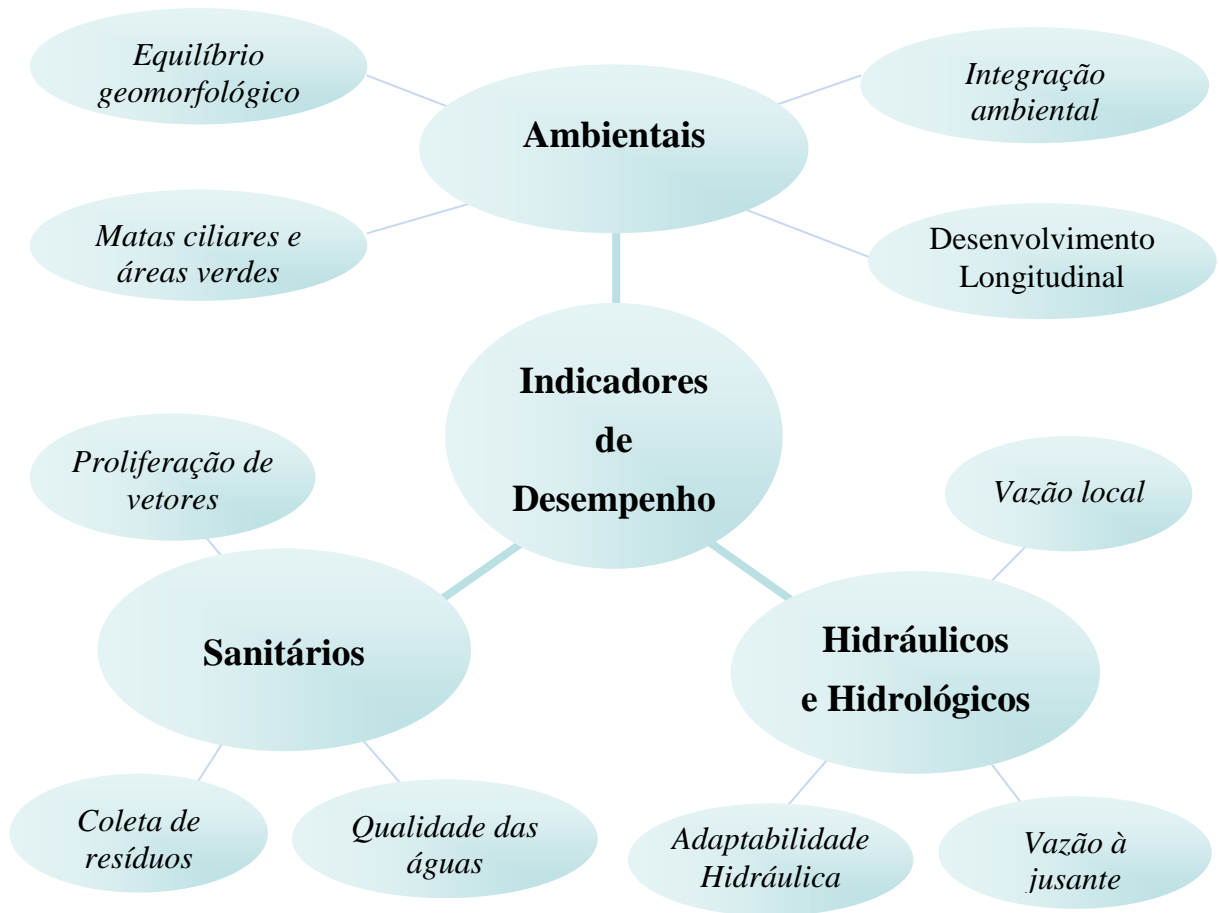


Figura 4.2: Indicadores de desempenho

4.2.1 Indicadores Hidráulicos e Hidrológicos

A manutenção do equilíbrio dos processos ecológicos está intimamente relacionada à variabilidade espaço-temporal das vazões, portanto a manutenção do regime de vazões faz-se necessária. Por outro lado, haverá situações em que o processo de urbanização já se encontra consolidado, com grande área da bacia impermeabilizada, os cursos de água bastante impactados e com ocupação de suas margens, não havendo possibilidade de recuperar o regime de vazões do rio em situação natural. Neste caso devem ser adotadas medidas que reduzam e retardem as vazões de pico através de técnicas compensatórias de drenagem e medidas que reduzam os danos causados pelas inundações. Nesse sentido são apresentados dois indicadores que visam avaliar os impactos das alternativas propostas sobre as vazões de cheia no local da intervenção e a jusante.

Impacto sobre as vazões no local da intervenção

A avaliação da suscetibilidade a inundações pode ser feita pela comparação do tempo de retorno utilizado para dimensionamento da intervenção no canal com o tempo de retorno da chuva com intensidade a partir da qual haveria inundação com danos.

A avaliação mais adequada deve basear-se na determinação do tempo de retorno, $T_{R\text{Inund}}$, a partir do qual as precipitações associadas produzem vazões de pico, que superam a capacidade dos sistemas de drenagem existentes, ocorrendo então as inundações.

Na ausência de estudos hidrológicos e hidráulicos para o trecho em análise que forneçam o valor de $T_{R\text{Inund}}$, a sua determinação pode ser feita em função do tempo de retorno correspondente à vazão de restrição estabelecida por estruturas, como bueiros e pontes, localizadas no trecho em análise ou ao seu final, ou mesmo pela vazão de projeto de um canal existente.

Entretanto, devem ser consideradas duas situações:

- a probabilidade de ocorrer inundações é baixa, sendo o menor tempo de retorno a partir do qual as precipitações provocam inundações muito elevadas, o que propiciaria um investimento muito elevado para um risco pequeno.
- quando o risco associado a inundações de menor tempo de retorno é baixo. O baixo risco pode ser devido às áreas adjacentes ao rio e inundáveis, possuírem baixa densidade demográfica e uso do solo que propiciem baixa vulnerabilidade, como por exemplo, terras utilizadas para práticas agrícolas, que possam ser inundadas sem perda da produção, ou áreas utilizadas para recreação e lazer. O risco será baixo também, para projetos que tenham previsão de remoção de população potencialmente atingida e a construção de parques lineares, propiciando o convívio com as inundações sem necessariamente remodelar a calha e o revestimento do canal, para comportar as cheias que antes causavam danos materiais e vítimas.

Como o risco é função da vulnerabilidade do local e da probabilidade de ocorrência do evento, quando um dos dois fatores é muito baixo tem-se um baixo risco associado, de forma que o indicador nestas duas situações assume o valor um.

Assim, o cálculo dos indicadores assumiu a seguinte forma:

Se o $T_{R\text{ Alt.}} > T_{R\text{ Inund.}}$ $I_{QI} = 1,0$

Se o $T_{R\text{ Alt.}} \leq T_{R\text{ Inund.}}$ $I_{QI} = \frac{T_{R\text{ Alt.}}}{T_{R\text{ Inund.}}}$ (4.1)

Onde:

I_{QI} - Indicador de impacto nas vazões locais, com variação de 0 a 1, conforme Figura 4.2.1.

$T_{R\text{ Alt.}}$ - Tempo de retorno para o qual a alternativa em análise foi dimensionada (T)

$T_{R\text{ Inund.}}$ - Tempo de retorno da cheia a partir da qual se verifica a possibilidade de inundações atingirem áreas comerciais, residenciais ou industriais com possíveis danos materiais e perdas de vidas (T).

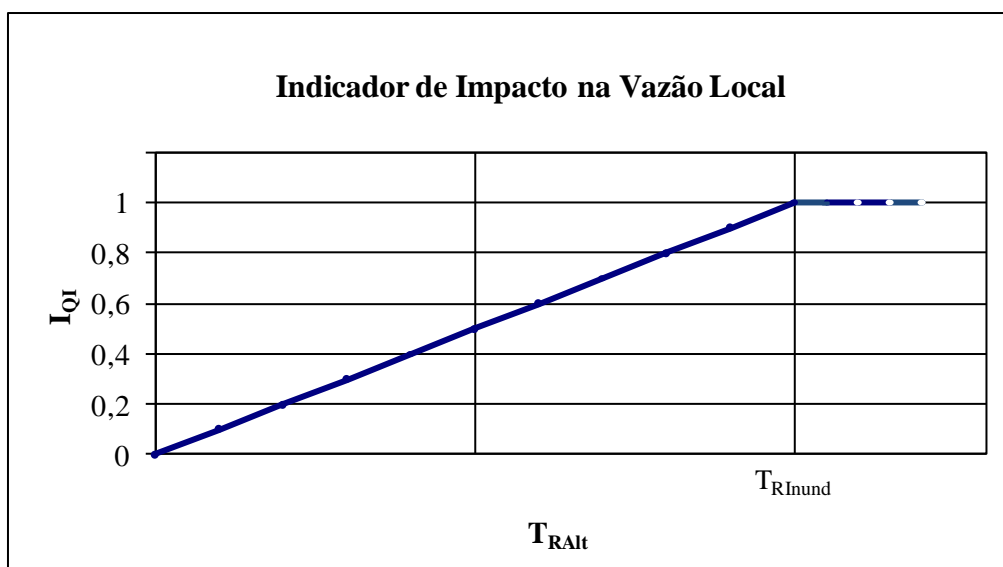


Figura 4.2.1: Variação do indicador I_{QI} em função do tempo de retorno de projeto T_{RAIt}

Impacto sobre as vazões à jusante da intervenção

Este indicador tem o objetivo de avaliar o impacto da intervenção sobre a vazão no trecho a jusante. A avaliação será em função da superação da vazão de restrição (Q_R), e da comparação, no trecho de jusante, entre as vazões de pico atual (Q_a) e a vazão de pico após a intervenção (Q_d). Nesse indicador será avaliada a vazão de restrição para

valores extremos, que é aquela a partir da qual o sistema de drenagem de jusante tem sua capacidade superada. Esta vazão é estabelecida em função das vazões de projeto de estruturas como bueiros, pontes ou canais, ou definida como sendo a vazão correspondente a T_{RInund} . Em alguns casos pode haver determinação do seu valor pelo órgão Gestor de Recursos Hídricos.

A vazão de pico atual deverá ser estimada pela propagação da cheia de projeto no trecho onde será feita a intervenção, utilizando-se os dados da situação do canal antes da intervenção. A vazão de pico após a intervenção será estimada da mesma maneira, considerando as alterações de forma e revestimento implementadas.

A definição deste indicador foi baseada no estudo de Milograna (2009), e assume valores que variam de 0 a 1, conforme Figura 4.2.2, sendo seu valor estimado conforme formulação a seguir:

$$\begin{aligned}
 &\text{Se } Q_d \leq Q_R && I_{QJ} = 1 \\
 &\text{Se } Q_d > Q_R && \\
 &\quad \text{para } Q_d \geq Q_a && I_{QJ} = 0 \\
 &\quad \text{para } Q_d < Q_a && I_{QJ} = 1 + \frac{(Q_d - Q_R)}{(Q_R - Q_a)} \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

Onde:

I_{QJ} – Indicador de impacto nas vazões a jusante, com variação de 0 a 1, conforme Figura 4.2.2.

Q_d – vazão de pico a jusante após a intervenção para o tempo de retorno adotado (L^3T^{-1})

Q_R – vazão de restrição do trecho à jusante da intervenção (L^3T^{-1})

Q_a – vazão de pico a jusante na situação atual para o tempo de retorno adotado (L^3T^{-1})

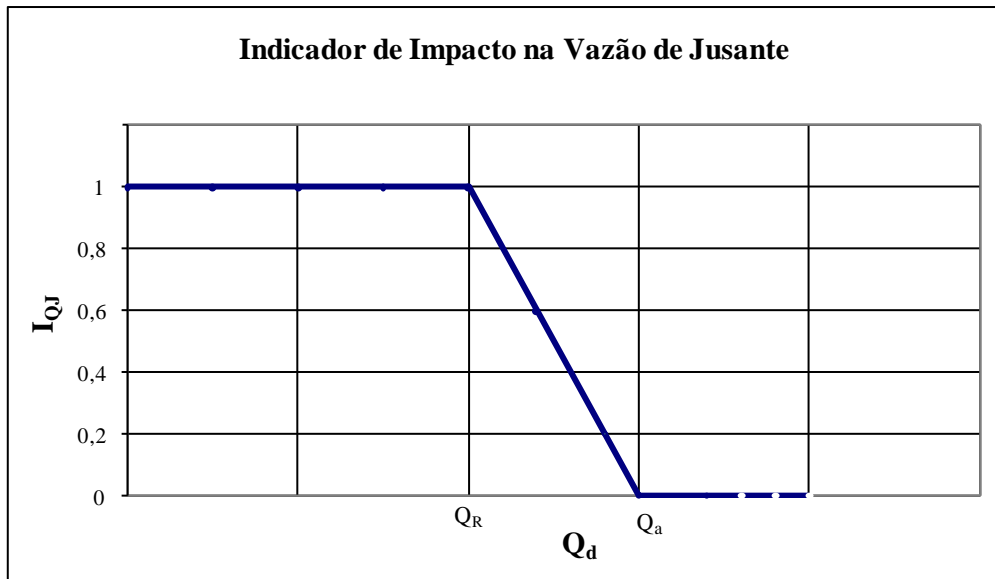


Figura 4.2.2: Variação do indicador I_{QJ} em função da vazão a jusante Q_d

Adaptabilidade Hidráulica

Esse indicador visa avaliar a adaptabilidade da capacidade de vazão do canal em cada alternativa frente a possíveis alterações no ciclo hidrológico, decorrentes do processo de urbanização da bacia e, eventualmente, mudanças no regime de vazões.

Os projetos de intervenções em cursos de água devem ser orientados pela lei de uso e ocupação do solo, construindo cenários de desenvolvimento pleno da área da bacia. Entretanto, existe sempre a possibilidade de mudanças na legislação com alteração da tipologia de ocupação, ou a necessidade de alteração do sistema viário avançando sobre as áreas marginais dos cursos de água, o que pode ocorrer devido ao crescimento populacional e do número de veículos. Por isso entende-se que deve ser considerada a adaptabilidade oferecida por cada alternativa frente a situações futuras imprevisíveis, avaliando a máxima capacidade de escoamento possível de ser atingida com alterações no coeficiente de rugosidade e na geometria da calha diante da disponibilidade de área marginal.

Considerar-se-á que o perfil do leito do curso de água (linha que define as cotas de fundo da calha) de projeto e da máxima seção futura são os mesmos, pois estes dependem do desnível máximo entre as extremidades, havendo pouca flexibilidade para sua alteração. Desse modo, os fatores determinantes da avaliação do indicador serão a máxima área de uma seção retangular, cuja cota de fundo permanece inalterada, e o

menor valor possível para o coeficiente de Manning, que possam ser adotados em uma intervenção futura. Portanto, o indicador terá seus valores majorados na medida em que o projeto proposto possua maior disponibilidade de área nas margens e tenham sido utilizados revestimentos mais rugosos.

Para o cálculo deste indicador será utilizado o conceito de Fator de Condução (Baptista e Coelho, 2002), que corresponde a um coeficiente k que multiplicado pela raiz quadrada da declividade do canal fornece a sua capacidade de vazão. Este fator k é determinado em função da geometria e da rugosidade da seção do canal, conforme Equação 4.3.

$$k = \frac{A^{5/3}}{n \cdot P_s^{2/3}} \quad (4.3)$$

Onde:

A – Área da seção transversal do canal (L^2)

P_s – Perímetro da seção do canal (L)

n – coeficiente de Manning

Portanto, propõe-se que sejam calculados os fatores de condução da potencial seção futura de cada alternativa (k_{Fut}). A mensuração do indicador I_{AH} será então, a razão entre o fator de condução da potencial seção futura de cada alternativa pelo máximo fator de condução verificado entre as alternativas, conforme Equação 4.4.

$$I_{AH} = \frac{k_{Fut}}{k_{Fut-max}} \quad (4.4)$$

Onde:

I_{AH} – indicador de adaptabilidade hidráulica, variando de 0 a 1, conforme Figura 4.2.3.

k_{Fut} – fator de condução da potencial seção futura do canal para a alternativa em análise (L^2)

$k_{Fut-max}$ – maior fator de condução da potencial seção futura, verificado entre as alternativas (L^2)

Pela Figura 4.2.3, pode-se visualizar a variação do indicador de adaptabilidade, quanto maior o fator de condução maior o valor de I_{AH} , que atinge seu valor máximo para a alternativa de maior k_{Fut} .

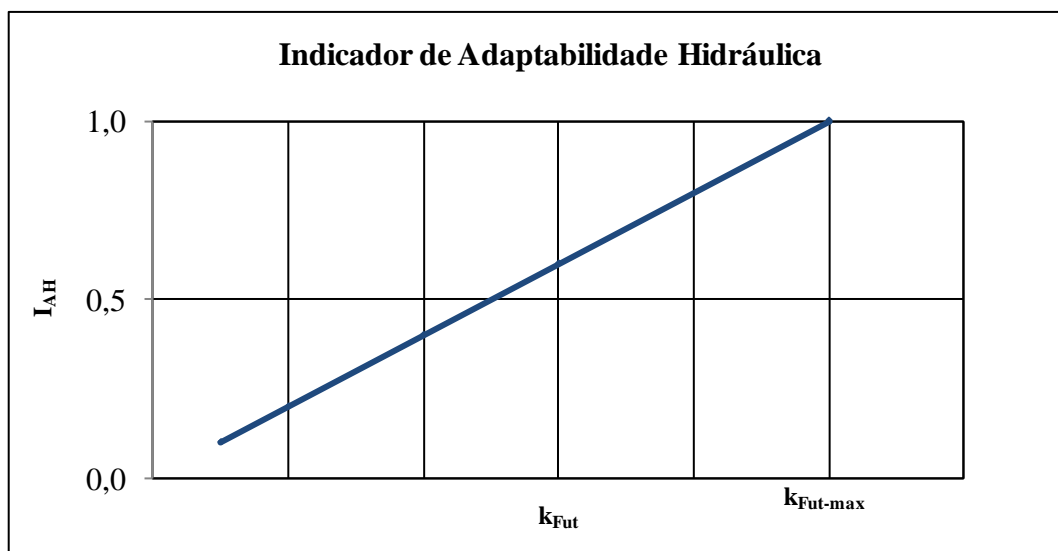


Figura 4.2.3: Variação do indicador I_{AH} em função do fator de condução da potencial seção futura k_{Fut}

Para o cálculo do indicador foram utilizados o perímetro e a área total da seção e não a área e o perímetro molhados efetivos, já que esta simplificação tem impacto irrelevante na avaliação do potencial de incrementos das vazões.

4.2.2 Indicadores Sanitários

A dimensão sanitária tem papel importante na manutenção das funções ecológicas do rio e das condições necessárias à vida humana. Os três aspectos selecionados como de maior relevância nas intervenções em cursos de água foram a existência de coleta de resíduos sólidos, que tem influência na contaminação das águas e obstrução do escoamento pelos resíduos carregados para a calha, a proliferação de vetores de doenças, e a qualidade das águas, impactada principalmente pela poluição difusa, além dos lançamentos de esgoto sem tratamento nos cursos de água.

Existência de coleta de resíduos sólidos domiciliares

O objetivo desse indicador é verificar se a intervenção possibilita a ampliação da coleta de resíduos sólidos, por meio da criação e melhoria de ruas e becos, permitindo o acesso

dos caminhões e garis, ou através do remanejamento de famílias que se localizavam em áreas sem coleta para locais com atendimento pelo serviço, destinando-se as áreas desapropriadas para o escoamento das vazões de cheia, criação de parques lineares ou para infraestrutura urbana, dentre outros usos não residenciais.

Em primeiro lugar, é importante diferenciar três tipos de coleta domiciliar, aquela que é feita porta a porta por caminhão, a que é feita por meio de caçambas e com acesso por carrinhos de mão, e por último a coleta feita por dutos, ainda pouco utilizada no Brasil, na qual há grande redução de mão de obra e a viabilização da coleta em locais de difícil acesso para caminhão. A primeira é efetuada somente em vias pavimentadas e/ou em condições de tráfego, podendo ser efetuada com a utilização de caminhões compactadores ou caminhões baú. A segunda é realizada em áreas onde o caminhão não tem condições de trafegar, ocorrendo principalmente em vilas e favelas. Apesar de a terceira alternativa não ter sido considerada neste estudo por ainda estar distante da realidade brasileira devido aos custos de implantação, caso o analista se depare com um caso concreto com coleta por dutos, a estimativa de domicílios atendidos pode ser feita e o indicador calculado.

Devido à maior necessidade de mobilização e conscientização da população para o adequado funcionamento de sistemas alternativos de coleta de resíduos, e que dificilmente alcançam a totalidade dos moradores, assim como as dificuldades operacionais destes sistemas, considerou-se neste trabalho que a efetividade da coleta realizada por meio de carrinhos de mão e por caçambas não se equipara à coleta porta a porta por caminhões. De maneira que, para esta pesquisa serão consideradas como tendo acessibilidade plena à coleta somente os domicílios que são atendidos por coleta porta a porta por caminhões.

Para a estimativa desse indicador, será estabelecida a área contígua ao curso de água onde serão avaliadas as melhorias de acessibilidade para prestação dos serviços de coleta de resíduos. Analisando as condições das vias antes da execução da intervenção, esta área será delimitada pelo perímetro das primeiras ruas pavimentadas mais próximas ao curso, e em condições de tráfego para os caminhões coletores, que acompanham o canal na extensão que recebeu a intervenção, compreendendo ambas as margens.

Podem ocorrer situações nas quais a área delimitada para avaliação do indicador ultrapasse os limites da bacia do curso de água em análise. Entretanto, mesmo não afetando diretamente o trecho do curso de água em análise, esta área será contemplada na análise do indicador, devido aos reflexos não se restringirem somente ao escoamento do canal, como também na proliferação de vetores, impactando a fauna e flora locais, como também por gerar impacto sobre outros cursos de água.

Na definição deste indicador considerou-se que uma intervenção que vise a melhoria das condições sanitárias, ambientais, hidrológicas e hidráulicas, não pode provocar uma redução da cobertura por coleta de resíduos sólidos, oferecendo sempre melhoria ou, no mínimo a manutenção da condição encontrada. Para o caso de não haver domicílios sem atendimento por coleta antes da intervenção o indicador assume o valor 1,0, e nos demais casos calculado pela equação 4.5.

$$I_{CR} = \frac{(DSC_{Antes} - DSC_{Após})}{DSC_{Antes}} k_{NC} \quad (4.5)$$

Onde:

I_{CR} – Indicador de coleta de resíduos sólidos, variando de 0 a 1, conforme Figura 4.2.4;

DSC_{Antes} – Domicílios sem atendimento por coleta de resíduos sólidos antes da intervenção;

$DSC_{Após}$ – Domicílios sem atendimento por coleta de resíduos sólidos após a intervenção;

k_{NC} – Percentual de domicílios ou de áreas habitadas sem cobertura por coleta de resíduos sólidos domiciliares na bacia.

Na Figura 4.2.4 pode-se visualizar a variação do indicador em função do número de domicílios sem coleta após a intervenção.

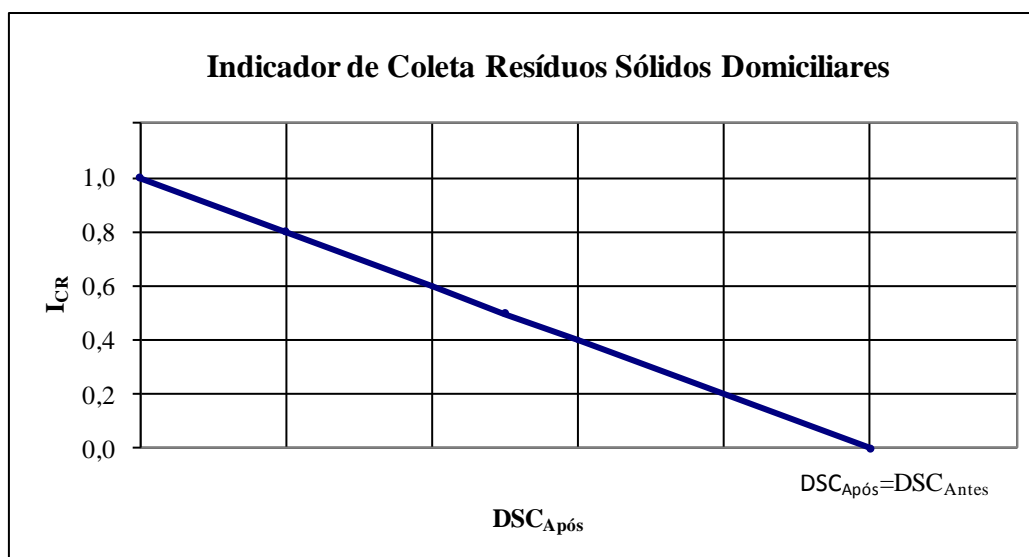


Figura 4.2.4: Variação do indicador I_{CR} em função dos domicílios não atendidos por coleta de resíduos sólidos após a intervenção $DSC_{Após}$

Ressalta-se que para a efetiva adesão da população à coleta de resíduos é necessário um trabalho de educação ambiental e sanitária, porém como este trabalho visa à comparação de alternativas de intervenções em cursos de água, parte-se do pressuposto que o escopo dos projetos envolve as mesmas ações, diferenciando-se apenas no que diz respeito aos aspectos técnicos. Logo, não haverá diferenciação entre as alternativas no que se refere à conscientização dos moradores, ou do poder público, quanto à efetivação da coleta, já que se houver previsão de ações educativas estas estarão presentes em todos os sistemas propostos.

Proliferação de vetores

Para a avaliação do impacto da alternativa na proliferação de vetores, analisou-se somente o aumento ou introdução de criadouros de mosquitos, vetores cuja proliferação recebe maior influência das intervenções em cursos de água, principalmente pela construção de bacias de retenção. Além disso, verifica-se que a dengue tem sido uma das doenças que mais tem preocupado os setores de vigilância epidemiológica de grande parte dos municípios brasileiros. A deficiência dos sistemas de saneamento, propiciando acúmulo de água, tem sido um dos principais fatores de aumento da proliferação do mosquito e da doença.

Por isso serão considerados os reservatórios de água parada naturais ou artificiais como as bacias de retenção, considerando-se como referência para a quantificação do

indicador a área total dos espelhos de água formados. A estimativa do indicador é feita pela equação 4.6.

$$I_{PV} = \left(1 - R \frac{A_E}{A_{E \cdot MAX}} \right) \quad (4.6)$$

Onde:

I_{PV} – Indicador de proliferação de vetores, variando de 0 a 1, conforme Figura 4.2.6

A_E – área do espelho de água formado pela contenção de águas pluviais por bacias de detenção, retenção ou infiltração da alternativa avaliada (L^2)

$A_{E \cdot MAX}$ – maior área do espelho de água dentre as alternativas avaliadas (L^2)

R – Fator de risco associado à bacia do curso de água em análise ou ao município.

Apesar da dengue ter se espalhado por todas as regiões do país, verifica-se que o número de casos é maior em determinadas localidades, portanto esse indicador terá importância proporcional à incidência da doença na bacia do curso de água em análise ou naquele município. Para avaliar o risco destes reservatórios de água parada aumentarem a incidência da disseminação da dengue, foi estabelecido o fator de risco (R) determinado da seguinte maneira:

- municípios que possuam dados confiáveis sobre a população infectada pelo vírus da dengue, e que possa discriminá-los por bacia ou no município, o fator de risco (R) será o percentual da população da bacia, ou do município, infectada pelo vírus nos últimos 12 meses;
- municípios que realizam o monitoramento de ovos do mosquito por meio de armadilhas, o fator de risco (R) será o percentual de armadilhas instaladas na bacia, ou no município, que indicaram presença de ovos do mosquito em um período de 12 meses.
- municípios onde não haja incidência significativa de casos de dengue, ou que não possuam nenhum dos monitoramentos citados, o analista poderá estabelecer um fator de risco (R) por meio da sua própria percepção de risco, utilizando como referência a escala da Figura 4.2.5, ou em função de outros parâmetros monitorados, desde que R varie de 0 a 1, sendo “1” associado ao maior risco.



Figura 4.2.5: Escala do Fator de risco (R)

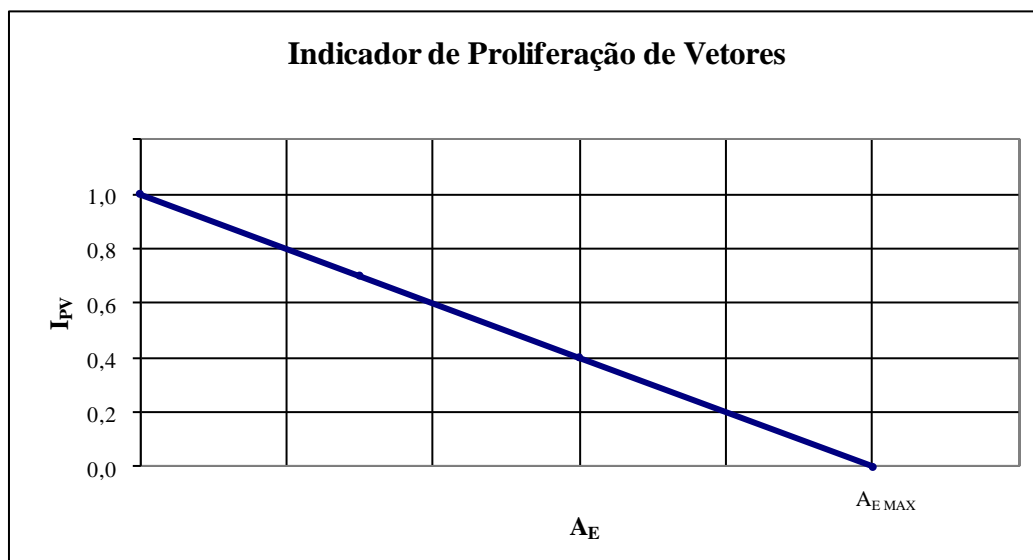


Figura 4.2.6: Variação do indicador I_{PV} em função da área do espelho de água formado A_E

Qualidade das águas

Entre as principais causas de redução da qualidade das águas dos rios estão, a poluição por lançamento de esgoto e a poluição difusa, esta última, devido principalmente à lavagem pela água de chuva de ruas e telhados sobre os quais a poluição atmosférica se deposita, assim como ao descarte de lixo nas ruas e aos resíduos de pneus, gasolina e óleos provenientes dos veículos.

Um projeto que tenha entre seus objetivos a restauração ou manutenção das condições naturais de rios, necessariamente deve tratar da interceptação de esgoto em suas margens. Portanto, considera-se que um projeto de intervenção em um curso de água que justifique uma análise comparativa como a proposta por este estudo, deve incluir entre os seus requisitos mínimos a construção de interceptores em toda a extensão da intervenção.

É importante ressaltar que, dependendo do tipo de ocupação do solo da bacia, especialmente quando há grande extensão da área ocupada irregularmente por vilas e favelas, mesmo com a construção dos interceptores, continuará havendo lançamento de esgoto no curso de água, proveniente de ligações clandestinas. Entretanto, o número de ligações clandestinas não deve variar de uma alternativa de intervenção para outra. Como já considerado anteriormente, ao apresentar as etapas do processo de construção, avaliação, comparação e escolha de alternativas, as áreas a serem desapropriadas são definidas em função dos objetivos da obra, em uma etapa anterior à definição das alternativas, sendo geralmente função da necessidade de área para execução da obra, da estrutura viária e da retirada da população das áreas de risco. Logo, a área desapropriada e urbanizada em função do projeto não deve variar muito de uma alternativa para outra, mas tão somente o uso que será definido em cada arranjo, podendo-se então eliminar da análise comparativa das alternativas de intervenção, o lançamento de esgoto no curso de água.

Deste modo, ao indicador de qualidade das águas atribui-se a avaliação do benefício da utilização de técnicas para a redução da poluição difusa. A estimativa será em função da área de drenagem da bacia para a qual forem utilizadas, na alternativa em análise, técnicas que retenham os poluentes, como “wetlands”, técnicas compensatórias como bacias de retenção e infiltração, poços e trincheiras de infiltração, estações para tratamento das águas fluviais ou pluviais e áreas verdes.

A determinação da eficiência das técnicas compensatórias é complexa, dependendo de diversos fatores agrupados por Baptista *et al.* (2005) em eficiência da interceptação, relacionado à quantidade de água e poluentes efetivamente interceptados pelos dispositivos de drenagem; e à eficiência do tratamento por decantação do próprio dispositivo, já que a redução da poluição por meio destas técnicas baseia-se na decantação dos sólidos suspensos e poluentes a eles associados. O indicador poderá então ser calculado pela equação 4.7.

$$I_{QA} = \frac{A_{TRP} + A_{verdes}}{A_{Bacia}} \quad (4.7)$$

Onde:

I_{QA} – Indicador de qualidade das águas, variando de 0 a 1, conforme Figura 4.2.7

A_{Bacia} – área total da bacia do curso de água (L^2)

A_{TRP} – área da bacia com drenagem pluvial tratada para redução de poluentes, devido à implantação da alternativa em análise (L^2)

A_{verdes} – áreas verdes acrescidas ou recuperadas pela alternativa em análise (L^2)

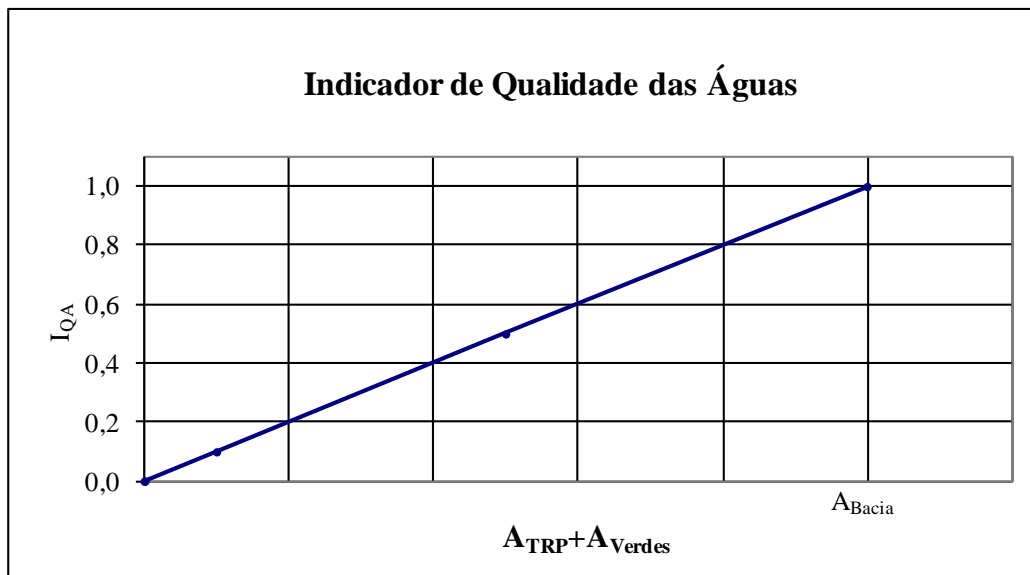


Figura 4.2.7: Variação do indicador I_{QA} em função da área de drenagem atendida com implantação de técnicas compensatórias e com áreas verdes $A_{TRP}+A_{Verdes}$

Devido ao fato de bacias urbanas encontrarem-se geralmente com baixíssimos índices de cobertura vegetal, o indicador proposto I_{QA} deve ser normalizado em função da alternativa que obteve o maior valor para I_{QA} , de forma que o indicador dessa alternativa assumirá o valor 1,0.

Para projetos compreendendo intervenções no curso principal e seus afluentes, ao analisar a intervenção em um trecho com afluentes que já foram avaliados, calcular o indicador considerando somente a área da bacia que não está compreendida nas sub-bacias dos afluentes já avaliados.

4.2.3 Indicadores Ambientais

Desenvolvimento longitudinal

Este indicador tem por objetivo avaliar as alterações de forma do rio em seu sentido longitudinal, ou seja, alterações de sinuosidade e declividade. A alternativa de intervenção mais bem pontuada será aquela que mais se aproximar da configuração do rio em seu estado natural, ou na ausência de registros desse estado, uma situação de referência da qual se tenha registros e que possua o menor grau de alteração.

Para o cálculo deste indicador foi avaliada a redução do comprimento do curso de água que reflete a redução de sua sinuosidade, como também o aumento da declividade, pois qualquer alteração de comprimento compreenderá alteração de declividade.

O indicador calculado pela Equação 4.8 considera ainda, a extensão do curso que não sofreu alterações no posicionamento do seu eixo (L_{SME}) devido à possibilidade do projeto prever a extensão total do curso de água próxima a sua condição natural, porém, com grandes alterações na posição do leito e pequenas retificações, que são de grande impacto na geomorfologia e em processos ecológicos do curso de água.

$$I_{DL} = \frac{L_P + L_{SME}}{2L_N} \quad (4.8)$$

Onde:

I_{DL} – Indicador de desenvolvimento longitudinal, com variação de 0 a 1, conforme Equação 4.8 e Figura 4.2.8.

L_P – Extensão do rio após implantação da intervenção (L)

L_N – Extensão do trecho do rio em análise na situação natural ou de referência (L)

L_{SME} – Extensão total dos trechos projetados que não sofreram alteração no posicionamento do eixo longitudinal (L)

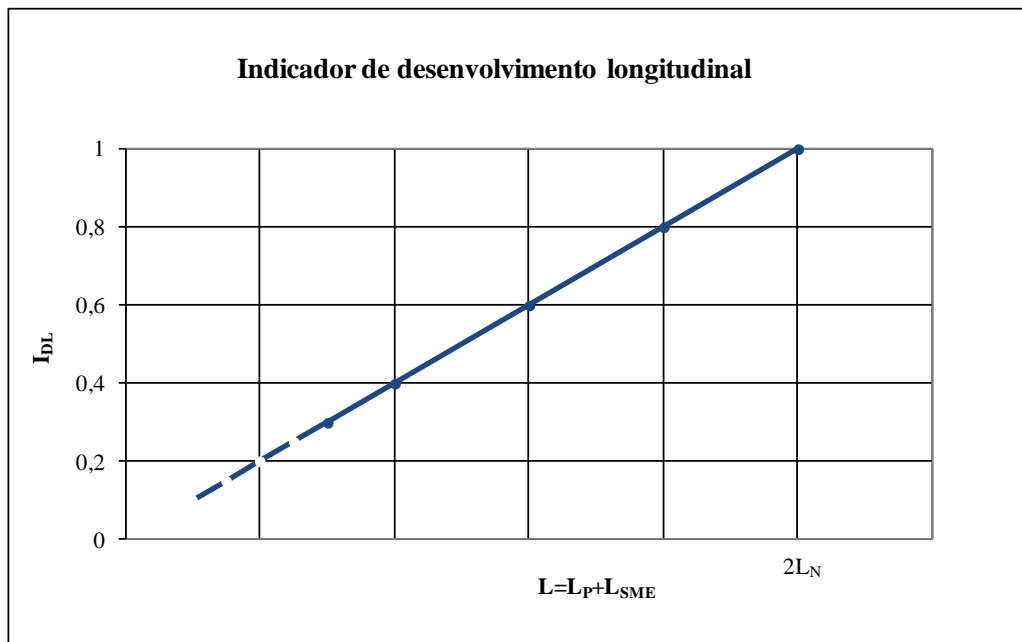


Figura 4.2.8: Variação do indicador I_{DL} em função da soma da extensão do trecho e da extensão sem mudança de eixo após a intervenção L_P+L_{SME}

Equilíbrio geomorfológico

A condição de equilíbrio geomorfológico pode ser avaliada de forma simplificada como aquela em que há um equilíbrio entre o aporte de sedimentos e a capacidade de transporte do rio. A velocidade do escoamento deverá situar-se entre a velocidade máxima, a partir da qual, tem-se a erosão do canal e a velocidade mínima, abaixo da qual há tendência à sedimentação e ao assoreamento.

A velocidade máxima permitível será função do tipo de solo e do revestimento do leito conforme Tabela 4.2.1.

A velocidade mínima pode ser fixada pelo tipo de solo local, sendo esta a menor velocidade a partir da qual se inicia o processo de deposição de sedimentos e assoreamento do rio. Segundo Przedwojski (1994) a velocidade mínima para rios com predominância de sedimentos provenientes de solo siltoso é de 0,3m/s, e varia entre 0,3 a 0,4 m/s para escoamento com carreamento de areia fina. Baptista e Coelho (2002) apresentam 0,6m/s como velocidade mínima usualmente recomendada para que não haja deposição de sedimentos.

Tabela 4.2.1: Velocidade admissível limite para leito e margens
(Adaptado de Fischenich, 2001)

Categoria	Tipo de revestimento	Velocidade máxima permissível (m/s)
solos	areia fina coloidal	0,4
	areia com solo superficial (não coloidal)	0,4
	silte aluvial (não coloidal)	0,6
	Silte com solo superficial (não coloidal)	0,4 a 0,7
	Solo superficial firme	0,8
	cascalho fino	0,8
	argila mole	0,9 a 1,4
	silte aluvial (coloidal)	1,1
	solo superficial graduado a seixo rolado	1,1
	Silte graduado a seixo rolado	1,2
Cascalho/pedregulho	xisto e solo firme	1,8
	φ24 mm	0,8 a 1,4
	φ40 mm	0,9 a 1,8
	φ142mm	1,2 a 2,3
vegetação	φ304 mm	1,7 a 3,7
	grama classe A	1,8 a 2,4
	grama classe B	1,2 a 2,1
Manta biodegradável (biomanta)	grama classe C	1,1
	manta de juta	0,3 a 0,8
	manta com palha	0,3 a 0,9
“Rip-rap” ²	manta de fibra de coco	0,9 a 1,2
	d ₅₀ 142mm	1,4 a 3
	d ₅₀ 229mm	2,1 a 3,3
	d ₅₀ 304mm	3 a 4
	d ₅₀ 447mm	3,7 a 4,9
Métodos de bioengenharia	d ₅₀ 610mm	4,3 a 4,4
	rolo de fibra de coco	2,4
	colchão de fibra de coco vegetado	2,9
	colchão de galhos (estágio inicial)	1,2
	colchão de galhos (vegetado)	3,7
	faxina	1,8 a 2,4
Técnicas rígidas	estacas vivas	0,9 a 3
	gabião	4,3 a 4,7
	concreto	>4,4

² d₅₀ – diâmetro mediano do material utilizado, ou seja, 50% dos blocos possuem diâmetro inferior a d₅₀.

Na ausência de dados específicos para o curso de água em análise, pode ser adotado o limite inferior de 0,5m/s para a velocidade do escoamento e a velocidade máxima definida com base nos valores apresentados na Tabela 4.2.1.

Verifica-se na Tabela 4.2.1 para alguns padrões de revestimentos das calhas que a velocidade máxima admissível é inferior à velocidade mínima a partir da qual ocorre sedimentação, como por exemplo os canais com solo exposto em areia fina coloidal e areia com solo superficial não coloidal. Nessas situações verifica-se grande instabilidade das margens, pois para qualquer valor de velocidade estabelecido haverá sedimentação ou erosão, de forma que não se recomenda a utilização destas soluções, as quais são apresentadas somente para efeito de comparação.

O indicador de equilíbrio geomorfológico I_{EG} será definido avaliando se a velocidade de projeto (V) situa-se dentro dos limites de velocidade para os quais o canal mantém-se estável. A definição do indicador de equilíbrio geomorfológico - I_{EG} será gráfica, utilizando-se as velocidades limites para o curso de água em análise, obtidos em ensaios, ou as velocidades $V_{min}=0,5$, V_1 e V_2 definidas pela Tabela 4.2.1, para definir o gráfico a ser utilizado, no qual:

- V_{min} – velocidade mínima admissível, para que não ocorra sedimentação ($L.T^{-1}$)
- V_1 – velocidade máxima admissível, limite inferior da faixa definida na Tabela 4.2.1 ($L.T^{-1}$)
- V_2 – velocidade máxima admissível, limite superior da faixa definida na Tabela 4.2.1 ($L.T^{-1}$)

Este gráfico terá a forma apresentada na Figura 4.2.9, quando o limite superior da velocidade for definido por uma faixa de valores, e terá a forma da Figura 4.2.10, no caso de possuir o limite superior de velocidade definido por um único valor.

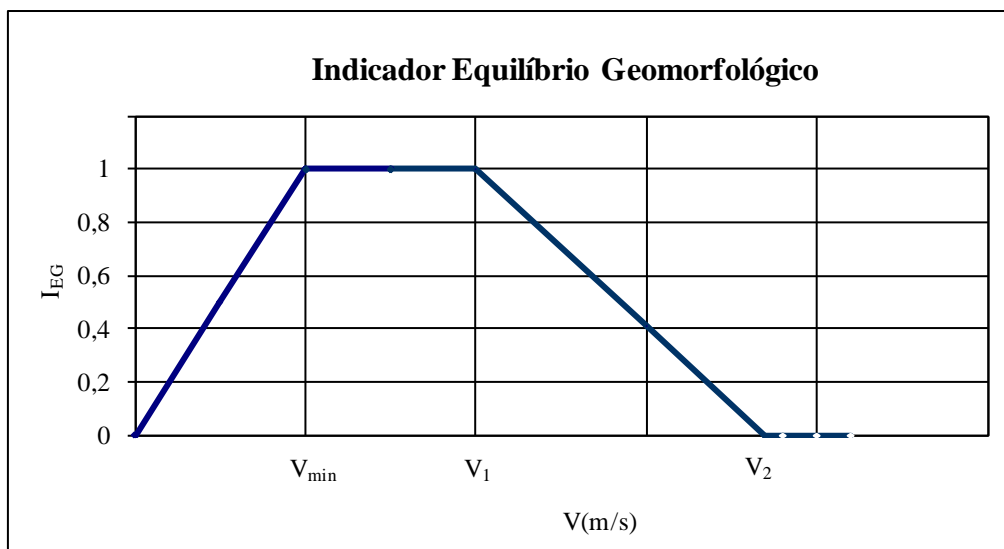


Figura 4.2.9: Variação do indicador I_{EG} em função da velocidade de escoamento $-V-$, para revestimentos cuja velocidade máxima admissível foi definida por uma faixa de valores

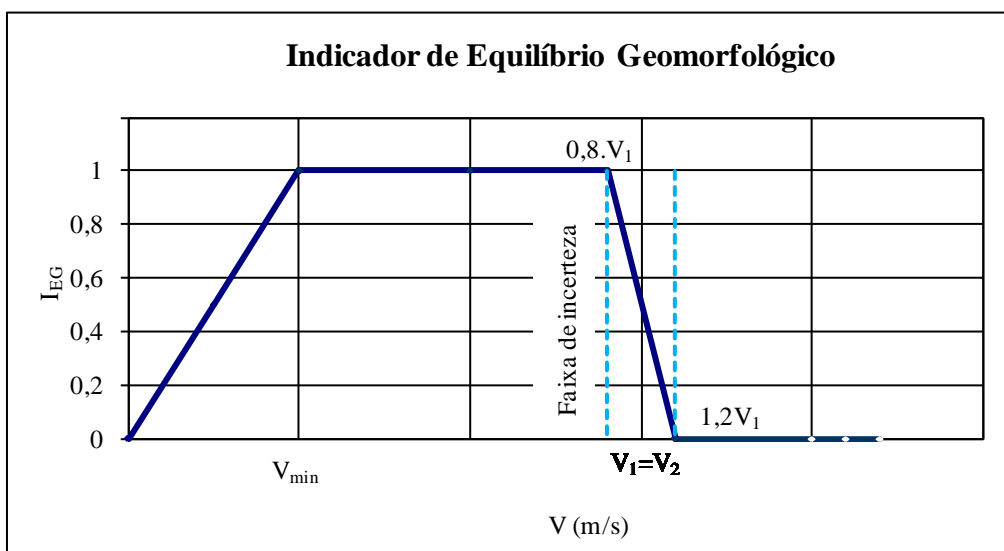


Figura 4.2.10: Variação do indicador I_{EG} em função da velocidade de escoamento $-V-$, para revestimentos cuja velocidade máxima admissível foi definida por um único valor

Devido às incertezas embutidas na definição dos valores apresentados na Tabela 4.2.1, tomando como referência o fator de segurança sugerido por Fischenich (2001) de 1,2 para a definição da velocidade máxima de projeto em função da Tabela 4.2.1, considerou-se uma faixa de incerteza de 20% acima e 20% abaixo na definição da velocidade máxima admissível. Dentro da faixa de incerteza indicada na Figura 4.2.10, o analista, caso possua informações adicionais, pode alterar a função proposta,

estabelecendo a curva mais adequada ao curso de água em análise e ao material utilizado.

Após a construção do gráfico $I_{EG} \times V$, específico para o curso de água em análise, o analista deverá marcar a posição do gráfico onde se encontra a velocidade de projeto (V) no eixo das abscissas e verificar o valor I_{EG} correspondente no eixo das ordenadas.

Exemplo de aplicação: Um curso de água, que recebeu tratamento em faxina e com velocidade de projeto $V=2\text{m/s}$.

$V_{\min}=0,5\text{m/s}$.

$V_1=1,8\text{ m/s}$ e $V_2=2,4\text{ m/s}$, obtidos na Tabela 4.2.1.

Conforme indicado na figura 4.2.11, localizando-se $V=2$ no eixo das abscissas deve-se traçar uma linha vertical até a curva, traçando-se então uma linha horizontal até o eixo das ordenadas de forma a encontrar o valor correspondente do indicador, que neste caso é $I_{EG}=0,65$.

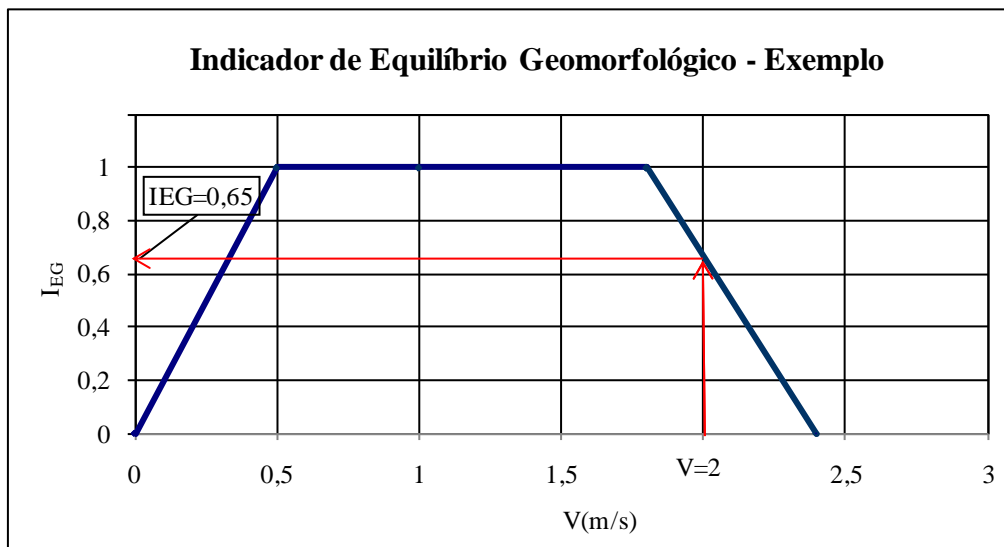


Figura 4.2.11: Exemplo de determinação do indicador I_{EG}

Caso o trecho em análise possua em sua extensão calhas com diferentes tipos de revestimentos o indicador deverá ser definido em função da média ponderada dos valores de I_{EG} pela extensão do trecho, conforme Equação 4.9.

$$I_{EG} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} I_{EGi} \cdot L_i}{\sum_{i=1}^{n_h} L_i} \quad (4.9)$$

Onde:

I_{EG} – Indicador de equilíbrio geomorfológico, variando de 0 a 1, conforme Figuras 4.2.9 e 4.2.10.

n_h – número de trechos homogêneos quanto ao revestimento da calha

L_i – extensão do trecho “i” do curso de água (L)

I_{EGi} - Indicador de equilíbrio geomorfológico do trecho “i”

Mata ciliar e áreas verdes

As áreas verdes têm impacto ambiental importante na manutenção, atração e reinserção de fauna e flora, sobre o aporte de nutrientes ao rio, contribuem para recarga de aquíferos, para o controle do aporte de sedimentos ao rio e manutenção da temperatura da água pelo sombreamento.

O indicador proposto visa avaliar o restabelecimento ou melhoria do equilíbrio ecológico obtido pelo aumento de mata ciliar e das áreas verdes, assim como o aumento da interceptação e infiltração de águas pluviais.

Assim, define-se o indicador de mata ciliar e áreas verdes de acordo com a cobertura vegetal antes da intervenção e após, em função da situação anterior à intervenção nos casos de haver áreas verdes ou de sua inexistência.

- 1) Para cobertura vegetal antes da intervenção maior que zero, deve ser utilizado o seguinte critério para determinação do indicador:

Se $A_{VAntes} > 0$, I_{AV} é calculado pela equação 4.10.

$$I_{AV} = \frac{A_{VApós}}{(A_{VAntes} + A_{VApós})} k_{AV} \quad (4.10)$$

Onde:

I_{AV} – Indicador de áreas verdes, variando de 0 a 1, conforme Figura 4.2.12

$A_{VApós}$ – Área verde após a implantação da intervenção (L^2)

A_{VAntes} – Área verde antes da implantação da intervenção (L^2)

k_{AV} – Fator de relevância das áreas verdes e matas ciliares tratadas ou acrescidas para a bacia, definido na Tabela 4.2.2

Para avaliar situações onde havia áreas verdes degradadas e que sofreram um processo de inserção de novas mudas, não havendo aumento quantitativo de área verde, mas somente aumento qualitativo, propõe-se que ao quantificar a área verde após a intervenção, esta área recuperada seja multiplicada por 1,5, considerando-se que os dois parâmetros, área e tipo de recobrimento vegetal são igualmente importantes.

Com o objetivo de avaliar o aspecto qualitativo das áreas verdes e matas ciliares adicionadas ou recuperadas, foi incluído um fator de relevância (k_{AV}), que visa avaliar os três principais aspectos que definem o potencial benefício da intervenção, que são a conectividade, as espécies introduzidas e a importância da área recuperada para o curso de água e para a bacia.

Para cada um dos três aspectos apresentados na Tabela 4.2.2 deve ser avaliado o valor de k_{AVj} , de acordo com as referências apresentadas. Portanto será obtido um valor de k_{AVj} para cada um dos aspectos, conectividade, espécies utilizadas e relevância da área tratada para o curso de água ou bacia. O fator k_{AV} a ser utilizado nas equações 4.10 e 4.11 será a média aritmética destes três valores adotados. Como este fator k_{AV} visa somente diferenciar ações de menor ou maior impacto, k_{AVj} deve ter valores que variem de 0,1 a 1.

$$\begin{aligned}
 &\text{Para } A_{V\text{Após}} = 0 && I_{AV} = 0 \\
 &\text{Para } A_{V\text{Após}} > 0 && I_{AV} = \frac{A_{V\text{Após}}}{(A_{V\text{Após}})_{\text{Max}}} k_{AV} \quad (4.11)
 \end{aligned}$$

Onde:

I_{AV} – Indicador de áreas verdes, variando de 0 a 1, conforme equações 4.11 e Figura 4.2.13

$A_{V\text{ApósMax}}$ – Máxima área verde após a implantação da intervenção, dentre as alternativas (L^2)

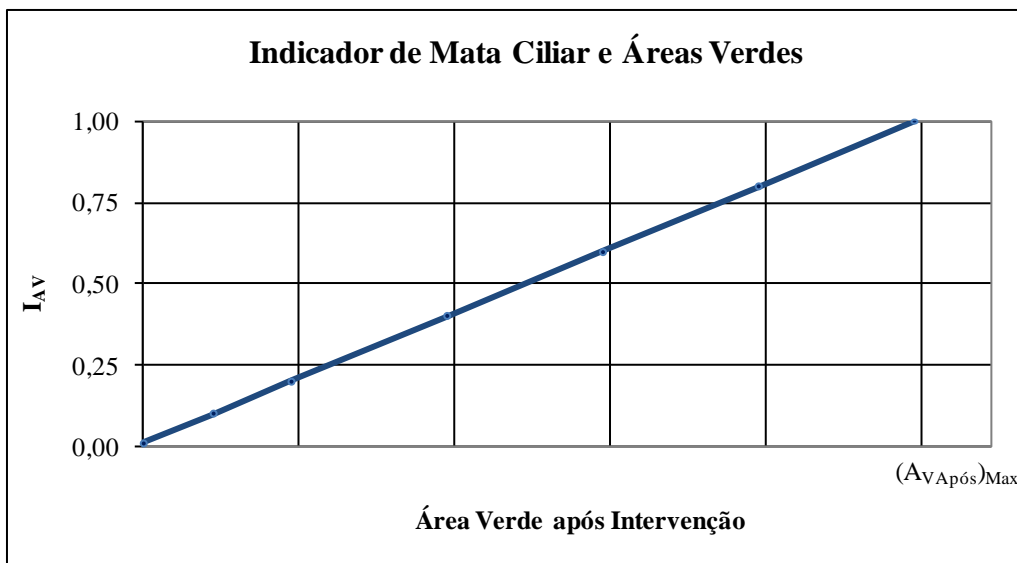


Figura 4.2.13: Variação do indicador I_{AV} em função das áreas verdes após a intervenção, para bacias com $A_{V\text{Antes}} = 0$

Integração Ambiental

As intervenções em cursos de água podem ter características que permitam ou não a sua integração aos ecossistemas, buscando-se assim, avaliar o quanto a intervenção interfere nas funções e interrelações do curso de água, tais como o fluxo entre o rio e o lençol freático, a alteração da paisagem pela artificialização da seção do rio, redução do coeficiente de rugosidade do rio, que ocasiona aumento da velocidade e redução da diversidade de “habitats”, alteração da temperatura e do aporte de nutrientes pela eliminação ou redução da vegetação das margens, etc.

O indicador proposto pode ser calculado pela Equação 4.12.

$$I_{IA} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} k_i \cdot L_i}{\sum L_i} \quad (4.12)$$

Onde:

I_{IA} – Indicador de integração ambiental, variando de 0 a 1, conforme Figura 4.2.14.

n_h – número de trechos homogêneos quanto ao padrão de técnicas aplicadas e forma da seção

L_i – extensão do trecho “i” do rio (L)

k_i - Coeficiente de integração ambiental do trecho “i”, de acordo com a Tabela 4.2.3.

Os valores de k apresentados na Tabela 4.2.3 são uma referência para o analista, que para casos não contemplados nesta tabela, poderá adotar valores de k que mais se ajustem ao comportamento da técnica utilizada.

Caso seja adotada a seção mista, adota-se a média ponderada dos coeficientes pelo perímetro, exceto no caso de presença insignificante de determinados materiais em apenas alguns pontos do trecho em análise, utilizando-se neste caso, o coeficiente da tipologia predominante.

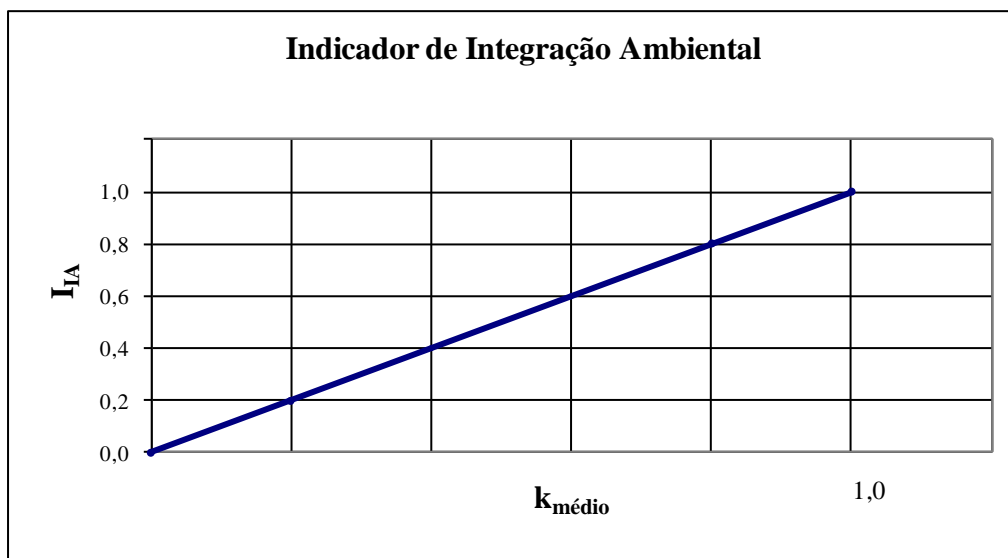

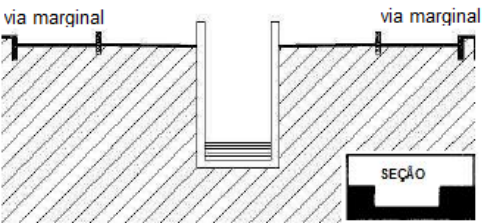

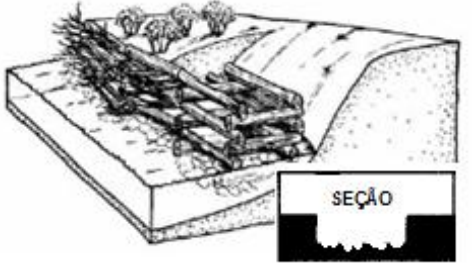
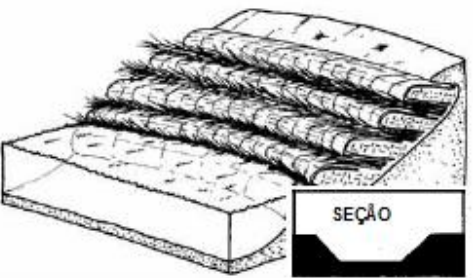
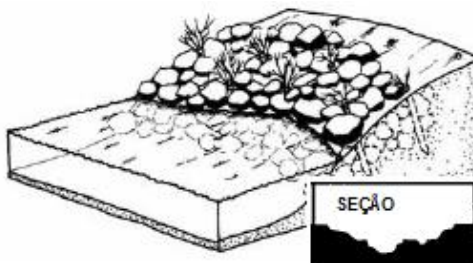
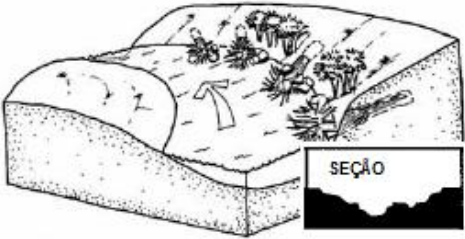
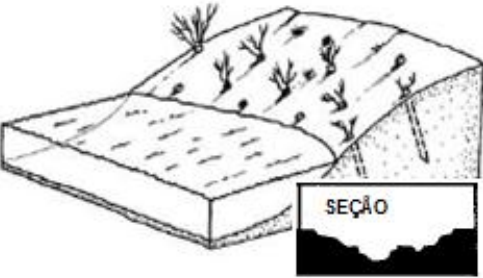


Figura 4.2.14: Variação do indicador I_{IA} em função do coeficiente de integração ambiental $k_{médio}$

Tabela 4.2.3: Indicador de Integração Ambiental - Valores do coeficiente de integração ambiental

Tipo	k	Características	Geometria e aspectos típicos	Exemplos
Estabilização rígida e não permeável com canalização em seção fechada.	0	Compreende as galerias em concreto armado, com total exclusão do curso de água do tecido urbano, não havendo interação com lençol freático e outros processos ecológicos, bem como a supressão do seu uso pelo homem para fins de lazer, recreação, pesca, etc.		Galerias.
Estabilização rígida e não permeável de margens.	0,1	Compreende revestimentos que alteram a seção transversal e reduzem as irregularidades do leito e/ou margens com aumento da velocidade do escoamento e interrupção do fluxo entre o canal e o lençol freático.		Canais com revestimento em concreto, pedra de mão argamassada, gabião com revestimento impermeabilizante, etc.
Estabilização rígida e não permeável de margens, porém com áreas verdes nas marginais.	0,2	Compreende revestimentos que alteram a seção transversal e reduzem as irregularidades do leito e/ou margens com aumento da velocidade do escoamento e interrupção do fluxo entre o canal e o lençol freático.		Canais com revestimento em concreto, pedra de mão argamassada, gabião com revestimento impermeabilizante, com parques lineares ou áreas verdes nas margens.

Tipo	k	Características	Geometria e aspectos típicos	Exemplos
Estabilização rígida e permeável de margens.	0,3	Revestimentos com função estruturante na estabilização das margens e permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático, porém há grande movimentação do solo das margens. Possuem elevado coeficiente de rugosidade e permitem o crescimento de vegetação em seus interstícios, porém produzem grande alteração da forma da seção transversal.		Canal revestido com gabião tipo caixa ou “cribwall”.
Estabilização rígida e permeável de margens com áreas verdes nas marginais.	0,4			Canal revestido com gabião tipo caixa ou “cribwall”, com parques lineares ou áreas verdes nas áreas marginais.
Estabilização flexível e permeável de margens.	0,5	Revestimentos que permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático, porém, com alteração da seção transversal e proteção dos taludes com vegetação, gabião colchão ou solo reforçado. Há grande movimentação do solo e redução do coeficiente de rugosidade, podendo-se associar o uso de biomantas, que auxiliam na proteção das margens e permitem o desenvolvimento de espécies vegetais.		Canal trapezoidal com solo reforçado, gabião colchão ou com revestimento em grama ou outras espécies vegetais.
Estabilização flexível e permeável de margens, com áreas verdes nas marginais.	0,6			Canal trapezoidal com solo reforçado, gabião colchão ou revestido com grama, com parques lineares ou áreas verdes nas marginais.
Estabilização rígida e permeável de margens, com maior possibilidade de adaptação à forma natural da seção transversal do rio.	0,7	Revestimentos que permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático, assim como estabilização das margens com maior adaptabilidade à seção natural do rio, possuindo alto coeficiente de rugosidade e possibilidade de crescimento de vegetação.		Canal em enrocamento, gabião saco.
Estabilização rígida e permeável de margens, com maior adaptação à forma natural da seção transversal do rio, com áreas verdes nas marginais.	0,8			Canal em enrocamento, gabião saco, com parques lineares ou áreas verdes nas marginais.

Tipo	k	Características	Geometria e aspectos típicos	Exemplos
Estabilização flexível de margens com manutenção da permeabilidade e irregularidades das margens, porém com necessidade de escavação das margens.	0,9	Compreendem as intervenções que acrescentam ou mantêm as irregularidades no leito e/ou margens como depressões, galhos e vegetação, aproximando-se da situação natural. Permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático e estabilizam as margens com materiais naturais, porém que exigem escavação das margens, necessitando em alguns casos, a utilização de equipamentos. Estas técnicas são geralmente utilizadas onde o curso e sua área de entorno estão mais preservados.		Intervenções localizadas para contenção de focos erosivos com troncos, pedras e vegetação, como “rootwads” e faxinas.
Estabilização flexível de margens com manutenção da permeabilidade e irregularidade das margens, sem a necessidade de escavação.	1,0	Compreende intervenções que introduzem alterações mínimas na seção natural, utilizando materiais naturais, como biomantas, galhos, estacas e mudas para proteção e estabilização das margens até que a vegetação se estabeleça. Há manutenção do fluxo entre o canal e o lençol freático e as demais funções do curso de água. Estas técnicas são normalmente utilizadas onde o curso e sua área de entorno estão mais preservados.		Canais onde a forma natural da seção transversal foi mantida ou sofreu alterações localizadas para contenção de focos erosivos, com utilização de pequenos troncos ou galhos de árvores, estacas ou mudas, feixes de galhos, etc.

Figuras adaptadas de CWP (2004), Cardoso (2004), Li e Eddleman (2002) e Taylor (2002) e Foto do Boulevard Arrudas (Belo Horizonte) de <http://www.transportes.mg.gov.br>

4.2.4 Avaliação dos indicadores por especialistas

Na etapa de consulta aos especialistas foi solicitado que esses avaliassem a adequação dos indicadores ao tipo de avaliação pretendida por meio de questionário, conforme modelo do Apêndice II. Os indicadores apresentados nos itens 4.2.1 a 4.2.3 incorporaram os comentários e sugestões pertinentes, apresentando-se neste item resumidamente os resultados da consulta e sua análise.

Houve sugestões gerais quanto ao limite de avaliação dos indicadores, um especialista sugeriu avaliar indicadores no âmbito da bacia e outro no âmbito do curso de água, e um que sugeriu realizar a análise qualitativa de alguns indicadores. As demais sugestões e comentários para cada indicador são apresentados a seguir.

Considerações:

Apesar do ciclo hidrológico estar relacionado a interferências na bacia, para o tipo de análise proposta, que está focada no curso de água, avaliando alternativas de intervenções, a avaliação deve se restringir ao tipo de interferência que a intervenção irá produzir. Os aspectos avaliados fora do curso de água, se limitam à área da bacia que foi impactada pelo projeto, como no caso da coleta de resíduos sólidos e do uso de técnicas de controle da poluição difusa das águas pluviais.

1 - Inundação ou impacto sobre as vazões locais

- Não houve sugestão de alterações.

2 – Inundação ou impacto sobre as vazões à jusante

- Não houve sugestão de alterações.

3 - Adaptabilidade hidráulica

- Não houve sugestão de alterações.

4 - Existência de coleta de lixo

- A coleta de lixo não tem relação com a intervenção do curso de água, mas com o planejamento da bacia, portanto deveria ser eliminado;
- Considerar somente melhoria de acessos que estejam dentro da bacia do curso de água.

Considerações:

A intervenção pode melhorar ou criar vias que permitam o acesso à residências que antes da intervenção não eram atendidas pelo serviço de coleta.

Os impactos devido a inexistência de coleta não se restringem ao local onde não há coleta, pois vetores podem se deslocar para pontos fora da bacia e de qualquer forma estes resíduos irão impactar outros cursos de água.

5 - Proliferação de vetores

- Avaliar outros fatores como tipo de revestimento, qualidade da água.
- Se apenas uma alternativa criar um espelho de água, como o indicador poderá ser quantificado para as alternativas sem espelho.
- Introduzir avaliação de casos de internação por doenças de veiculação hídrica;
- Considerar o índice de ovos infectados pela dengue a partir de armadilhas instaladas pela prefeitura.
- Avaliar a possibilidade de inclusão de proliferação de roedores, moluscos e aracnídeos.

Considerações:

A avaliação do tipo de revestimento e qualidade da água são contemplados por outros indicadores. Roedores estão mais relacionados à presença de resíduos sólidos e esgoto e moluscos possuem monitoramento deficiente, sendo difícil a sua avaliação, como por exemplo, a esquistossomose que possui monitoramento com pequena cobertura territorial no estado e falhas nas séries históricas.

As demais sugestões foram incorporadas.

6 - Qualidade das águas

- Avaliar sistemas de tratamento como “wetlands”, estações de tratamento, dispositivos de retenção de resíduos nos dispositivos da microdrenagem.
- Avaliar microrreservatórios para detenção no ponto de geração das águas pluviais.
- As técnicas compensatórias deveriam ser consideradas como implantadas para todas as alternativas.
- Avaliar o impacto causado pelas áreas verdes.

Considerações:

Os microrreservatórios geralmente não são contemplados em projetos de macrodrenagem, e as técnicas compensatórias podem ser adotadas em uma alternativa e em outras não, como por exemplo, a utilização de bacias de retenção.

As demais sugestões foram incorporadas.

7 – Desenvolvimento longitudinal

- Considerar a declividade no cálculo do indicador.
- A obtenção do L_N pode ser muito difícil.

Considerações:

A declividade está implícita no cálculo do indicador, pois alterações de extensão produzem alterações de declividade. Sobre a dificuldade de L_N é prevista a utilização das informações disponíveis e não obrigatoriamente a extensão em condição prístina.

8 - Equilíbrio geomorfológico

- Inserir no cálculo do indicador o desenvolvimento longitudinal e a forma da seção;
- O ideal é utilizar dados do curso em análise, ou regionalizados, pois referências internacionais podem não refletir o comportamento de rios da nossa região.

Considerações:

O desenvolvimento longitudinal e forma da seção são avaliados em indicadores específicos. Quanto à utilização de dados locais, foi feita a previsão de utilização destes sempre que disponíveis e os dados da tabela apresentada na sua ausência.

9 - Mata ciliar e áreas verdes

- Avaliar continuidade de matas;
- Conectividade da calha;
- Incluir uma forma de avaliar de forma diferenciada alternativas de redução de vegetação, proporcional à área reduzida;
- Seria melhor avaliar a área verde após em relação à área possível de ser revegetada.
- Avaliar com maior pontuação a extensão longitudinal, ao invés de avaliar somente área total. Faixas verdes mais estreitas, mas que se estendam por toda a

extensão do trecho em estudo (em ambas as margens) podem ser mais interessantes que apenas uma faixa mais larga (e maior em termos de metros quadrados) em apenas uma pequena extensão de uma das margens do curso de água.

Considerações:

As sugestões foram incorporadas.

10 - Integração ambiental

- Considerar a presença de vegetação marginal;
- Sinuosidade e forma da seção (proporção largura pela profundidade) podem ser importantes nesta avaliação.

Considerações:

Sinuosidade e forma da seção são avaliadas em outros indicadores. A presença de vegetação marginal foi incorporada à avaliação.

4.3 Indicadores de custos

A avaliação dos custos envolvidos em uma intervenção em curso de água é um aspecto decisivo na escolha da melhor alternativa de projeto, já que diante da escassez de recursos e da necessidade de atendimento da população com outros serviços essenciais como saúde e educação, a viabilidade econômico-financeira deve ser verificada. Nesta análise devem ser avaliados além dos custos de implantação, os custos de manutenção e operação que serão despendidos durante toda a vida útil da intervenção.

Dentre os principais fatores que influenciam os custos de restauração de cursos de água citados por Welmman (2000) e Bair (2000) destacam-se a possibilidade de economia de escala, tipo de restauração pretendida, o potencial de restauração do rio, o projeto de restauração e técnicas utilizadas, simultaneidade da construção com usos múltiplos, acessibilidade ao local a ser tratado, disponibilidade de material, o prazo de execução, forma de contratação e o projeto de gerenciamento.

Estes fatores determinam grande variabilidade quanto aos custos de intervenções em cursos de água, especialmente para as técnicas *ambientalizadas*, de maneira que os custos apresentados neste trabalho devem ser avaliados considerando-se as

especificidades locais. De modo a permitir uma maior amplitude de aplicação das referências apresentadas, buscou-se oferecer para as técnicas ambientalizadas uma referência por faixa de valores, de forma a facilitar o enquadramento da obra em avaliação.

Os custos a serem avaliados neste trabalho compreenderam os custos de implantação, manutenção e operação, que são apresentados nos itens seguintes.

4.3.1 Custos de desapropriação

Os custos de desapropriação são dependentes de diversos fatores, tais como, área e padrão das benfeitorias/edificações e localização do imóvel, havendo variação de preço entre bairros ou regiões, ou até mesmo dentro de um mesmo bairro. O momento econômico é outro fator determinante da flutuação ou estabilidade dos preços dos imóveis, de acordo com a estabilidade e desenvolvimento econômico, ou períodos de crise. O estabelecimento de uma referência para estimativa dos custos relativos à desapropriação teria que ser restrito uma região ou bairro e envolveria alto grau de incerteza.

Deve-se considerar também que, independente do tipo de intervenção a ser adotada, as residências e outras edificações que se situem em áreas de risco, assim como terrenos que se situem na área reservada para o curso de água e áreas adjacentes necessárias para sua proteção deverão ser desapropriados. De forma que, para a avaliação das alternativas, não serão considerados os custos relativos às desapropriações devido à complexidade de sua determinação e pequena variabilidade entre as alternativas a serem adotadas. Entretanto, para o caso específico em que haja diferença significativa entre as áreas a serem desapropriadas, o analista pode fazer a sua estimativa de custos com base em pesquisa de valores de imóveis na região e adicionar estes custos aos de implantação, manutenção e operação.

Da mesma maneira, custos de outros serviços ou estruturas auxiliares que venham a ser adotadas no caso específico em análise, e que não tenham sido contemplados nas referências apresentadas, podem ter seu custo levantado por outras fontes e serem adicionados aos custos propostos neste estudo.

4.3.2 Custos de implantação, manutenção e operação

A avaliação do custo de uma obra fluvial deve levar em consideração, além da desapropriação, os custos relativos à implantação da obra, à manutenção e operação durante toda a sua vida útil. As parcelas dos custos de operação e manutenção são o Valor Presente Líquido (VPL) dos custos anuais, Equação 4.13, atualizadas através de uma taxa de desconto, considerando a vida útil da intervenção em análise.

$$VPL = \sum_{t=1}^N \frac{R}{(1+i)^t} \quad (4.13)$$

Onde:

- VPL - valor presente líquido, em unidades monetárias (Real);
- R - montante a ser pago anualmente;
- i - taxa de desconto anual de 12% (adotada para este estudo);
- t - número de intervalos de pagamento (anos);
- N - número total de pagamentos (anos).

Segundo Lanna (2001) a vida útil ou vida econômica de um projeto é o intervalo de tempo compreendido entre o início da operação até o momento em que essa operação se realiza de forma econômica. Enquanto a vida física do empreendimento se estende até o momento em que é possível operá-lo mesmo que de forma não econômica, portanto, a vida física de um projeto ou empreendimento é no mínimo igual a sua vida útil ou econômica.

Para a análise comparativa dos custos de alternativas de projeto deve ser adotado o mesmo período de tempo, porém para intervenções em cursos de água haverá alternativas com tempos de vida útil diferentes. Conforme sugerido por Lanna (2001) deve-se adotar o seguinte critério para definição do período de análise:

- Quando a vida útil de uma alternativa for múltipla da vida útil da outra, repete-se o projeto de vida útil menor tantas vezes em sequência, quantas forem necessárias para serem igualadas as vidas úteis, sendo o período de análise igual ao número de anos do projeto de maior vida útil.

- No caso de vidas úteis de projeto não múltiplas, o projeto de vida útil menor deverá ser repetido tantas vezes em sequência quantas forem necessárias para ultrapassar a vida útil do projeto de longa duração, sendo que na última sequência, o projeto será interrompido de forma a serem igualadas as vidas úteis. O valor residual será avaliado nesse ponto e constará como um benefício.

Um mesmo tipo de intervenção com um mesmo arranjo utilizado em dois cursos de água com características similares, porém, situado em locais diferentes, estarão submetidas a condições e usos diferentes, e, portanto, por demandas de manutenção diversas. Para uma adequada aferição dos custos de manutenção deve ser efetuado o registro temporal dos dados relativos à manutenção para aprimoramento do planejamento e orçamento das ações dos anos subsequentes.

Verifica-se, portanto, grande variação de valores dos custos de intervenções em cursos de água, sendo a referência mais adequada, aquela que retrata as peculiaridades locais e que se baseie na mesma tecnologia e porte da intervenção.

Neste trabalho buscou-se com prioridade referências de preços nacionais, porém para as técnicas *ambientalizadas* ou de bioengenharia, que são pouco disseminadas no Brasil, houve dificuldades para sua obtenção. Dessa forma, para a estimativa de custos das diversas técnicas aplicáveis em intervenções em cursos de água foram utilizados como referência os custos de implantação:

- apresentados por Moura (2004);
- das obras incluídas no Projeto DRENURBS da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte; e
- planilhas de custo da Prefeitura Municipal de São Paulo (2010).

E de forma complementar os custos de implantação:

- apresentados por CWP (2004) e por Rouge River National Wet Weather Demonstration Project (2001) para obras nos Estados Unidos da América; e
- apresentados por de Lachat (1999) para obras na França.

Moura (2004) estimou os custos médios de implantação, manutenção e operação de estruturas dos sistemas de drenagem tradicionais com data base de preços de janeiro de 2000, sendo utilizados como referência os projetos tipo de Belo Horizonte (2003).

Os custos de Moura (2004) utilizados neste trabalho são aqueles referentes a técnicas de intervenções em cursos de água tradicionais rígidas, como galerias, canais de concreto, canais em enrocamento, canais em gabião tipo caixa, canais em gabião tipo colchão, bacias de detenção abertas em concreto, bacias de detenção enterradas em concreto e bacias de infiltração, e os custos da técnica flexível de canais com revestimento vegetal.

Com base nas demais referências citadas, foram estimados os custos relativos a técnicas *ambientalizadas* rígidas, como “cribwall”, aplicação de troncos e pedras, e solo reforçado com geotêxtil ou malha metálica, e os custos de técnicas flexíveis, como aquelas envolvendo faxinas ou estacas, aplicação de galhos sobre as margens, utilização de biorretentores ou feixe de galhos e aplicação de mantas geotêxteis ou biomantas grampeadas.

Os custos de manutenção e operação estimados por Moura (2004) foram calculados para o período de vida útil da estrutura, sendo considerada para as estruturas de concreto uma vida útil de 30 anos. Para a análise comparativa das alternativas foi considerada a maior vida útil dentre essas, e para as demais alternativas com vida útil inferior foram considerados os custos de reconstrução da estrutura necessários até atingir a vida útil fixada como referência.

Para a estimativa dos custos de operação e manutenção de técnicas *ambientalizadas*, foram utilizadas as recomendações de Belo Horizonte (2009c), SGWA (2009) e NCRS (1992).

A atualização de custos foi feita com data base fixada em janeiro de 2011, utilizando os índices listados a seguir:

- REFERÊNCIAS DE CUSTO NACIONAIS - Índice Nacional de Custos na Construção – INCC, calculado pela Fundação Getúlio Vargas.

- REFERÊNCIA DE CUSTOS DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA – O índice de custos, *Civil Work Breakdown Structure – CWBS – Feature Code 16* - obras de estabilização de margens, que compõe o Índice de Custos, *Civil Works Construction Cost Index Sistem - CWCCIS* do USACE (2011).
- REFERÊNCIA DE CUSTOS FRANCESA - Índice geral para todos os trabalhos públicos - TP01 França (2011), este índice é baseado em trabalhos públicos de obras de arte, obras subterrâneas e túneis, dragagens, obras marítimas em concreto armado, canalizações entre outras.

Posteriormente à atualização foi aplicada a conversão de moeda para Real, aplicando a taxa de câmbio de 03/01/2011, de 1,6502 para o Dólar e de 2,209 para o Euro, sendo utilizadas também as orientações de conversão de Franco para Euro de Trichete (1999).

Técnicas Tradicionais

Para os custos de implantação, manutenção e operação das técnicas tradicionais foram utilizados os custos obtidos por Moura (2004), tendo sido feitas adaptações quanto a unidade de medida, conforme apresentado na Tabela 4.3.1, adotando-se sempre o comprimento linear do trecho e dependendo da técnica a área da seção transversal (galeria em concreto), perímetro da seção transversal (canais) e para as bacias o volume da bacia e a área da bacia de contribuição.

Tabela 4.3.1: Técnicas tradicionais
Custos de implantação (CI), manutenção (CM) e manutenção operação (CMO)

Técnica	CI (R\$)	CM e CMO (R\$)
Galeria em concreto	$CI=(384,2A+1820)L$	$CM=(0,84A+104,91)L$
Canal em concreto com faixa de grama e dispositivos de drenagem	$CI=427,43PL$	$CM=(0,84 P +104,77)L$
Canal em concreto com faixa de grama e s/ dispositivos de drenagem	$CI=421,96 PL$	$CM=(0,84 P +77,85)L$
Canal em concreto s/ faixa de grama e com dispositivos de drenagem	$CI=422,07PL$	$CM=(0,84 P +104,49)L$
Canal em concreto s/ faixa de grama e sem dispositivos de drenagem	$CI=416,61 PL$	$CM=(0,84 P +77,57)L$
Canal em grama com dispositivos de drenagem	$CI=66,76 PL$	$CM=108,59 PL$
Canal em grama sem dispositivos de drenagem	$CI=63,88 PL$	$CM=81,87 PL$
Canal com enrocamento com dispositivos de drenagem	$CI=86,76 PL$	$CM=(0,40 P +104,49)L$
Canal com enrocamento sem dispositivos de drenagem	$CI=83,93 PL$	$CM=(0,40 P_x +77,57)L$
Canal em gabião caixa com faixa de grama e dispositivos de drenagem	$CI=264,60 PL$	$CM=(1,78 P +104,77)L$
Canal em gabião caixa com faixa de grama e s/ dispositivos de drenagem	$CI=259,13PL$	$CM=(1,78 P +77,85)L$
Canal em gabião caixa s/ faixa de grama e c/ dispositivos de drenagem	$CI=262,06 PL$	$CM=(1,78 P +104,54)L$
Canal em gabião caixa s/ faixa de grama e s/ dispositivos de drenagem	$CI=256,59PL$	$CM=(1,78 P +77,57)L$
Canal em gabião colchão com dispositivos de drenagem	$CI=97,23 PL$	$CM=(0,50 P +104,49)L$
Canal em gabião colchão sem dispositivos de drenagem	$CI=94,35 PL$	$CM=(0,50 P +77,57)L$
Bacia de detenção em grama	$CI=71,66 V_{BD}$	$CMO=31,10V_{BD}+470,44A_{Bacia}$
Bacia de detenção em concreto aberta	$CI=88,48 V_{BD}$	$CMO=29,93V_{BD}+470,44A_{Bacia}$
Bacia de detenção em concreto fechada	$CI=296,14 V_{BD}$	$CMO=57,20V_{BD}+470,44A_{Bacia}$
Bacia de infiltração	$CI=47,03 V_{BD}$	$CMO=6,61 V_{BI}$

Obs.: A – área da seção transversal do canal ou galeria (m²).

P – Perímetro da seção transversal (m).
L – extensão do trecho do curso de água (m).
 V_{BD} – Volume da bacia de detenção (m^3).
 V_{BI} – Volume da bacia de infiltração (m^3).
 A_{Bacia} – Área da bacia de contribuição (ha).

O detalhamento das equações, dos projetos tipos e os serviços considerados para cada técnica são apresentados no Apêndice I.

Indicador de custos das técnicas tradicionais

O indicador de custos (I_c) das técnicas tradicionais será calculado pela soma dos custos de implantação e do VPL dos custos de manutenção e operação, para o período correspondente a maior vida útil dentre as alternativas, de acordo com as equações 4.14 e 4.15.

Canais e galerias:

$$I_{custo} = CI + VPL (CM) \quad (4.14)$$

Bacias de detenção:

$$I_{custo} = CI + VPL (CMO) \quad (4.15)$$

Técnicas ambientalizadas de estabilização de margens

Neste grupo de técnicas estão incluídas as intervenções em cursos de água que utilizam materiais como troncos, galhos de árvores, pedras, biomantas, reintrodução de espécies vegetais nas margens ou outros materiais que se incorporem ao curso de água de forma mais natural, sem grande alteração no seu funcionamento e na sua forma.

Custos de implantação

A partir da descrição das técnicas, realizada no item 3.4, pode-se verificar grande semelhança entre algumas técnicas, bem como a sua utilização de forma associada. Devido a essa similaridade, e para maior praticidade da análise, as técnicas com características similares quanto ao material utilizado, condição de funcionamento e de técnicas construtivas foram agrupadas para a estimativa dos custos de implantação, conforme Tabela 4.3.2.

Para simplificar a análise comparativa, os custos foram estimados para a mesma unidade de medida (m^2 de margem tratada), porém técnicas estruturantes que atuam como contenção de pé de talude não guardam adequada correlação com esta unidade, e por este motivo são apresentadas em suas unidades típicas de medida, como gabião saco (m), enrocamento jogado (t) e “rootwads”(m).

Tabela 4.3.2: Técnicas *ambientalizadas* de estabilização de margens - Custos de implantação (CI)

Técnicas agrupadas	Unidade	Custos de Implantação - CI (R\$)	
		Limite Inferior	Limite Superior
Estacas	(m^2)	16,18	119,24
Biomantas	(m^2)	2,64	22,87
Faxinas ou biorretentores	(m^2)	24,00	118,49
Solo reforçado - geossintéticos ou malha metálica	(m^2)	87,26	206,41
Proteção com galhos	(m^2)	174,24	363,48
“cribwall”	(m^2)	130,68	914,00
Enrocamento arrumado	(m^2)	33,88	60,98
Gabião caixa	(m^2)	204,47	300,38
Gabião colchão	(m^2)	74,14	94,43
Gabião saco	(m)	80,88	80,88
Enrocamento jogado	(t)	40,78	109,84
“Rootwads”	(m)	72,72	727,17

As faixas de variação dos custos de implantação dessas técnicas podem ser mais bem visualizadas na Figura 4.3.1. As maiores faixas de variação e maiores valores absolutos correspondem às técnicas de “cribwall” e “rootwads”, que podem demandar a utilização de equipamentos, que de acordo com a distância de transporte e dificuldade de acesso podem elevar os custos. Estas técnicas estão sujeitas a disponibilidade de materiais como troncos, que podem ter uma maior variação de custos. Observa-se que os menores custos médios correspondem às biomantas, enrocamento, faxinas, estacas e gabião colchão.

Na Tabela 4.3.3 são apresentados custos de serviços complementares que podem ser requeridos para a execução de algumas das intervenções citadas.

Tabela 4.3.3: Custos de serviços diversos complementares

Serviços diversos	unidade	Custos(R\$)	
		Limite inferior	Limite superior
Escavação	m ³	3,01	4,93
Transporte	m ³ xkm	0,35	0,72
Hidrossemeadura	m ²	1,37	4,98
Fornecimento e plantio de mudas de árvores h=1,5m	un	26,03	59,80
Desmatamento e limpeza do terreno	m ²	0,34	0,42
Filtro com 25cm de areia e 25cm de brita	m ²	31,21	39,15
Plantio de grama	m ²	4,2	7,85

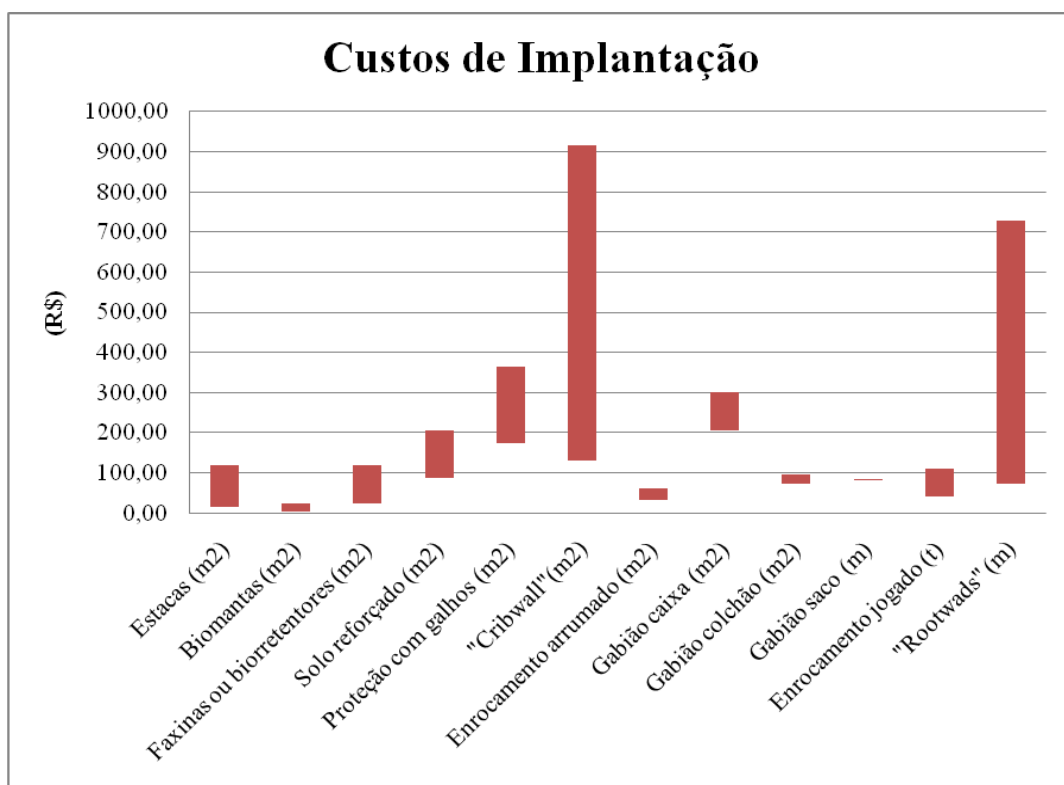


Figura 4.3.1: Técnicas *ambientalizadas* de estabilização de margens – Custos de implantação

Custos de Manutenção

As técnicas *ambientalizadas* ou de bioengenharia têm como característica principal a gradual desintegração ou incorporação dos materiais utilizados ao curso de água, de forma que após o desenvolvimento e estabelecimento da vegetação não requerem manutenção das estruturas de estabilização provisória. Portanto, a manutenção a ser oferecida é aquela correspondente principalmente ao monitoramento e à limpeza da calha.

Donat (1994) classificou os serviços de manutenção dessas técnicas em cuidados iniciais (durante e imediatamente após a implantação), cuidados e manutenção durante o desenvolvimento da vegetação, e manutenção de longo termo.

Os serviços de manutenção durante e imediatamente após a implantação das técnicas de bioengenharia, dizem respeito à preparação do solo, cuidados quanto à adequada forma de plantio ou aplicação da técnica, à necessidade de irrigação e controle de formigas e outras pragas, entre outros. Esses cuidados são determinados em função das espécies vegetais introduzidas e das condições climáticas e características do solo local.

Os serviços de manutenção durante o desenvolvimento da vegetação são aqueles que devem ser realizados para manter a integridade da estrutura de estabilização provisória até que a vegetação passe a cumprir esse papel. Compreendem ainda serviços que visam garantir o desenvolvimento dessa vegetação, compreendendo desde o replantio de mudas à aplicação de fertilizantes e controle de pragas.

Os serviços de longo termo são aqueles que visam à manutenção do bom funcionamento do curso de água, após o estabelecimento da vegetação, sendo efetuados indefinidamente e de forma regular, estando associados à limpeza e à roçagem de calha e margens.

Debo e Reese (1995) subdividem os serviços de manutenção em serviços de rotina, corretivos e de melhoria. Os serviços de rotina equivalem aos serviços de longo termo e envolvem serviços de limpeza e poda da vegetação; já os corretivos são destinados à melhoria do desempenho da estrutura sem, no entanto, aumentar a sua capacidade, que é objetivo da manutenção de melhoria. Verifica-se que os serviços corretivos equivalem aos serviços necessários durante o desenvolvimento da vegetação nesse tipo de estrutura.

Na Tabela 4.3.4 são apresentados os custos de manutenção corretiva anuais, destinados à recomposição dos elementos perdidos ou danificados das técnicas de estabilização, considerados os percentuais de recomposição indicados.

Estabeleceu-se um período de três anos para realização de serviços de recomposição da estrutura e replantio da vegetação, que corresponde ao período de desenvolvimento da vegetação. Para esta definição utilizou-se como referência as recomendações para manutenção de cursos de água que receberam tratamento por técnicas *ambientalizadas* de NRCS (1992), Donat (1994), Heaton *et al.* (2002) e CWP (2004). Estes estudos indicaram um período com maior volume e frequência de serviços de manutenção nos primeiros anos após a sua implantação, este período varia de um a cinco anos de acordo com a técnica.

Tabela 4.3.4: Técnicas *ambientalizadas* de estabilização de margens – Custos anuais de manutenção devido à recomposição do revestimento da calha (CM_C)

Técnicas agrupadas	Recomposição anual (%)	Custos de manutenção corretiva CM _C (R\$)	
		LI	LS
Estacas (m ²)	15	2,43	17,89
Biomantas (m ²)	15	0,40	3,43
Faxinas ou biorretentores (m ²)	10	2,40	11,86
Solo reforçado (m ²)	2	1,75	4,13
Proteção com galhos (m ²)	5	8,71	18,18
"Cribwall"(m ²)	5	6,53	45,75
Enrocamento arrumado (m ²)	2	0,68	1,22
Gabião caixa (m ²)	2	4,09	6,01
Gabião colchão (m ²)	2	1,48	1,91
Gabião saco (m)	2	1,62	1,62
Enrocamento jogado (t)	2	0,82	2,20
"Rootwads" (m)	5	3,64	36,36

Para definição do percentual anual de recomposição dos elementos de cada técnica, foram avaliados os índices percentuais dos custos de implantação necessários à manutenção dessas estruturas apresentados em SGWA (2009) e os percentuais de replantio em técnicas com revegetação apresentados em NCRS (1992).

Os VPLs dos custos de manutenção corretivos, durante o desenvolvimento da vegetação, de três anos, são apresentados na Tabela 4.3.5. Para o “cribwall”, solo reforçado e gabiões, que são estruturas com função de estabilização contínua, os custos de recomposição foram calculados para toda a vida útil, tendo sido esta fixada em 30

anos, sendo no caso do solo reforçado consideradas duas reconstruções totais após cada período de 10 anos (vida útil).

Para estimativa de custos de manutenção de longo termo (CM_{LT}) serão consideradas duas inspeções anuais, uma antes e outra após o período de chuvas, sendo considerada uma frequência anual para a limpeza da calha, conforme recomendações de Belo Horizonte (2009c).

Tabela 4.3.5: Técnicas *ambientalizadas* de estabilização de margens – VPL dos custos de manutenção devido à recomposição do revestimento da calha

Técnicas agrupadas	Vida útil (anos)	Recomposição anual (%)	VPL - Custos de manutenção corretiva (R\$)	
			Limite Inferior	Limite superior
Estacas (m ²)	30	15	19,57	144,11
Biomantas (m ²)	30	15	3,22	27,63
Faxinas ou biorretentores (m ²)	30	10	19,33	95,53
Solo reforçado (m ²)	10	2	50,49	119,37
Proteção com galhos (m ²)	30	5	70,16	146,44
"Cribwall"(m ²)	30	5	52,60	368,52
Enrocamento arrumado (m ²)	30	2	5,48	9,83
Gabião caixa (m ²)	30	2	32,95	48,41
Gabião colchão (m ²)	30	2	11,92	15,39
Gabião saco (m)	30	2	13,05	13,05
Enrocamento jogado (t)	30	2	6,61	17,72
"Rootwads" (m)	30	5	29,32	292,89

Para a análise de custos de manutenção de longo termo foi tomada como referência a extensão de 1,0 km para o curso de água, e obtidos custos anuais de R\$400,00 para limpeza, considerando uma DMT³ de 20 km, e de R\$6.400,00 para as inspeções. O VPL dos custos anuais para uma vida útil de 30 anos foi estimado em R\$54.600,00.

Indicador de custo das técnicas ambientalizadas

O indicador de custo (I_{custo}) a ser utilizado na análise proposta para as técnicas *ambientalizadas* é definido a partir da Equação 4.16.

$$I_{custo} = CI + VPL(CM_C) + VPL(CM_{LT}) \quad (4.16)$$

³ DMT – Distância Média de Transporte

4.4 Pesos dos indicadores

A etapa de definição dos pesos dos indicadores é tão importante quanto a sua definição, pois os pesos definem a importância de cada indicador.

O processo de tomada de decisão sobre a escolha de uma alternativa de intervenção em cursos de água possui vários atores, desde a população direta ou indiretamente afetada, os órgãos de licenciamento ambiental, órgãos da administração municipal responsáveis pela definição e execução dessas obras, outros órgãos e entidades que tenham interesse em ações ambientais, tais como ONGs, empresas de consultoria e projetos que definem as alternativas viáveis, assim como órgãos de pesquisa que possuem o conhecimento técnico e a capacidade de apresentar inovações tecnológicas.

Diante do exposto, verifica-se que os pesos dos indicadores desta análise devem ser ponderados por representantes dessas categorias para que todas as opiniões sejam ouvidas, de forma a representarem o mais fielmente possível, a real importância de cada indicador.

Como havia duas pesquisas sobre drenagem urbana, Moura (2004) e Cardoso (2008), com consulta a grupos de atores ou especialistas, que contemplavam estas diversas opiniões, decidiu-se utilizar estes resultados e fazer uma consulta com um grupo menor de técnicos da PBH (Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP e outros técnicos envolvidos com Programas de saneamento e drenagem da Prefeitura) e estudantes e professores da UFMG para validação daquela ponderação.

Pesos dos indicadores de desempenho

Cardoso (2008) propôs indicadores para avaliar intervenções em cursos de água, e os pesos foram estabelecidos por meio de consulta a profissionais de órgãos ambientais, universidades e empresas de projeto e consultoria. A consulta foi realizada junto às prefeituras municipais de Belo Horizonte, São Paulo e Porto Alegre, à Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM, ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM

e à Agência Nacional de Águas - ANA, às universidades UnB, UFSCar, USP, UFJF, UFMG, UNESP – Ilha Solteira e INSA (Lyon), à Escola Politécnica e FCTH da USP e junto a profissionais autônomos e empresas particulares. Dezesete profissionais responderam ao questionário

Devido à correspondência da maior parte dos aspectos avaliados pela pesquisa de Cardoso (2008) e pela presente pesquisa, foi realizada uma avaliação da possível adaptação e utilização dos pesos daquela pesquisa. Os pesos estabelecidos por Cardoso (2008) e apresentados na Tabela 3.3 foram trabalhados, redistribuindo-os segundo a nova proposição de indicadores. Foram atribuídos aos indicadores propostos os pesos dos indicadores estabelecidos por Cardoso (2008) que avaliam aspectos similares, realizando as seguintes adaptações:

- o peso da dimensão social, que foi eliminada desta análise, foi distribuído proporcionalmente aos pesos das três dimensões estabelecidas neste trabalho (Ambiental, Hidrológica/Hidráulica e Sanitária);
- os pesos da dimensão curso de água foram agregados à dimensão ambiental;
- os pesos dos indicadores eliminados foram distribuídos nos demais indicadores pertencentes à mesma dimensão.

Foi realizada uma pesquisa junto a técnicos da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PBH e de pesquisadores da UFMG. Durante um Workshop realizado em 07/07/2011, na Escola de Engenharia da UFMG, entre técnicos da PBH e alunos da pós-graduação e professores da UFMG. Foi feita uma apresentação sobre a presente pesquisa, com explicação de todos os indicadores, sendo entregue a cada participante uma cópia do questionário de avaliação dos indicadores propostos (Apêndice II), o qual foi enviado posteriormente também por e-mail. Este questionário compreendeu a avaliação dos pesos e das formulações dos indicadores. Os resultados dessa consulta foram apresentados em parte no item 4.2.4 e o restante é apresentado a seguir.

Como resultado desta consulta, obteve-se resposta de seis questionários, três técnicos da PBH, três alunos da pós-graduação, um deles tendo trabalhado na SUDECAP. Na análise dos pesos foi adicionada a resposta de uma professora do Instituto de Ciências

Biológicas da UFMG, que trabalha com restauração de rios. Com base nestas respostas foram definidos os pesos a serem aplicados nesta pesquisa. Para sua definição foi aplicada a média aritmética aos pesos obtidos, efetuando-se, para valores fracionados, o arredondamento com auxílio da mediana e da moda, de maneira a manter a soma total dos pesos igual a 100. Os resultados são apresentados na Tabela 4.4.1.

A adaptação feita nos pesos de Cardoso (2008) foi utilizada como referência no estabelecimento dos pesos dos novos indicadores, porém, como houve eliminação de uma dimensão e exclusão e inclusão de novos indicadores, com grande alteração das dimensões sanitárias e ambiental, houve maior discrepância entre estes valores e os obtidos na consulta realizada nesta pesquisa. Portanto, a ponderação mais adequada e que deve ser utilizada é a estabelecida pela nova consulta a especialista e apresentada na Tabela 4.4.1.

Tabela 4.4.1: Pesos dos indicadores após consulta a especialistas

Especialista			Pesos		CV
Dimensão	Indicadores		Dimensão	Indicador	(%)
Sanitária	Existência de coleta resíduos	I_{CR}	28	10	55
	Proliferação de vetores	I_{PV}		7	38
	Qualidade da água	I_{QA}		11	54
Ambiental	Desenvolvimento longitudinal	I_{DL}	38	8	34
	Equilíbrio geomorfológico	I_{EG}		7	31
	Mata ciliar e áreas verdes	I_{AV}		13	41
	Integração ambiental	I_{IA}		10	25
Hidrológica e Hidráulica	Inundação ou impacto sobre as vazões no local da intervenção	I_{QI}	34	13	42
	Inundação ou impacto sobre as vazões à jusante da intervenção	I_{QJ}		13	35
	Adaptabilidade hidráulica	I_{AH}		8	26
Total			100	100	

Verificou-se que os coeficientes de variação foram elevados, o que era esperado devido à diversidade de fatores avaliados e à possibilidade de variação da relevância de cada aspecto dependendo de cada cenário em avaliação. Desse modo, os resultados apresentados estabelecem uma faixa de variação dos pesos dos indicadores, que permite contemplar a variação natural da relevância. O analista definirá, de acordo com o caso

em análise, o peso do indicador, utilizando a faixa estabelecida pelo coeficiente de variação.

A avaliação feita pelos técnicos quanto às formulações para estimativa dos indicadores e mesmo aos aspectos abrangidos pelos indicadores foram avaliados e incorporados aos indicadores propostos, sendo os comentários e as sugestões por eles realizadas indicados no item 4.2.4, juntamente com as considerações feitas.

Pesos dos indicadores de custo

Para a ponderação do indicador de custos será utilizado o resultado da pesquisa de Moura (2004), a qual avaliou qual o sobrecusto aceitável para uma alternativa de melhor desempenho, quando comparada a outra de desempenho inferior, ser escolhida. Quanto se estaria disposto a pagar a mais em troca de um melhor desempenho social e ambiental.

Nessa pesquisa Moura (2004) realizou consulta à população e à profissionais da área de engenharia de órgãos gestores ambientais e municipais, e de empresas de consultoria e projetos. Na consulta à população foram aplicados questionários por meio de pesquisa porta a porta, em uma amostra representativa da população de Belo Horizonte, com 364 habitantes do município.

A pesquisa indicou um peso de 30% para este indicador, ou seja, um sobrepreço máximo de 30% para se implantar uma alternativa com melhor desempenho social e ambiental.

Nesta pesquisa será adotado este mesmo peso de 30% para o indicador de custos.

4.5 Análise desempenho-custo

Nesta análise será utilizado o conceito do “optimum” de Pareto que foi apresentado pelo economista de mesmo nome, que corresponde à solução ideal, na qual conforme Pomerol e Barba-Romero (1993) os critérios não podem mais melhorar ao mesmo tempo.

O *Gráfico de Pareto* apresenta os valores de dois critérios, que no caso em estudo são o desempenho e o custo, plotados nos eixos das ordenadas e das abscissas, respectivamente, sendo a solução ideal, ou “optimum” de Pareto, aquela que se posiciona no eixo diagonalmente oposto à origem e a solução anti-ideal posiciona-se na origem.

Para avaliar o desempenho será utilizado o índice de desempenho (ID_K) que é o próprio valor da taxa de similaridade ($D_p(a_i)$) definida pela Equação 3.3, no item 3.5.1, e o índice de custos (IC_K) que será calculado conforme Equação 4.17, em função do indicador de custo, estimado pelas equações 4.14, 4.15 e 4.16, apresentadas no item 4.3.

O índice de custos é calculado pela Equação (4.17) a partir do indicador de custos.

$$IC_k = \frac{\sum_{k=1}^n I_{Custos,k}}{2 \cdot I_{Custos,k}} \quad (4.17)$$

Onde:

IC_k - índice de custos referente à alternativa k ;

k - alternativa em análise;

$I_{custos,k}$ - indicador de custos da alternativa k ;

n - número total de alternativas.

Os pares de valores (IC_k, ID_k) dos índices de desempenho e custos são plotados no gráfico de Pareto (Figura 4.5.1), de forma que as alternativas mais bem pontuadas se localizam mais afastadas da origem e as menos adequadas ficam próximas à origem.

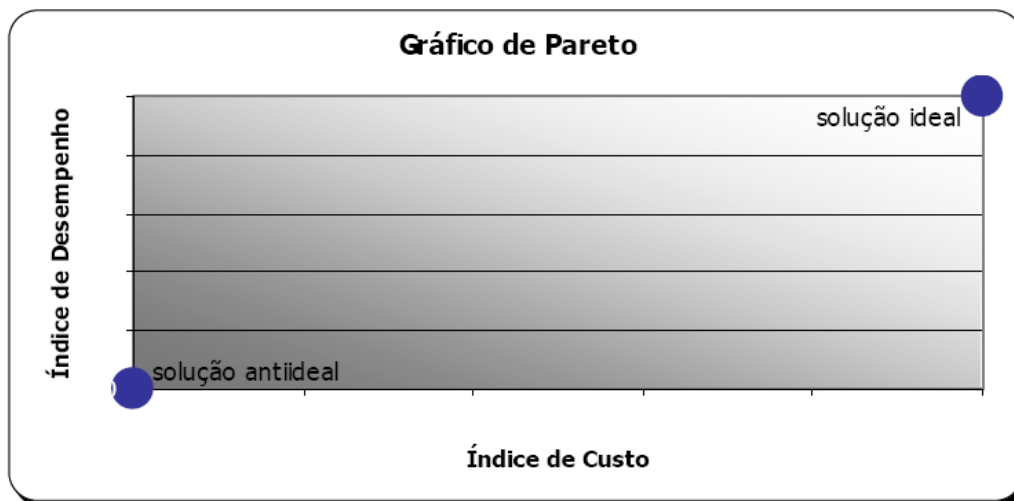


Figura 4.5.1: Gráfico de Pareto
 Fonte: Moura (2004)

4.6 Considerações gerais

Os indicadores de desempenho propostos subdivididos nas dimensões ambiental, hidrológica/hidráulica e sanitária, foram estabelecidos com base nos aspectos mais relevantes para que o curso de água cumpra suas funções, e que permitem diferenciar o desempenho de uma alternativa em relação às demais. É importante ressaltar que aspectos importantes como diversidade de “habitats” e recarga do aquífero, apesar de não serem avaliados de forma explícita, foram contemplados indiretamente por indicadores propostos, como matas ciliares e áreas verdes e integração ambiental. Para evitar redundância e simplificar a interpretação e mensuração dos indicadores, optou-se por um menor número de indicadores.

Os indicadores de custos, apesar das dificuldades, para algumas técnicas, em se obter referências nacionais, podem ser aplicados de forma satisfatória na análise proposta, tendo em vista o objetivo do trabalho de avaliar alternativas de intervenções em cursos de água em nível de estudo de viabilidade e de projeto básico. Ademais, optou-se, para essas estruturas pouco utilizadas no Brasil, por trabalhar com faixas de valores, para que o analista tivesse a flexibilidade de adaptar as referências apresentadas às peculiaridades locais.

A definição dos pesos baseou-se em uma pesquisa junto a potenciais usuários da metodologia proposta como técnicos da PBH e alunos e professores da pós-graduação da UFMG. Os resultados apresentados estabelecem uma faixa de variação do peso do

indicador, de forma que o analista possa estabelecer os pesos a serem utilizados de acordo com as peculiaridades do curso de água em análise e os objetivos da intervenção.

A aplicação da metodologia é bastante simples, não requerendo a utilização de *softwares* sofisticados, mas tão somente uma planilha eletrônica.

Os dados necessários à mensuração dos indicadores são, em sua maioria, características do trecho que podem ser obtidos em levantamentos topográficos e batimétricos, e alguns deles por observações de campo. Os dados hidrológicos e hidráulicos, apesar de exigirem estudos específicos, são geralmente contemplados em estudos de diagnóstico, sem os quais não é possível realizar qualquer intervenção e planejamento na bacia.

No capítulo 5 será feita a aplicação dos indicadores e metodologia propostos em um estudo de caso, para avaliação da facilidade de aplicação, robustez da metodologia e sensibilidade dos indicadores.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Caracterização do Córrego Bonsucesso

Para avaliação da metodologia proposta foi escolhido o Córrego Bonsucesso, que foi incluído no Programa DRENURBS. Este programa tem como objetivo priorizar a utilização de soluções alternativas de intervenção com maior integração social e ambiental, em cursos de água do município que, apesar de degradados, possuam a maior parte de sua calha em leito natural. Tendo sido o Córrego Bonsucesso um dos cursos de água selecionados para fazer parte deste programa.

Devido aos objetivos do programa e ao fato de o córrego Bonsucesso encontrar-se, em quase sua totalidade, em leito natural, havendo inclusive trechos preservados de mata ciliar, este curso de água mostrou-se adequado para fazer o tipo de avaliação proposta. Devido à extensão do curso de água e às características diversas dos trechos, sua utilização permitiria avaliar a viabilidade técnica e econômica das técnicas *ambientalizadas* e tradicionais, para várias condições. O curso de água localiza-se em Belo Horizonte, o que facilitou o trabalho de campo. Além disso, existiam vários estudos realizados, inclusive o projeto básico completo e parte do projeto executivo.

Foi realizada uma visita técnica ao trecho em estudo em 03/08/2011. Não haviam sido realizados quaisquer serviços no trecho estudado, o que permitiu a verificação de suas condições prévias. O levantamento de campo permitiu confirmar informações apresentadas nos estudos técnicos fornecidos pela PBH, bem como levantar informações complementares, que foram essenciais na definição das alternativas de projeto 2 e 3, elaboradas para o estudo de caso e, de forma geral, na avaliação dos indicadores.

A bacia elementar do Córrego Bonsucesso é formada, principalmente, pelos córregos Bonsucesso e Olhos D'água. A área da bacia é de 11,92 km² e o talvegue possui extensão de 22,60 km. Este curso de água é um afluente da margem direita do Ribeirão Arrudas, e está localizado na porção sul do município de Belo Horizonte, com nascentes nas encostas da Serra do Curral, próximo à divisa com o município de Nova Lima.

A bacia do Córrego Bonsucesso está inserida em sua maior parte nos limites dos bairros Barreiro de Cima, Bonsucesso, Bairro Novo das Indústrias, Olhos d'Água e Pilar, Conjuntos Bonsucesso e Esperança, e as Vilas CEMIG, Alta Tensão, Bernadete, São João e Nova Paraíso. Compreende ainda parte dos bairros Milionários, Araguaia, Flávio Marques Lisboa, Betânia e Palmeiras. Sua localização no município de Belo Horizonte pode ser visualizada na Figura 5.1.

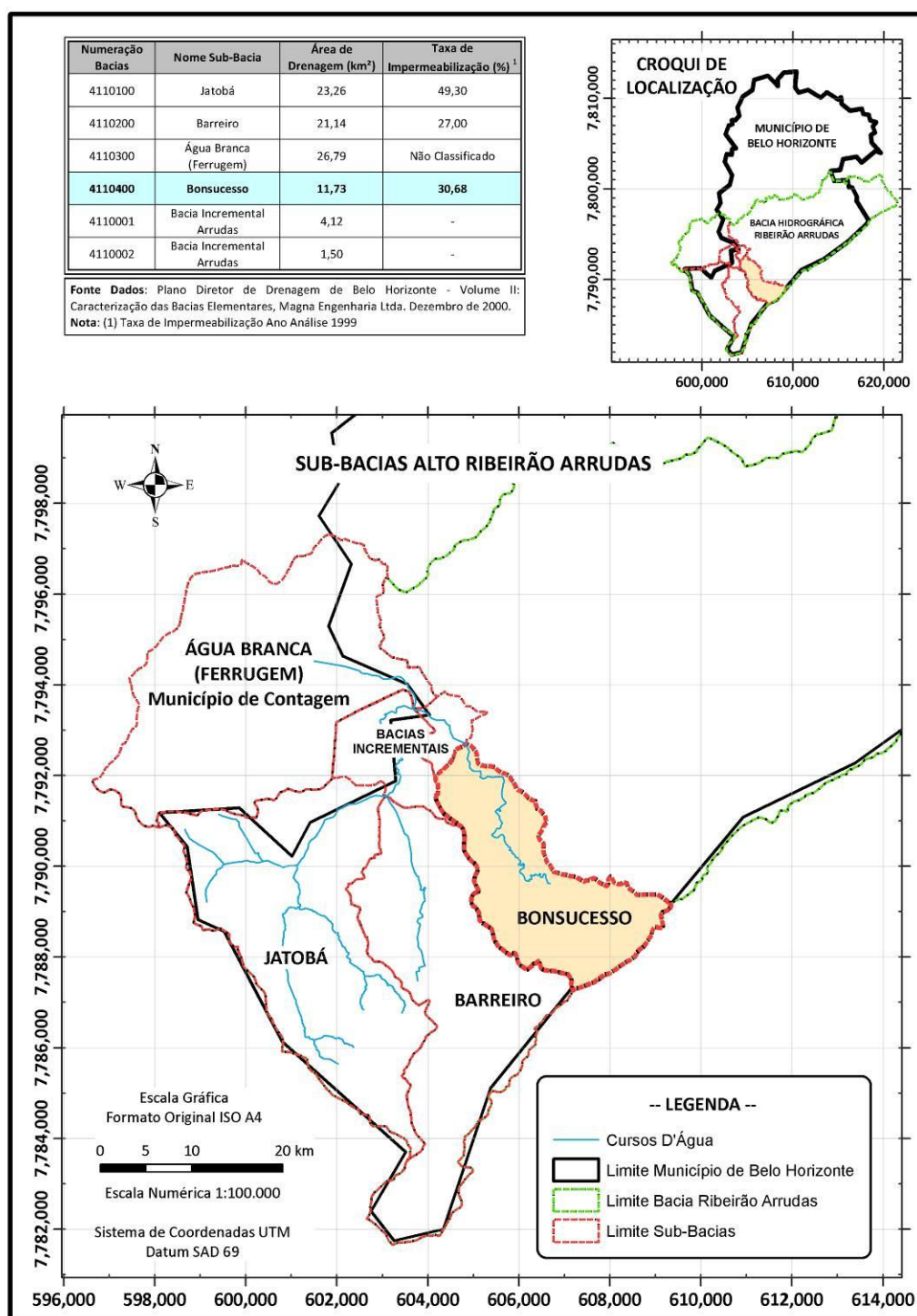


Figura 5.1: Localização da bacia do Córrego Bonsucesso
 Fonte: Belo Horizonte (2009b)

Os projetos básico e executivo definidos para esta bacia e que foram utilizados para definição dos indicadores consistiram de obras de tratamento de fundo de vale, contenção das margens, complementação dos sistemas de macro e microdrenagem, implantação de bacias de retenção de cheias e área de armazenamento, sistemas de esgotamento sanitário (implantação de interceptores de esgoto e complementação das redes coletoras), tratamento de focos erosivos, implantação de sistema viário e áreas de uso social, desapropriação, remoção e reassentamento de famílias.

A Figura 5.2 apresenta os tipos de intervenções adotadas para cada trecho do curso de água. Os trechos que serão objeto do estudo de caso são: 16, 17, 18, 18A, 20 e 21.

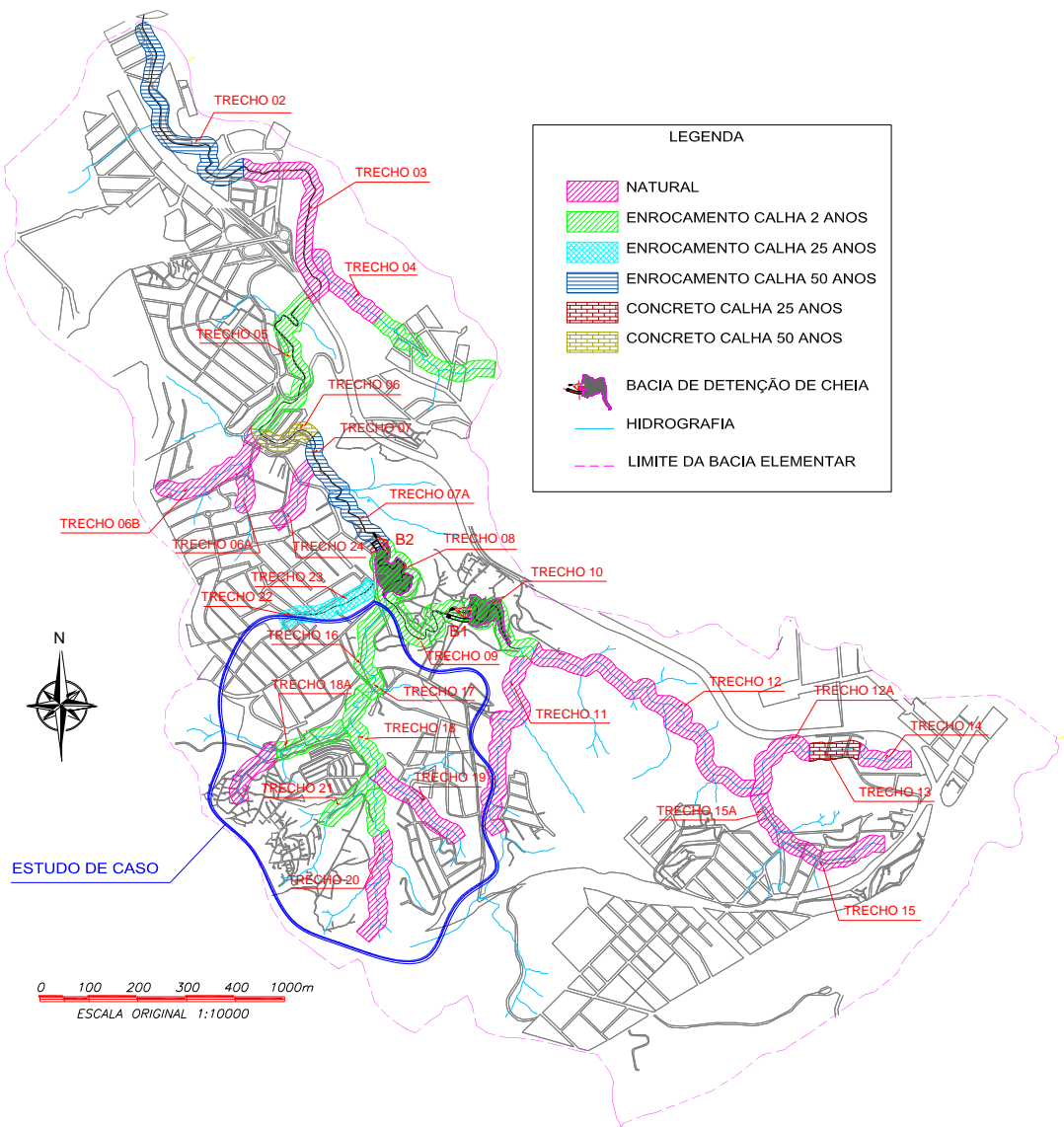


Figura 5.2: Córrego Bonsucesso - Trechos avaliados no estudo de caso (Adaptado de Belo Horizonte, 2010)

Os trechos selecionados para a aplicação da metodologia possuem características que justificam o tipo de avaliação proposta, apresentando-se em sua maioria em leito natural com presença de vegetação em parte das áreas adjacentes ao rio, porém com problemas de lançamento de esgoto, focos erosivos e de assoreamento, lançamento de resíduos sólidos e ocupação da planície de inundação por algumas casas. O afluente da margem direita do Bonsucesso, córrego Olhos d'água, por apresentar-se em melhores condições de preservação e maior extensão de mata ciliar, terá pequena extensão de trechos tratados, com ações mais focadas na recuperação de matas ciliares. Já os trechos a jusante da confluência do córrego Olhos d'água e dos trechos 16 e 22, por estarem muito impactados e com maior ocupação de sua calha, não apresentam muitas opções de intervenção, o que reduziria o seu potencial para avaliação da metodologia proposta.

A área do estudo de caso foi dividida em trechos homogêneos e a metodologia aplicada em cada trecho individualmente. As Figuras 5.3, 5.5, 5.8, 5.10 e 5.12 apresentam vistas aéreas dos trechos 16, 17, 18, 18A, 19, 20 e 21, que constam do Projeto Executivo do Córrego Bonsucesso (Belo Horizonte, 2009a). O trecho 19 não será objeto do estudo de caso por não ter previsão de intervenções em seu curso.

5.1.1 Trecho 16 e 17

Os trechos 16 e 17 são mais a jusante dentre aqueles selecionados para realização do estudo de caso, e como possuem características similares, serão avaliados conjuntamente. Os dois trechos possuem extensão total de 493,5m e declividade média de 0,0186m/m. O trecho 17 tem início no bueiro da Rua Gilberto Freire, sendo seguido pelo trecho 16, que termina no bueiro situado sob a rua que dá acesso ao Hospital Eduardo de Menezes. A maior ocupação ocorre na margem direita, sendo a margem esquerda ocupada em sua maior parte pelo terreno do Hospital, conforme Figura 5.3. Neste trecho o córrego apresenta margens instabilizadas com grandes movimentações de massas, havendo taludes com inclinação próxima a 90°, assim como pontos de assoreamento. Foram verificados, também, lançamentos de esgoto sem tratamento diretamente das casas situadas às suas margens e presença de resíduos sólidos na calha e margens.

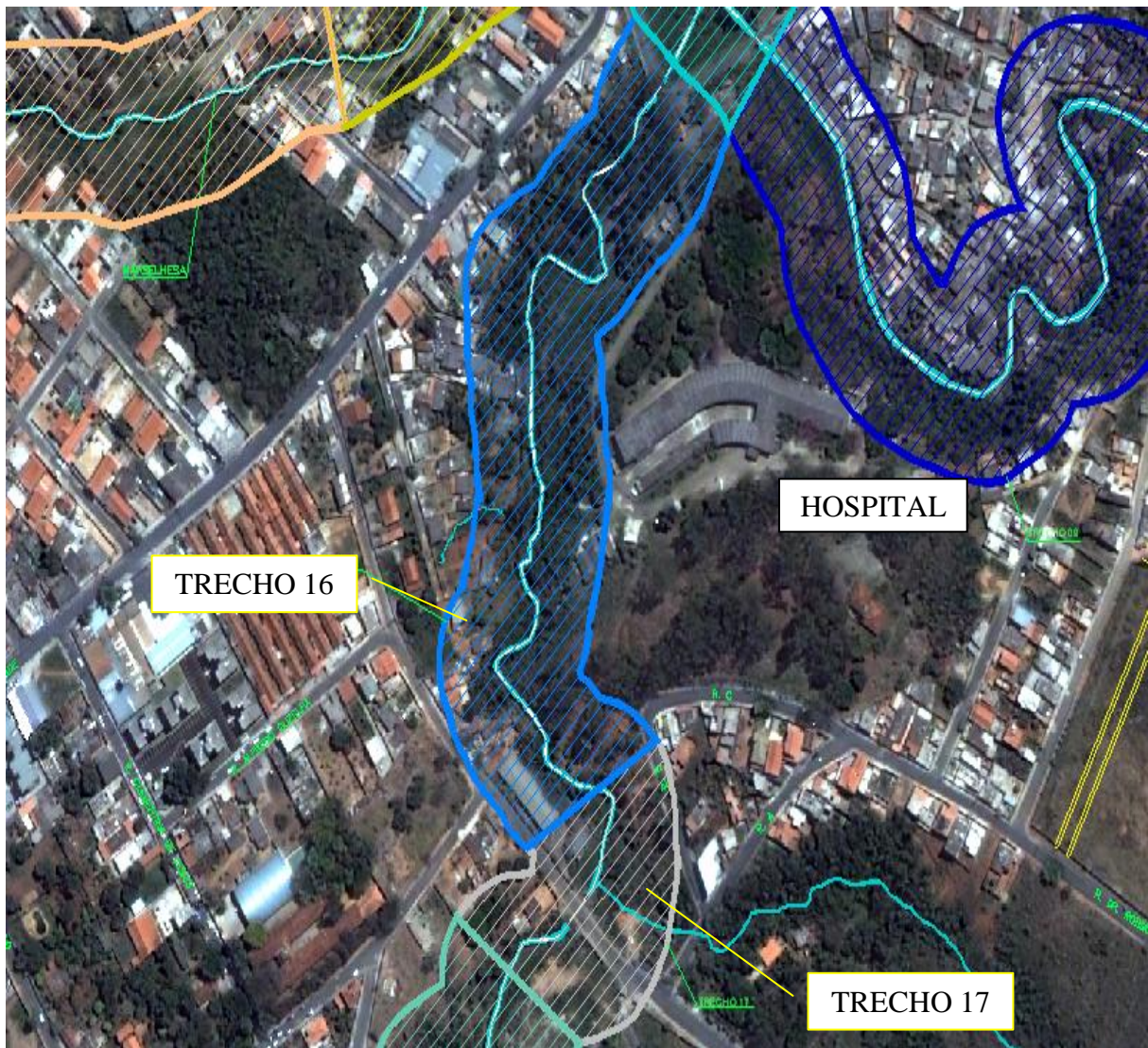


Figura 5.3: Vista aérea dos Trechos 16 e 17
(Adaptado de Belo Horizonte, 2009a)



Figura 5.4: Trechos 16 e 17 à jusante, na entrada do Hospital Eduardo de Menezes

5.1.2 Trecho 18

Este trecho tem início na junção dos trechos 19, 20 e 21, atravessa a rua Ópera, onde existe um bueiro, e alguns metros a frente na sua margem esquerda recebe as águas do afluente correspondente ao trecho 18A, terminando no bueiro da Rua Gilberto Freire. O trecho possui extensão de 449,5m e declividade média de 0,034m/m. A vegetação em suas margens é pouco representativa, constituída principalmente por gramíneas (Figuras 5.6 e 5.7), apresentando vários focos erosivos e de assoreamento, com presença de escorregamento de solo nas margens. A maior ocupação ocorre na margem direita, sendo esta, em sua maioria, irregular. Verificou-se grande quantidade de resíduos sólidos e lançamento de esgoto em suas margens.

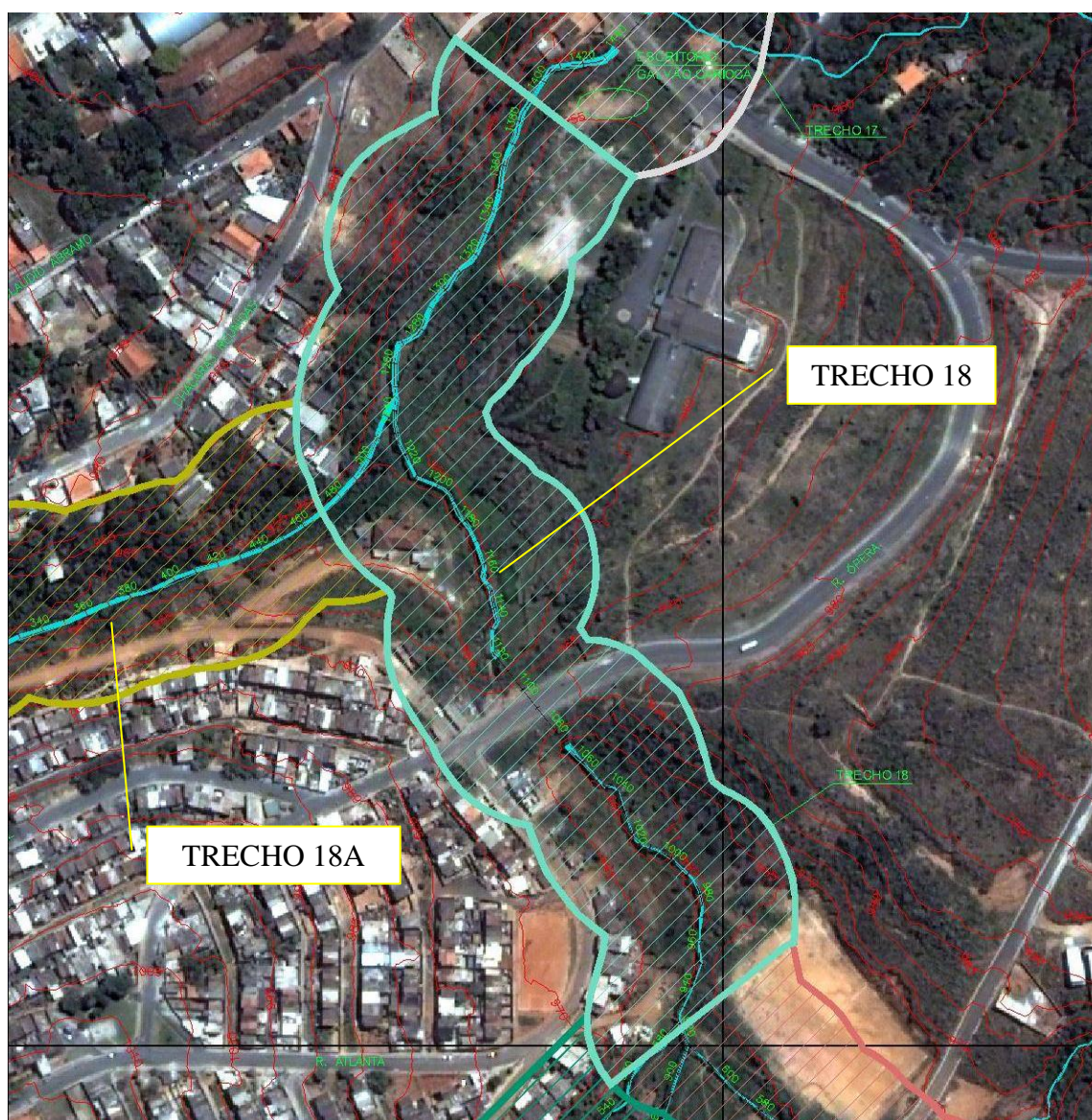


Figura 5.5: Vista aérea do Trecho 18
(Adaptado de Belo Horizonte, 2009a)



Figura 5.6: Trecho 18 à montante, na Junção dos Trechos 19, 20 e 21



Figura 5.7: Trecho 18 à jusante após o bueiro da rua Ópera

5.1.3 Trecho 18A

O trecho 18A possui extensão de 529m, declividade média de 0,018m/m e a calha mais encaixada dos trechos em avaliação, possui na sua margem esquerda um talude muito íngreme com grande extensão vertical, que é pouco ocupada por residências que se

localizam em sua maioria no topo do talude que coincide com a rua das Chácaras. Como os demais trechos, possui lançamento de esgotos, resíduos sólidos e margens instabilizadas por focos erosivos (Figura 5.9). A parte inicial deste trecho localiza-se na Vila CEMIG, encontrando-se canalizado com seu lançamento sendo feito por uma descida de água em degraus, conforme indicação na Figura 5.8.

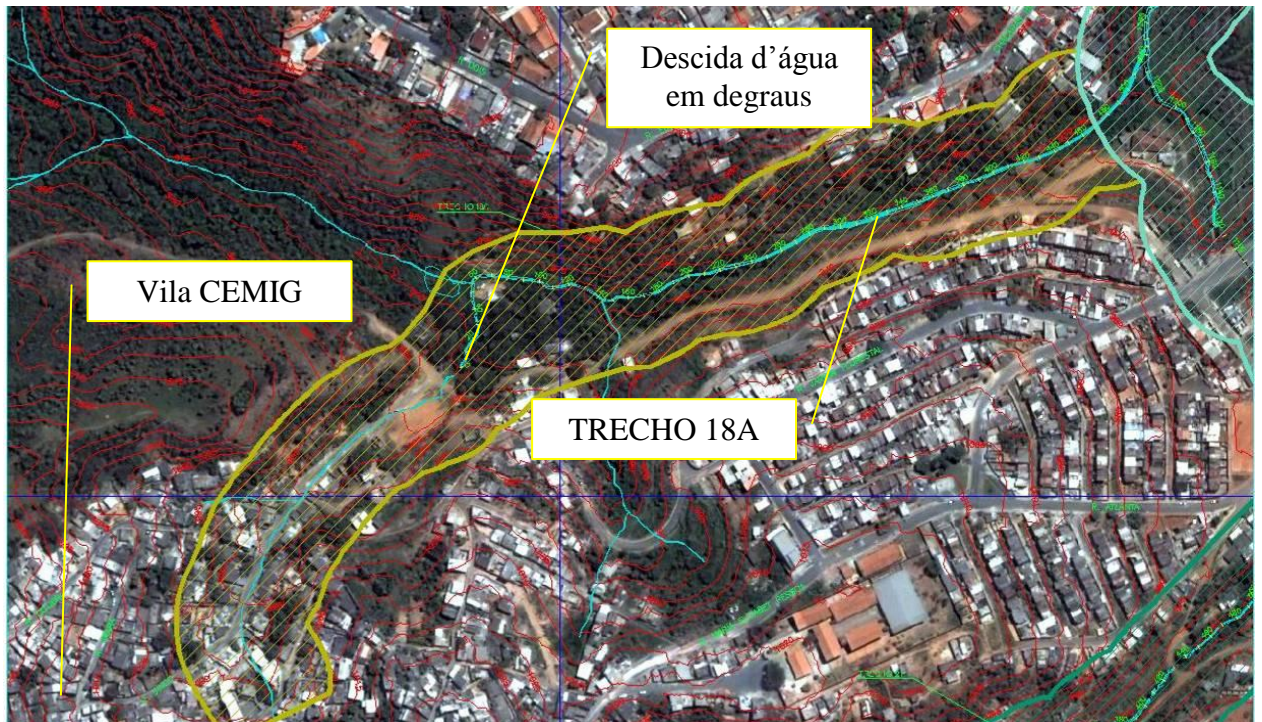


Figura 5.8: Vista aérea do Trecho 18A
(Adaptado de Belo Horizonte, 2009a)



Figura 5.9: Trecho 18A, a jusante do lançamento do trecho canalizado da Vila CEMIG

5.1.4 Trecho 21

O trecho 21 (Figura 5.10) possui extensão de 245,5m e inicia-se nas partes altas da bacia, possuindo altas declividades em seu trecho inicial e declividade média de 0,03m/m, terminando na junção com os trechos 20 e 19, onde tem início o trecho 18. O trecho 21 possui margens com sinais de erosão, a cobertura vegetal é esparsa, constituída principalmente por gramíneas (Figura 5.11). A maior ocupação é verificada na margem esquerda, havendo lançamento de esgoto e de resíduos sólidos.

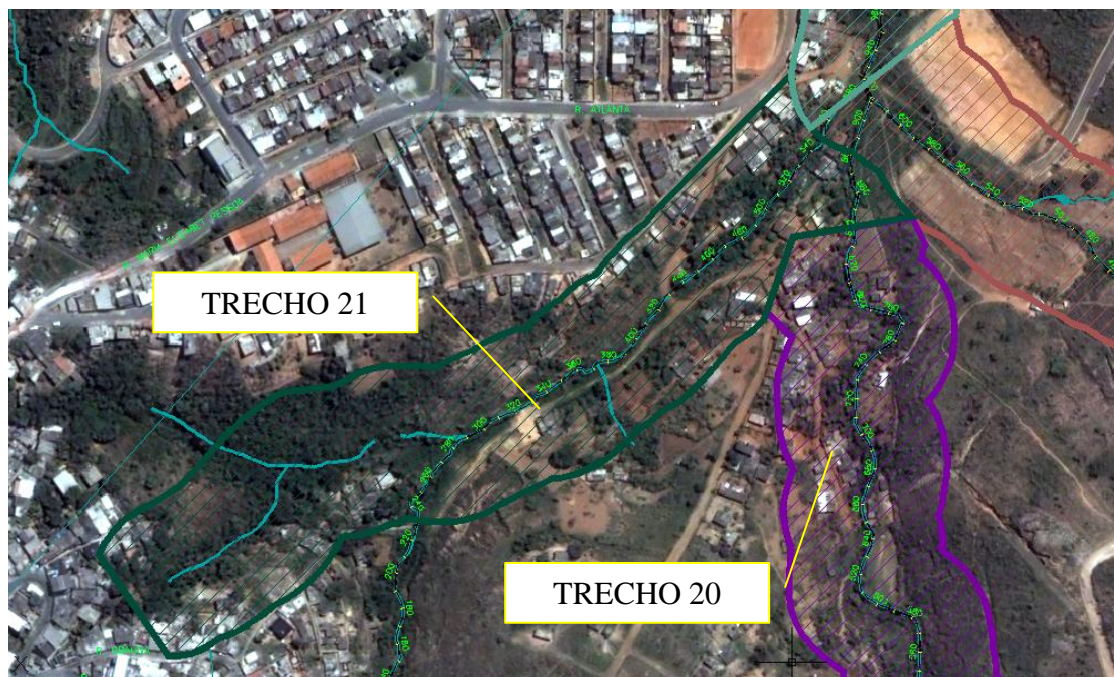


Figura 5.10: Vista aérea do Trecho 21
(Adaptado de Belo Horizonte, 2009a)



Figura 5.11: Junção dos Trechos 19, 20 e 21

5.1.5 Trecho 20

O trecho 20 (Figura 5.12) é o mais preservado dos trechos em estudo, havendo poucas casas em suas margens. Inicia-se nas partes altas da bacia, possuindo grandes declividades e apresenta características similares às do trecho 21 (Figura 5.13).

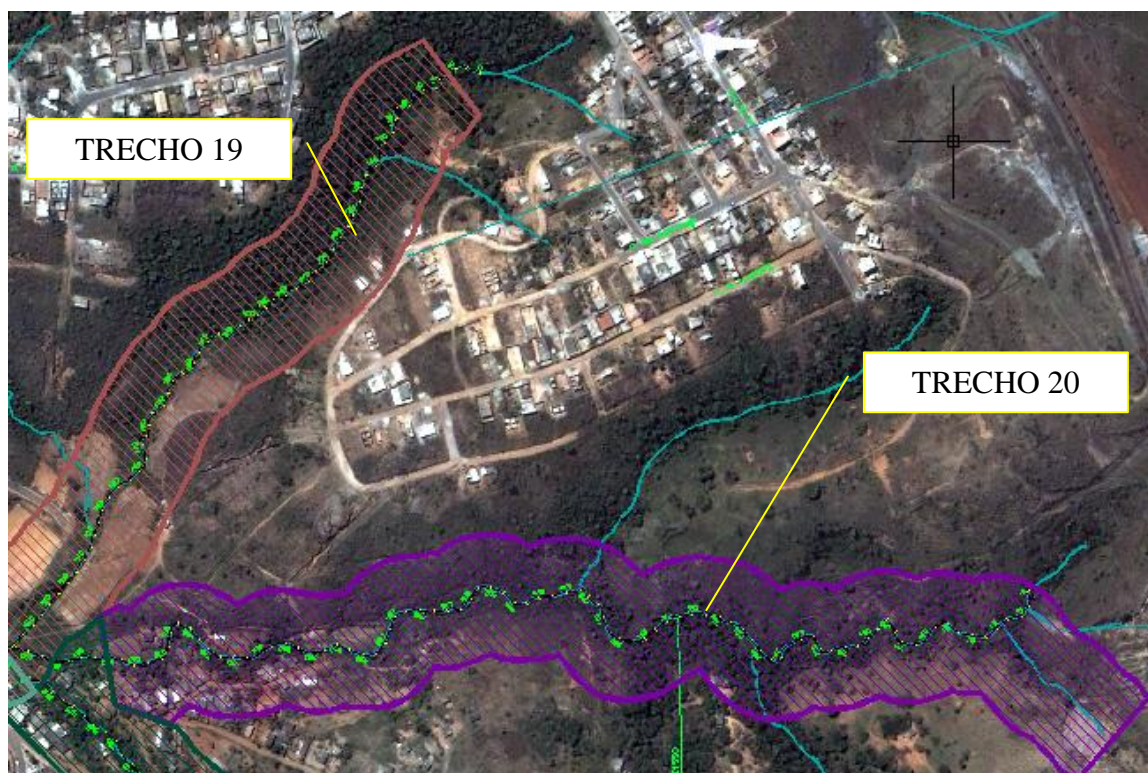


Figura 5.12: Vista aérea dos Trechos 19 e 20
(Adaptado de Belo Horizonte, 2009b)

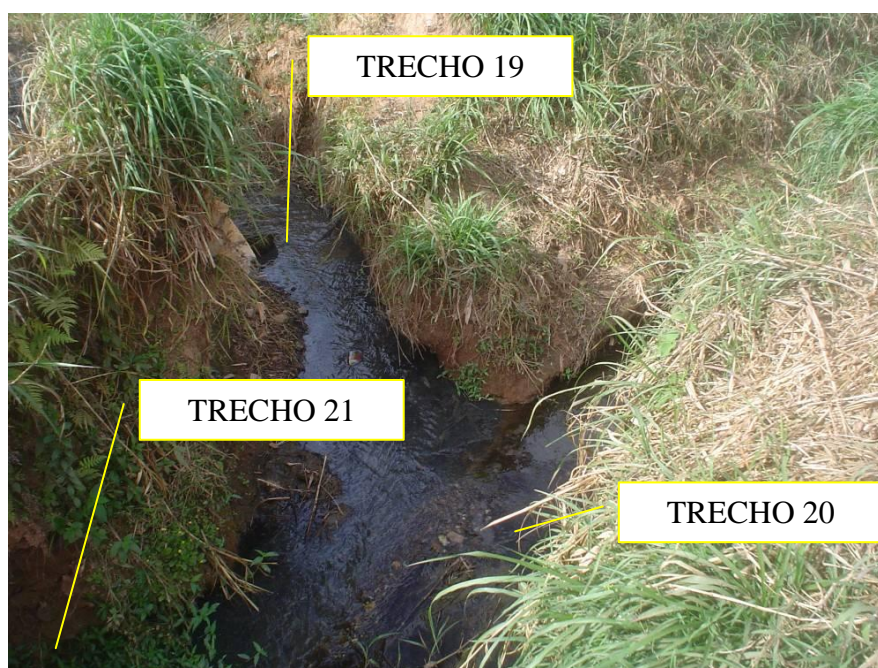


Figura 5.13: Junção dos Trechos 19, 20 e 21

5.2 Alternativas de projeto

Para cada um dos trechos apresentados foram avaliadas três alternativas de intervenção. A **alternativa 1 – Intervenção Intermediária** - proposta pelo Programa DRENURBS, compreende uma solução com materiais que permitem maior integração ambiental, porém, com grandes alterações no leito e nas margens. Esta solução prevê, para a calha menor, um canal trapezoidal com enrocamento arrumado ($d_{50}=250\text{mm}$) e transições em degraus construídas com margens em gabião colchão e fundo em gabião caixa e revegetação com espécies de no máximo 30cm na calha maior, conforme desenho esquemático da Figura 5.14. O projeto desta alternativa alterou muito o desenvolvimento longitudinal do curso de água, com redução da extensão e mudanças de eixo. Esta alternativa previu a desapropriação de uma área não edificante que compreende a calha maior, e que permite também a construção de acessos para execução de serviços de manutenção.

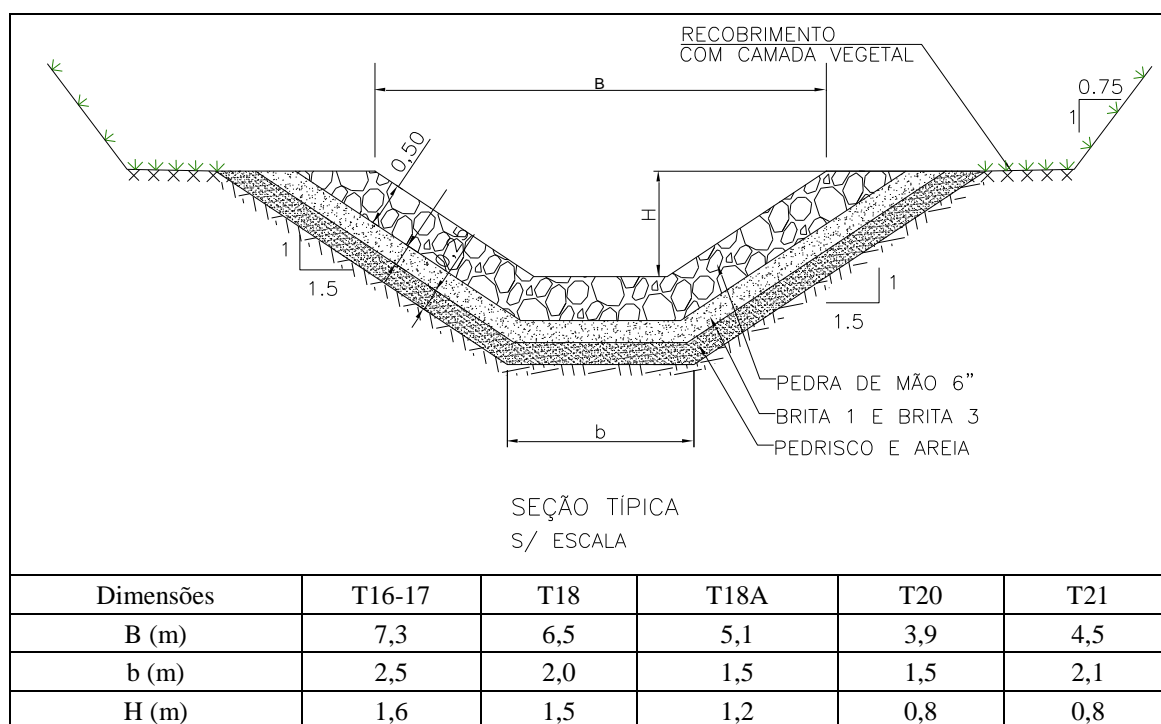


Figura 5.14: Alternativa 1 – Intervenção intermediária
Seção típica do canal trapezoidal em enrocamento
(Adaptado de Belo Horizonte, 2009a)

No dimensionamento das alternativas 2 e 3 foi utilizado o *software* HIDROWIN, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG.

A alternativa 2 - **Intervenção Tradicional** - compreende uma solução que representa a adoção de técnicas tradicionais, sendo projetada uma seção mista com calha menor em seção retangular de concreto e calha maior em grama, conforme Figura 5.15. Para esta alternativa foi mantida a mesma faixa não edificante proposta na alternativa 1 - Intermediária. A abordagem adotada no desenvolvimento longitudinal da alternativa 1 foi mantida nesta solução.

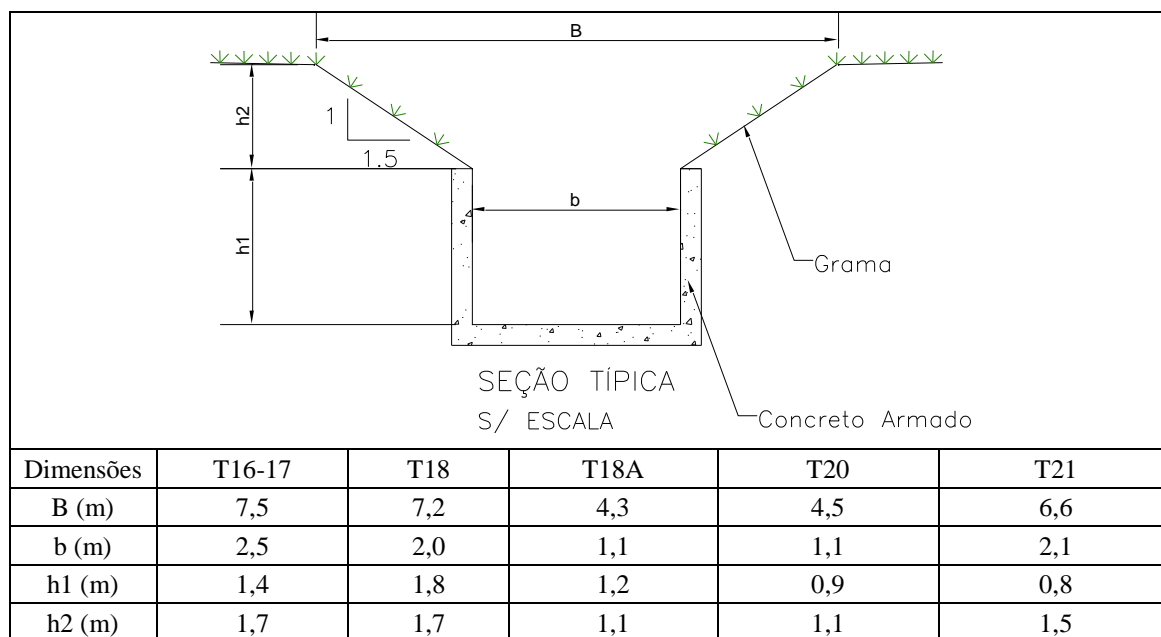


Figura 5.15: Alternativa 2 – Intervenção Tradicional
Seção típica do canal em concreto e grama

A **alternativa 3 – Intervenção Ambientalizada** - contemplou uma solução com técnicas *ambientalizadas*, incluindo o uso associado de biomanta e birretentores, conforme Figura 5.16. Para os canais com maior vazão e instabilidade de margens, Trecho 18 e 16-17, foram utilizadas biomantas com grelhas sintéticas. Nesta alternativa foi mantido o eixo do curso de água e prevista uma faixa de 20 metros de área verde não edificante em cada margem. Devido a grandes desníveis da calha do curso de água, foram previstos trechos em degrau com revestimento em gabião colchão e gabião caixa no fundo em pontos localizados, como na solução da alternativa 1.

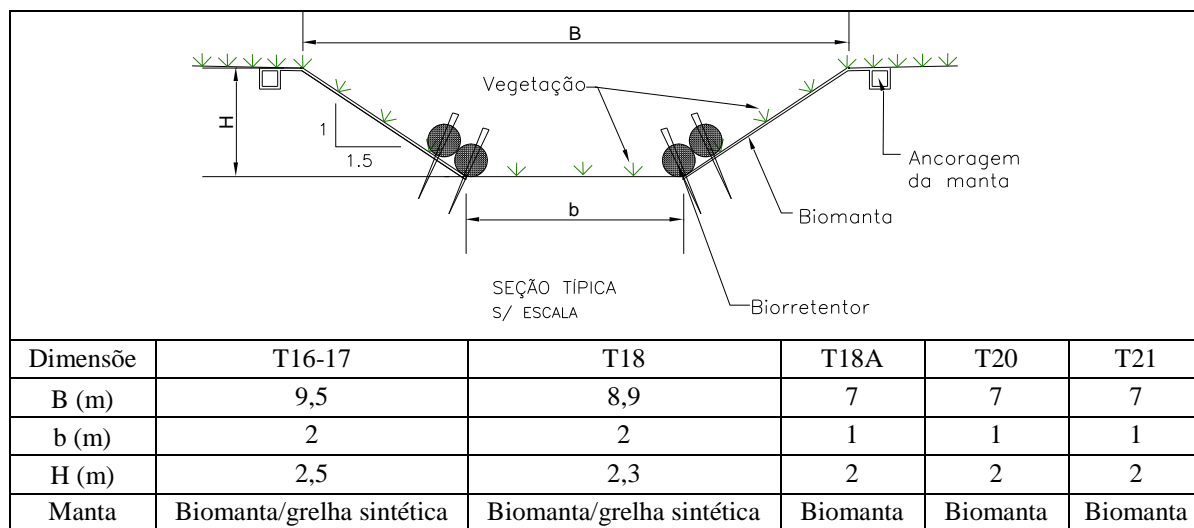


Figura 5.16: Alternativa 3 – Intervenção Ambientalizada
Seção típica do canal com biomanta e biorretentores

A tabela 5.1 apresenta as características dos trechos obtidas em Belo Horizonte (2002) e (2009a).

Tabela 5.1: Características dos trechos avaliados

Características		Trecho 20	Trecho 21	Trecho 18A	Trecho 18	Trecho 16-17
A_{Bacia} (km ²)		0,53	0,23	0,42	1,55	1,75
t_c^4 (min)		13	8	12	15	15
Extensão do trecho (m)	atual	239,8	245,5	529	449,5	493,5
	Alternativa1	193	193	480,6	429,7	415
	Alternativa2	193,8	193,2	429,65	429,65	415
	Alternativa3	239,8	245,5	449,5	449,5	493,5
Declividade média (m/m)	atual	0,045	0,03	0,018	0,034	0,0186
	Alternativa1	0,037	0,062	0,018	0,0393	0,024
	Alternativa2	0,037	0,062	0,018	0,0393	0,024
	Alternativa3	0,045	0,03	0,018	0,034	0,0186
T^5 - Calha menor (anos)		2	2	2	2	2
T^5 - Calha maior (anos)		50	50	25	50	50
Q (T=2) (m ³ /s)		2,54	2,78	3,89	10,99	12,4
Q(T=25) (m ³ /s)		-	-	9,52	-	-
Q(T=50) (m ³ /s)		8,56	7,99	11,2	29,83	33,18
Faixa não edificante (m)	Alternativa1	21	18	21	20	20
	Alternativa2	21	18	21	20	20
	Alternativa3	40	40	40	40	40

⁴ t_c - Tempo de concentração.

⁵ T – Tempo de retorno adotado no projeto.

5.3 Indicadores de desempenho

A partir das três alternativas propostas, uma mais integrada, uma tradicional e uma alternativa intermediária, foram calculados os indicadores de desempenho que são apresentados na Tabela 5.2 e as planilhas de cálculo no Apêndice III. O método multicritério utilizado foi o TOPSIS, descrito no Capítulo 3, utilizando a distância euclidiana para calcular as distâncias aos pontos ideal e anti-ideal e as taxas de similaridade que são apresentadas no Apêndice IV, identificadas como solução base. Os pesos utilizados na aplicação do método foram os valores médios obtidos na consulta a especialistas, previamente apresentados na Tabela 4.4.1.

Tabela 5.2: Indicadores e Índices de desempenho por trecho para cada alternativa

Trechos	Intervenção	Indicadores										Índices D _p
		I _{QI}	I _{QJ}	I _{AH}	I _{CR}	I _{CV}	I _{QA}	I _{DL}	I _{EG}	I _{AV}	I _{IA}	
18A	1 -Intermediária	1,00	1,00	0,66	0,14	1,00	0,55	0,58	0,92	0,43	0,74	0,65
	2 -Tradicional	1,00	1,00	0,66	0,14	1,00	0,52	0,58	1,00	0,43	0,20	0,60
	3 -Ambientalizada	1,00	1,00	1,00	0,22	1,00	1,00	1,00	1,00	0,44	0,82	0,68
20	1 -Intermediária	1,00	0,42	0,49	0,07	1,00	0,77	0,42	1,00	0,48	0,72	0,59
	2 -Tradicional	1,00	0,10	0,49	0,07	1,00	0,76	0,42	1,00	0,48	0,20	0,51
	3 -Ambientalizada	1,00	0,36	1,00	0,23	1,00	1,00	1,00	1,00	0,49	0,80	0,63
21	1 -Intermediária	1,00	0,42	0,82	0,01	1,00	0,43	0,50	1,00	0,35	0,73	0,56
	2 -Tradicional	1,00	0,10	0,82	0,01	1,00	0,38	0,50	1,00	0,32	0,20	0,48
	3 -Ambientalizada	1,00	0,36	1,00	0,23	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83	0,80	0,67
18	1 -Intermediária	1,00	1,00	0,45	0,00	1,00	1,00	0,58	0,85	0,72	0,77	0,70
	2 -Tradicional	1,00	1,00	0,45	0,00	1,00	0,97	0,58	1,00	0,72	0,20	0,65
	3 -Ambientalizada	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,97	1,00	1,00	0,72	0,84	0,70
16-17	1 -Intermediária	1,00	0,00	0,29	0,00	1,00	1,00	0,60	0,84	0,45	0,77	0,54
	2 -Tradicional	1,00	0,00	0,29	0,00	1,00	0,95	0,60	1,00	0,45	0,20	0,50
	3 -Ambientalizada	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,45	0,86	0,56

5.4 Indicadores de custo

Os indicadores de custos foram calculados com data base de janeiro de 2011. Para o cálculo do VPL dos custos de manutenção adotou-se a maior vida útil dentre as alternativas, que foi 30 anos, e uma taxa de desconto de 12%.

Para a alternativa 3 a estimativa de custo da biomanta foi feita com o menor valor da faixa estabelecida na Tabela 4.3.2, nos trechos 20, 21 e 18A, considerando-se que em Belo Horizonte devido à sua condição logística e competição entre fornecedores o seu preço seria mais baixo, além do fato de nestes trechos poder ser utilizada a manta mais simples e de menor preço. Entretanto, para os trechos 18 e 16-17, onde verificou-se

maiores vazões e processos erosivos de maior intensidade nas margens, foi adotado valor médio de R\$10,00 por ter sido utilizada a biomanta reforçada com grelha sintética que possui maior preço. Os indicadores de custos são apresentados na Tabela 5.3 e os índices de custos, calculados segundo a Equação 4.17, na Tabela 5.4.

Tabela 5.3: Indicadores de custo das alternativas do estudo do estudo de caso - Córrego Bonsucesso

Trechos	Custo de Implantação (R\$)			VPL do custo de manutenção (R\$)			Indicador de custo - I_{ck} (Custo Total - R\$)		
	Alternativa			Alternativa			Alternativa		
	1 ⁶	2	3	1	2	3	1	2	3
18A	304.540,74	716.004,65	276.348,05	310.015,79	311.873,65	81.635,62	614.556,53	1.027.878,31	357.983,67
20	90.374,71	238.923,60	130.558,64	123.594,81	122.108,47	39.578,46	213.969,52	361.032,07	170.137,10
21	103.983,83	305.182,26	126.691,72	123.957,21	122.630,83	37.128,40	227.941,04	427.813,09	163.820,12
18	353.471,71	1.023.794,53	284.305,54	279.258,27	273.609,83	76.998,93	632.729,98	1.297.404,37	361.304,47
16-17	383.622,54	936.508,00	316.435,73	270.811,95	264.249,67	81.389,31	654.434,49	1.200.757,66	397.825,04
Total	1.235.993,54	3.220.413,03	1.134.339,69	1.107.638,03	1.094.472,45	316.730,71	2.343.631,57	4.314.885,49	1.451.070,40

Tabela 5.4: Índices de custo das alternativas do estudo de caso - Córrego Bonsucesso

Trechos	IC_k		
	Alternativa		
	1- Intervenção intermediária	2 – Intervenção tradicional	3- Intervenção ambientalizada
18A	0,55	0,32	0,94
20	0,58	0,34	0,73
21	0,60	0,32	0,84
18	0,61	0,31	1,06
16-17	0,58	0,31	0,95

⁶ O custos dos trechos para a alternativa 1, levaram em consideração o custo do canal em enrocamento (R\$/m/m) e o custo do filtro de 25cm de areia e 25cm de brita, conforme projeto.

5.5 Avaliação desempenho-custo

A análise desempenho custo foi realizada por meio de Gráficos de Pareto, com os índices de custos apresentados no eixo das abscissas e a taxa de similaridade, ou índice de desempenho, no eixo das ordenadas.

As incertezas estimadas para os valores dos índices de desempenho e custos foram representadas por uma área em formato elíptico com raios proporcionais aos erros nos eixos das abscissas e das ordenadas.

A incerteza no eixo das abscissas corresponde à ponderação do indicador de custos obtido no estudo de Moura (2004), com valor de 30%, 15% para mais e para menos, no valor do indicador de custos. Considerou-se que o erro da estimativa dos custos possa ser englobado dentro desse valor, tendo em vista que, em orçamentos este erro não deve ultrapassar a faixa de 3 a 5 % do valor total do projeto.

A incerteza representada no eixo das ordenadas corresponde aos erros na determinação do índice de desempenho. Para a estimativa desta incerteza foi adotado o coeficiente de variação médio dos pesos dos indicadores de desempenho, apresentados na Tabela 4.4.1, por considerar-se que as incertezas relacionados à mensuração dos indicadores são inferiores àquelas relacionadas à definição de seus pesos. A faixa de incerteza foi então estimada em 38%, 19% para mais e 19% para menos.

Os resultados da avaliação do Trecho 18A (Figura 5.16) indicam a alternativa 3 como a melhor em termos de custos e desempenho. Como trata-se de um trecho em melhores condições de preservação, a técnica ambientalizada se destaca das demais, apresentando-se como a melhor opção.

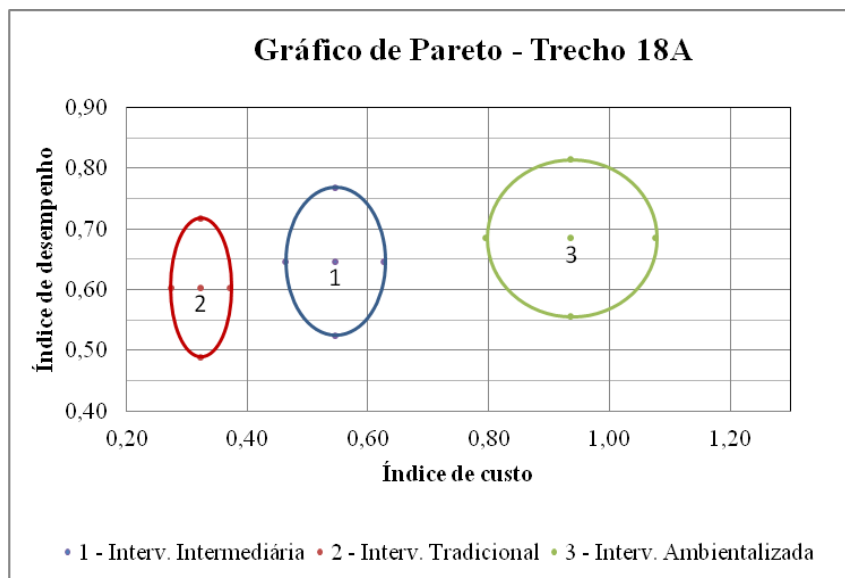


Figura 5.16: Trecho 18A - Resultado da avaliação desempenho- custo

Os resultados da avaliação do Trecho 20, mostrados na Figura 5.17, indicam que a alternativa 3 também possui custo menor e desempenho melhor que a alternativa 1, porém verifica-se que existe uma área de indiferença, que permitiria ao gestor, considerando outros aspectos ainda não avaliados, optar pela alternativa 1. Esta maior indiferença quanto ao custo, se comparada ao trecho 18A, pode ser explicada devido ao fato da alternativa 3 manter o desenvolvimento longitudinal atual, e as alternativas 1 e 2, terem reduzido muito a extensão do trecho, havendo uma diferença expressiva na extensão do trecho tratado, sendo a alternativa 3, 24% mais extensa que as demais, aproximando o seu custo do custo da alternativa 1.

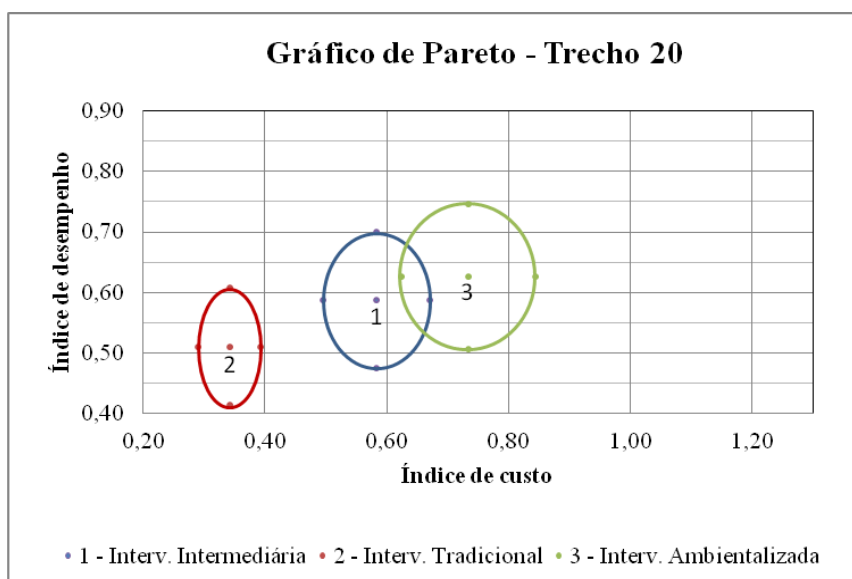


Figura 5.17: Trecho 20 - Resultado da avaliação desempenho- custo

Para o Trecho 21 a avaliação apresenta também a alternativa 3 como melhor opção, havendo para este trecho grande diferença quanto aos custos e ao desempenho em relação à alternativa 1. Pode-se apresentar as mesmas justificativas apresentadas no trecho 18A, como o maior grau de preservação.

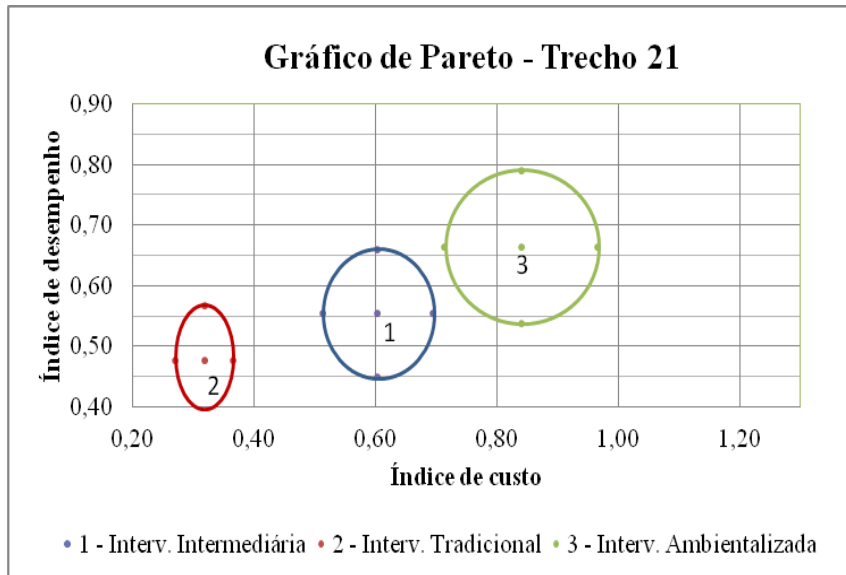


Figura 5.18: Trecho 21 - Resultado da avaliação desempenho-custo

A análise dos resultados dos Trechos 18 (Figura 5.19) e 16-17 (Figura 5.20) são similares, assim como as características destes trechos, que apresentam maior grau de degradação, de forma que as alternativas apresentam-se dentro do limite de indiferença para o desempenho. Quanto aos custos, a alternativa 3 mantém-se como a melhor opção, direcionando a escolha final para a alternativa 3. É importante destacar que para um trecho mais degradado a alternativa 2, canal em concreto, tem praticamente o mesmo desempenho das outras duas.

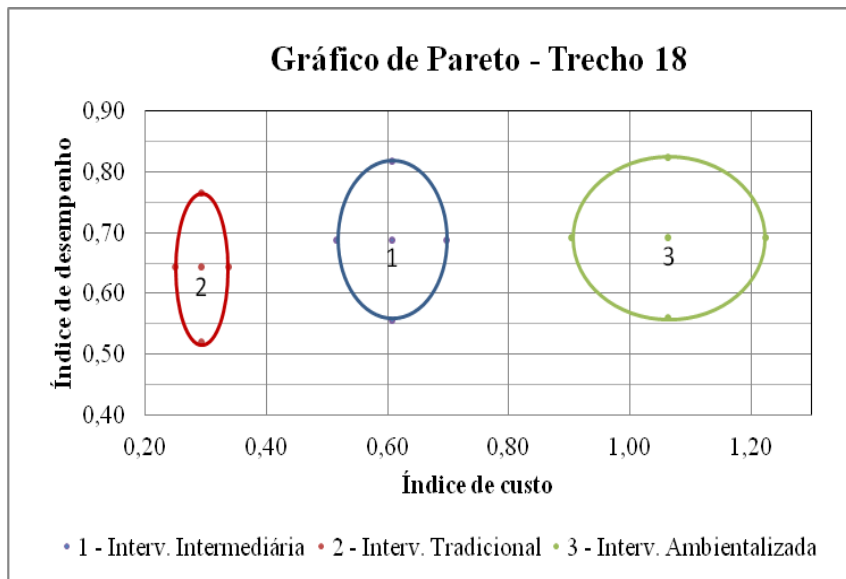


Figura 5.19: Trecho 18 - Resultado da avaliação desempenho-custo

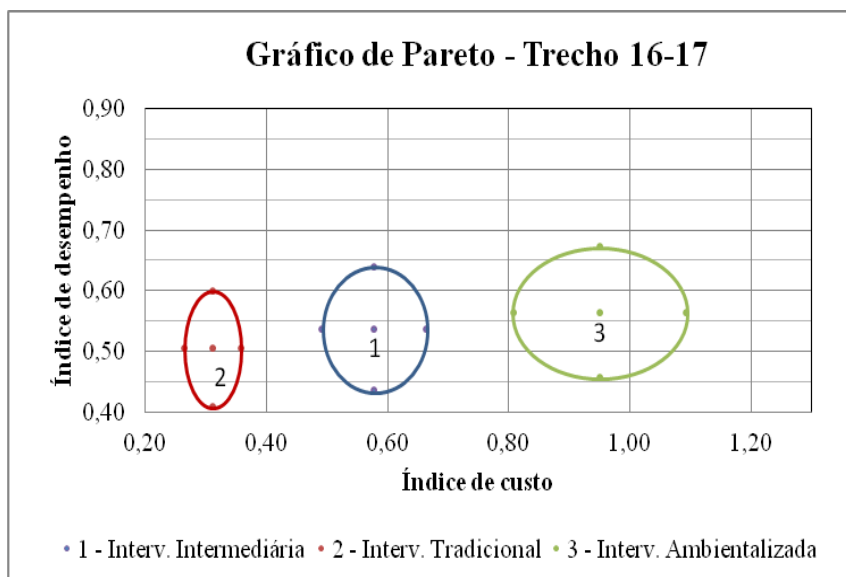


Figura 5.20: Trecho 16-17 - Resultado da avaliação desempenho- custo

5.6 Considerações Gerais

O curso de água escolhido para a avaliação da metodologia permitiu verificar a viabilidade de aplicação das técnicas ambientalizadas, mostrando a sua forte indicação para trechos preservados, que se reduz na medida em que aumenta o nível de degradação do curso de água e de ocupação de suas margens.

A metodologia permitiu a classificação das alternativas, e permite que o gestor decida, dentro dos critérios e objetivos da intervenção, por aquela que melhor os atenda.

A aplicação da metodologia foi bastante simples, não requerendo a utilização de *softwares* sofisticados, mas tão somente uma planilha eletrônica.

Os dados necessários à mensuração dos indicadores são, em sua maioria, características do trecho que podem ser obtidos em levantamentos topográficos e batimétricos, e alguns deles por observações de campo. Os dados hidrológicos e hidráulicos, apesar de exigirem estudos específicos, são geralmente contemplados em estudos de diagnóstico, sem os quais não é possível realizar qualquer intervenção e planejamento na bacia.

As incertezas envolvidas na definição dos indicadores de desempenho dependem da confiabilidade e precisão das informações obtidas, mas principalmente da definição dos pesos dos indicadores, sendo recomendada a sua definição, em função da Tabela 4.4.1, por profissional experiente e com conhecimento sobre a bacia.

A estimativa de custos foi bastante simples e rápida, já que as referências são apresentadas em função do perímetro e da extensão do trecho. As incertezas na estimativa de custos são consideráveis devido à grande variabilidade em função de diversos fatores, como localização da obra e disponibilidade de material e mão de obra, portanto, qualquer generalização envolve elevado nível de incerteza. Devido a esta variabilidade, procurou-se estabelecer faixas de valores de forma a permitir ao analista que escolha os valores mais adequados à sua região e ao curso de água em análise. Portanto, as referências de custo não se prestam para a estimativa de custos de um projeto executivo, mas mostraram-se bastante adequadas para uma análise de viabilidade de alternativas de intervenção.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 *Considerações iniciais*

Etapa importante na validação de metodologias multicriteriais consiste da avaliação da sua robustez e sensibilidade, o que significa verificar se pequenas variações nos pesos dos indicadores, em seus valores ou de outros parâmetros subjetivos da análise podem alterar a classificação apresentada. Espera-se de uma metodologia que ela seja robusta, devendo apresentar respostas similares independentemente do analista que a utiliza.

Para esta avaliação deve ser utilizada a solução base, e efetuar a variação de alguns parâmetros de maior relevância, verificando se há alteração na classificação obtida.

A solução base foi a classificação obtida no Capítulo 5, na qual foram utilizados os pesos médios indicados na Tabela 4.4.1.

Para realizar esta avaliação estabeleceram-se dois tipos de interpretações quanto à variabilidade dos pesos. A primeira oscilando os pesos dos indicadores que apresentaram os maiores coeficientes de variação, e a segunda considerando-se o perfil profissional do analista, que pode ter tendência a valorizar determinados aspectos do desempenho da intervenção. Os perfis podem variar de uma visão puramente ambientalista para uma visão tradicionalista, centrada em aspectos hidráulicos e hidrológicos. Na avaliação tradicionalista os indicadores relativos à dimensão hidrológica e hidráulica foram majorados, e na avaliação ambientalista, foram majorados os indicadores ambientais.

6.2 *Avaliação da robustez quanto à variação dos pesos dos indicadores que apresentaram maiores coeficientes de variação*

Para avaliar a metodologia foram utilizados os limites superiores e inferiores dos pesos, definidos pelo coeficiente de variação. Foram escolhidos três dos indicadores que apresentaram maior coeficiente de variação, I_{CR} , I_{QA} , e I_{IA} , sendo os demais indicadores ajustados para manter a soma dos pesos igual a 100. Foram realizadas seis avaliações, minorando e maximizando os pesos destes indicadores.

Essa avaliação é apresentada no Apêndice V, e permitiu concluir que as variações dos pesos dos indicadores citados, apesar de alterar os índices de desempenho de algumas alternativas, para determinados trechos, não alterou a ordenação obtida na solução base, para nenhuma das seis avaliações realizadas, o que evidencia a robustez da sistemática proposta.

6.3 Avaliação da robustez quanto ao perfil do analista

6.3.1 Avaliação tradicionalista

A avaliação tradicionalista representa a abordagem dominante no meio técnico durante anos e que persiste até os dias de hoje, na qual as questões relacionadas ao controle de inundações e funcionamento hidráulico da calha têm prevalência sobre os demais critérios.

Para esta avaliação, adotaram-se os limites superiores dos pesos dos indicadores da dimensão hidrológica e hidráulica, que foram definidos em função do coeficiente de variação da Tabela 4.4.1, e reduzindo de forma uniforme os demais indicadores das outras dimensões. Os valores estabelecidos são apresentados na Tabela 6.3.1, na qual também são apresentados os pesos para a avaliação ambientalista, a ser detalhada no item 6.3.2.

Tabela 6.3.1: Pesos dos indicadores para avaliação da robustez

Indicador	Avaliação Tradicionalista	Avaliação Ambientalista
I_{CR}	9	9
I_{PV}	6	6
I_{QA}	10	10
I_{DL}	7	9
I_{EG}	6	8
I_{AV}	12	16
I_{IA}	10	11
I_{QI}	16	12
I_{QJ}	15	12
I_{AH}	9	7

Para os gráficos de Pareto apresentados a seguir, as linhas tracejadas indicam a solução base e a linha cheia a avaliação tradicionalista quanto ao perfil do analista.

Pela análise dos gráficos de Pareto das Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 pode-se perceber que apesar da alteração dos valores dos índices de desempenho, não houve alteração na ordenação das alternativas.

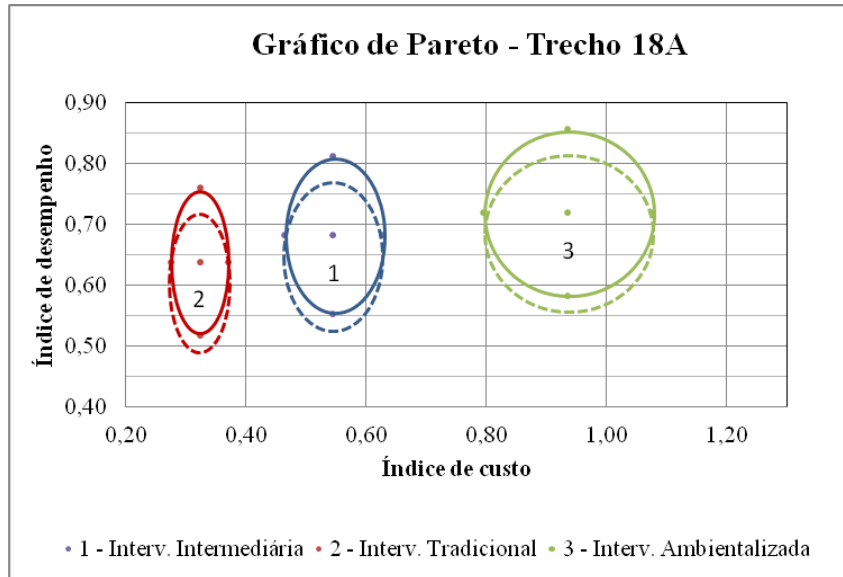


Figura 6.1: Avaliação Tradicionalista – Trecho 18A

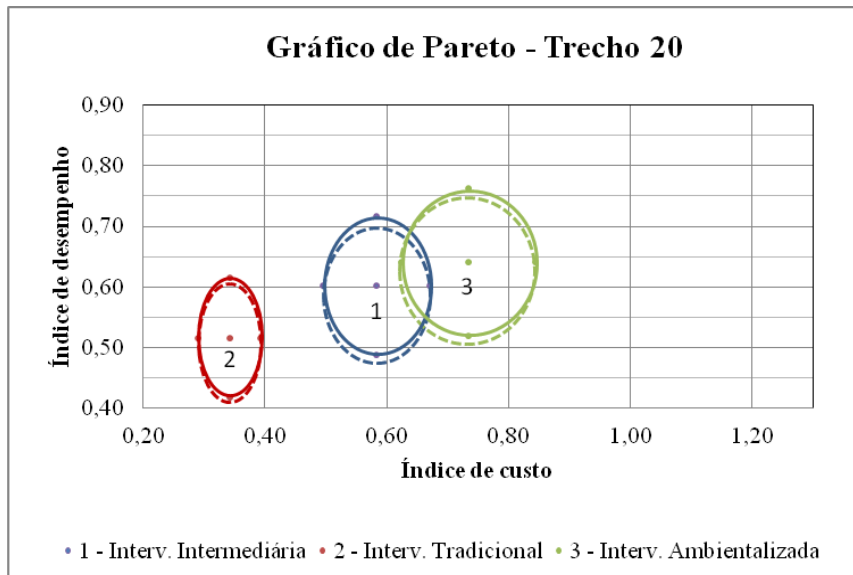


Figura 6.2: Avaliação Tradicionalista – Trecho 20

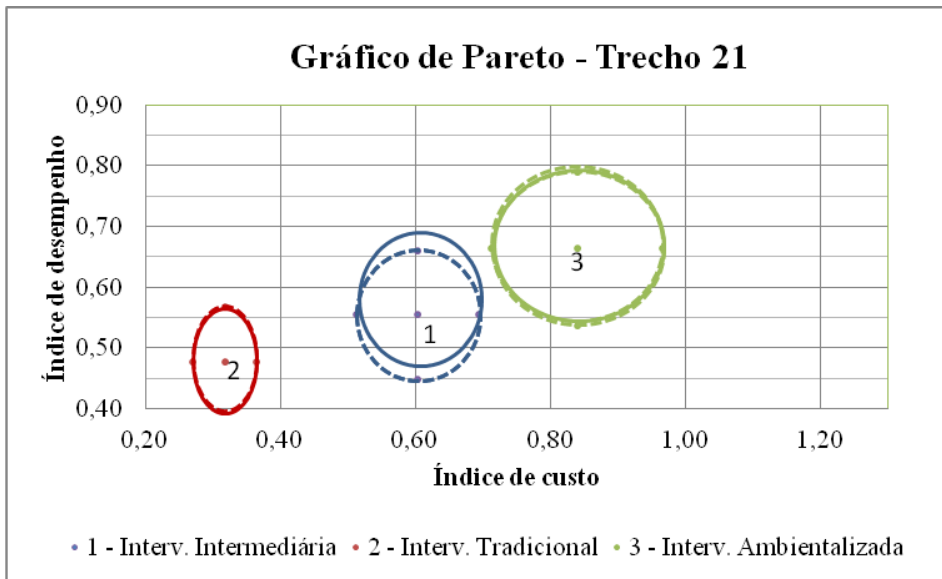


Figura 6.3: Avaliação Tradicionalista – Trecho 21

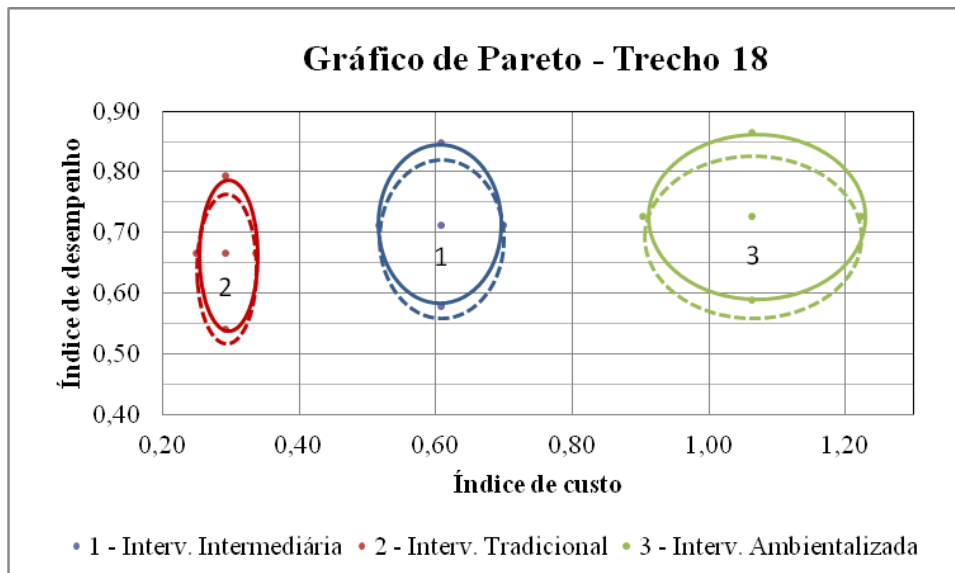


Figura 6.4: Avaliação Tradicionalista – Trecho 18

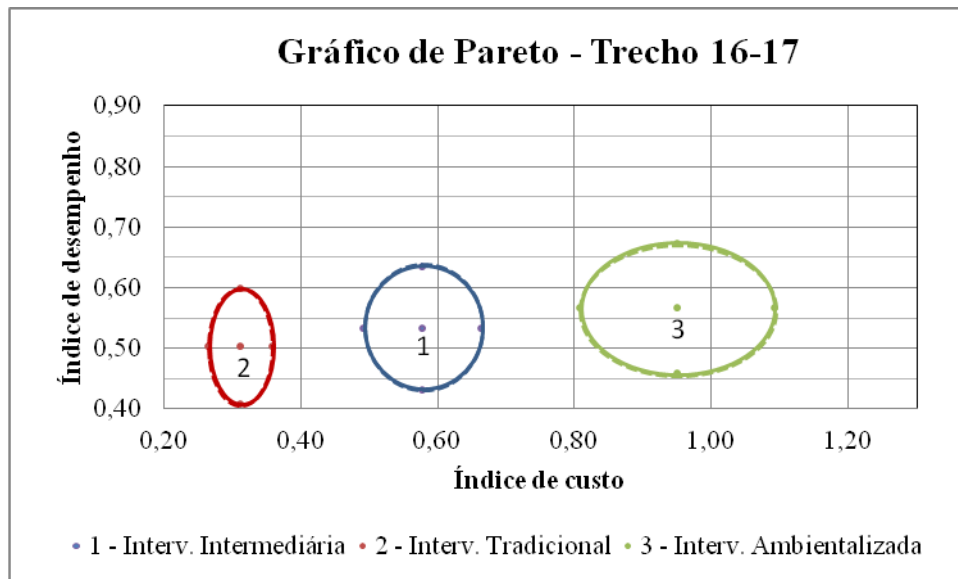


Figura 6.5: Avaliação Tradicionalista – Trechos 16-17

As planilhas com as distâncias ideal e anti-ideal e as taxas de similaridade da avaliação tradicionalista são apresentadas no Apêndice IV.

6.3.2 Avaliação Ambientalista

A avaliação ambientalista representa a concepção provável de um técnico que priorize a restauração das condições naturais do curso de água, majorando os indicadores ambientais.

Para esta avaliação adotou-se os limites superiores para os pesos dos indicadores da dimensão ambiental, definidos em função dos coeficientes de variação apresentados na Tabela 4.4.1, reduzindo de forma uniforme os demais indicadores das outras dimensões. Os valores estabelecidos são apresentados na Tabela 6.3.1

Avaliando os gráficos de Pareto apresentados nas Figuras 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, que apresentam a avaliação ambientalista para cada trecho estudado, verifica-se que também não ocorreu alteração na ordenação das alternativas. De forma que pode-se concluir que a sistemática proposta apresenta-se robusta quanto ao desempenho das alternativas.

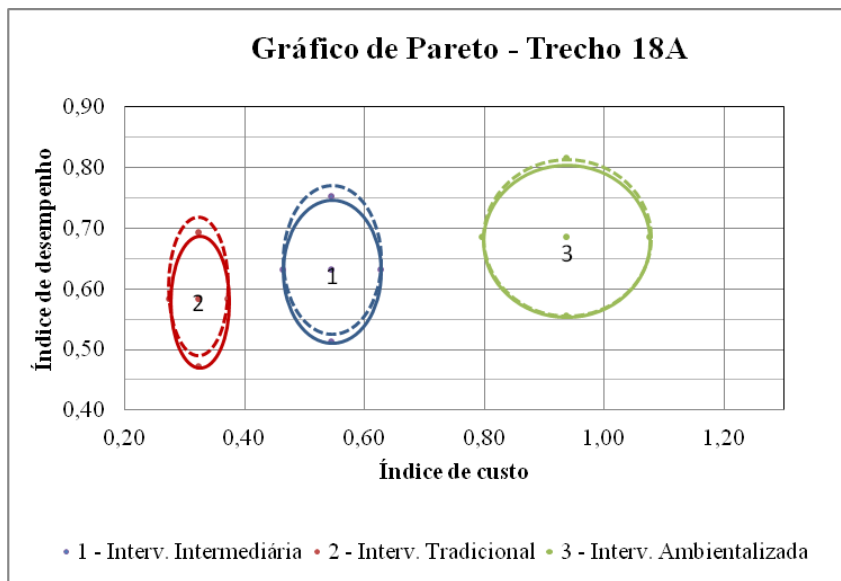


Figura 6.6: Avaliação Ambientalista – Trecho 18A

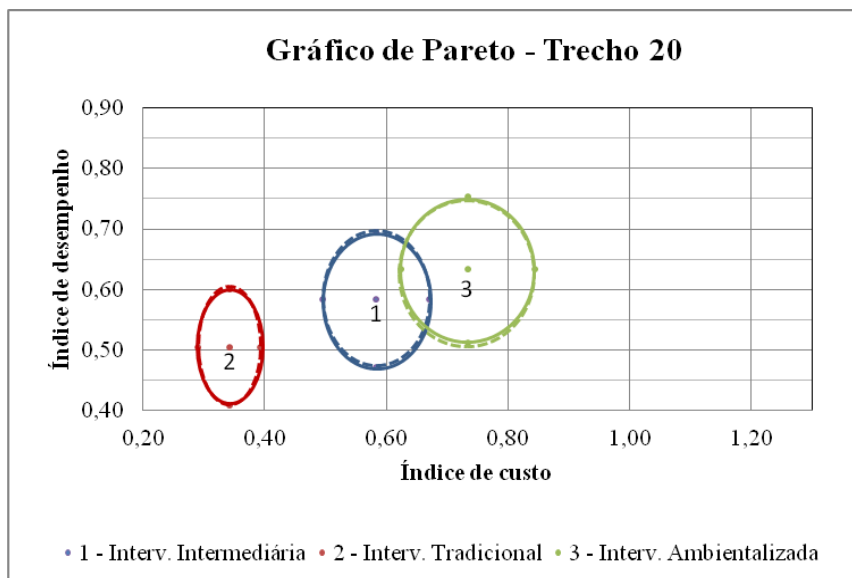


Figura 6.7: Avaliação Ambientalista – Trecho 20

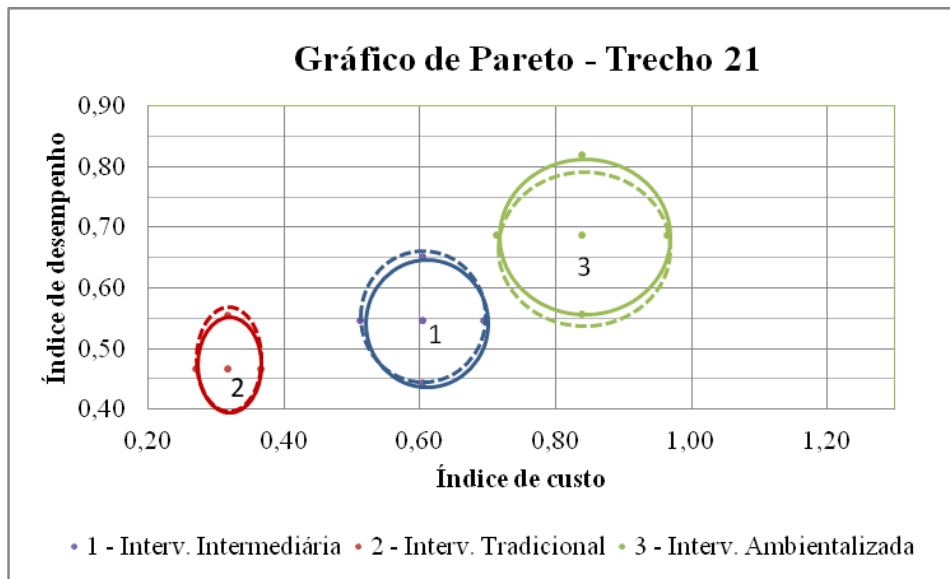


Figura 6.8: Avaliação Ambientalista – Trecho 21

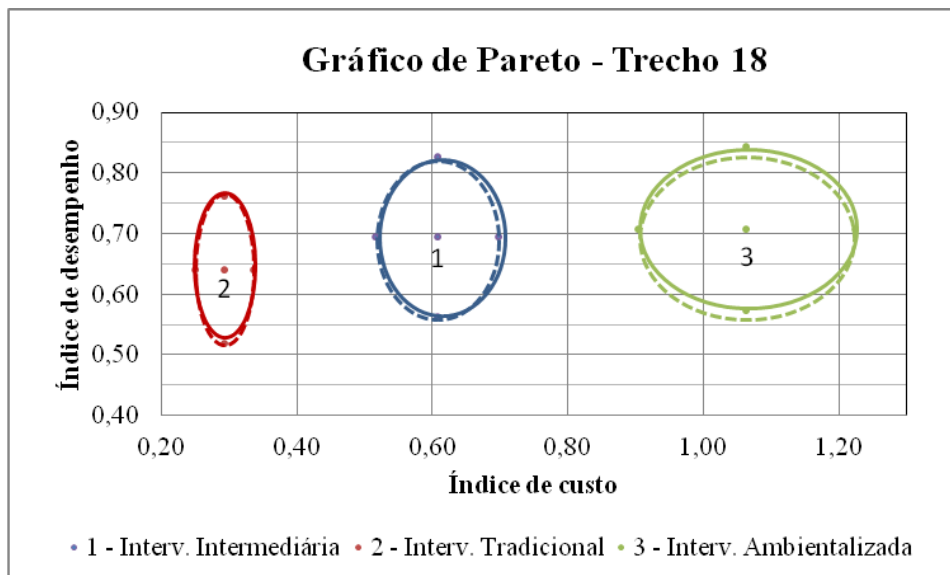


Figura 6.9: Avaliação Ambientalista – Trecho 18

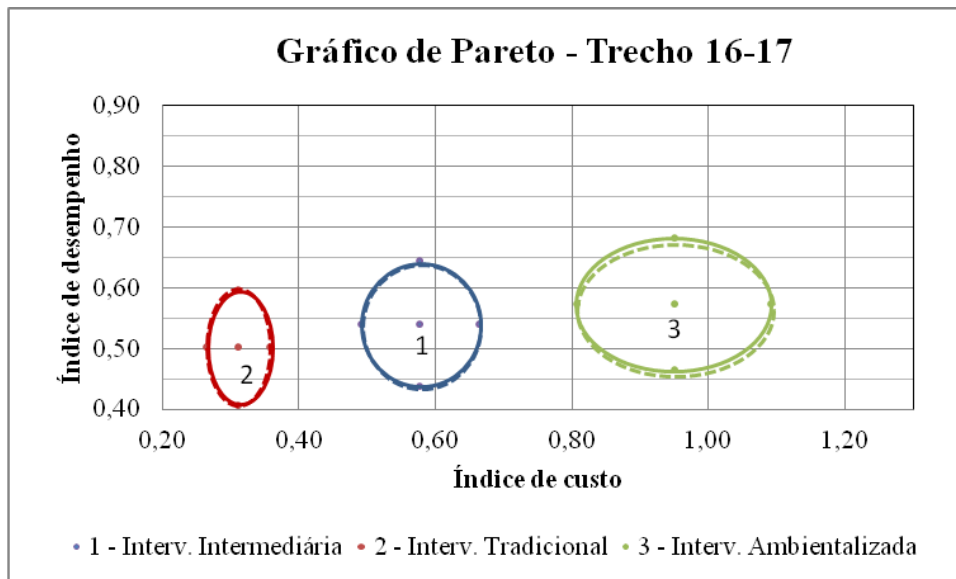


Figura 6.10: Avaliação Ambientalista – Trechos 16-17

As planilhas com as distâncias ideal e anti-ideal e as taxas de similaridade são apresentadas no Apêndice IV.

6.4 Avaliação da robustez quanto ao indicador de custos

Para avaliar a robustez quanto ao indicador de custo foi alterado o peso do indicador de 30% para 20%, verificando-se que, para todos os trechos, não houve alteração do ordenamento e do cenário de avaliação de uma forma geral. O único trecho onde houve alteração significativa foi o trecho 20, conforme Figura 6.11, verificando-se a eliminação da área de indiferença, apresentando-se a alternativa 3 como a melhor solução em termos de custos.

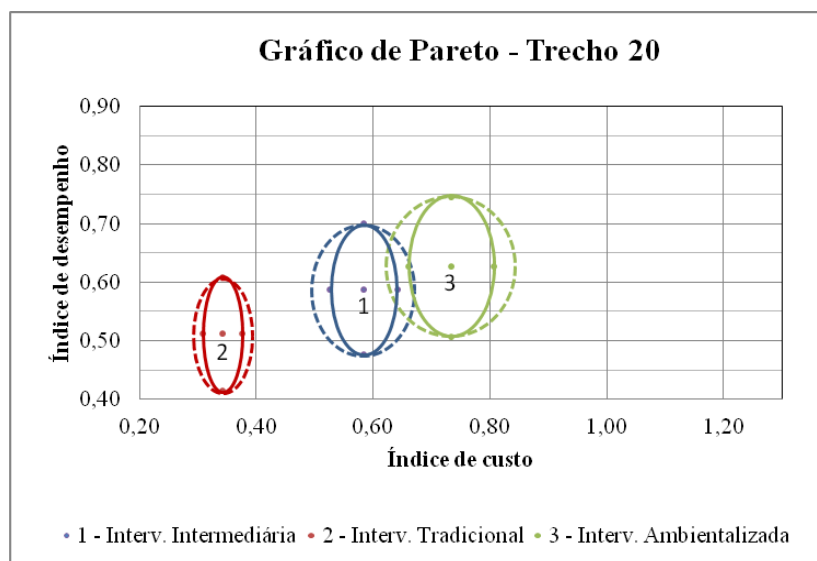


Figura 6.11: Avaliação da robustez quanto aos indicadores de custo – Trechos 20

6.5 Avaliação de sensibilidade

Para testar a sensibilidade do método aos indicadores propostos, procedeu-se à avaliação do impacto nos resultados de indicadores que poderiam assumir o valor zero, atribuindo-se este valor e analisando os resultados. São apresentados a seguir os gráficos de Pareto para os trechos que apresentaram maior variabilidade no índice de desempenho. Os indicadores utilizados nesta avaliação foram: Indicador de impacto na vazão local, de equilíbrio geomorfológico, coleta de resíduos domiciliares e de qualidade das águas. Pôde-se concluir que os resultados são pouco sensíveis à oscilação de indicadores de forma isolada.

A Figura 6.12 apresenta os resultados da solução base (linha tracejada) e a solução caso o indicador I_{QI} assumisse valor zero (linha contínua), podendo-se verificar que não houve alteração da ordenação das alternativas para o trecho 18. Este foi o trecho que apresentou maior variação relativa entre as alternativas quanto à análise de sensibilidade ao indicador de impacto nas vazões locais.

Na Figura 6.13 é apresentada a avaliação de sensibilidade quanto ao indicador I_{EG} para o trecho 21, que foi o indicador com maior variação de valor, porém não ocorreu alteração na ordenação das alternativas. Portanto, os resultados demonstraram baixa sensibilidade às variações do indicador proposto.

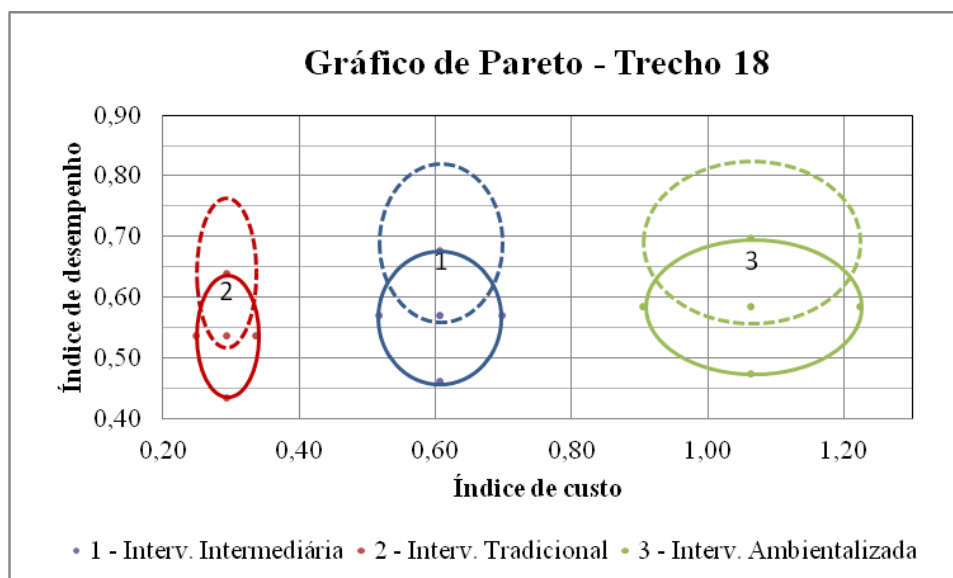


Figura 6.12: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{QI} – Trecho 18

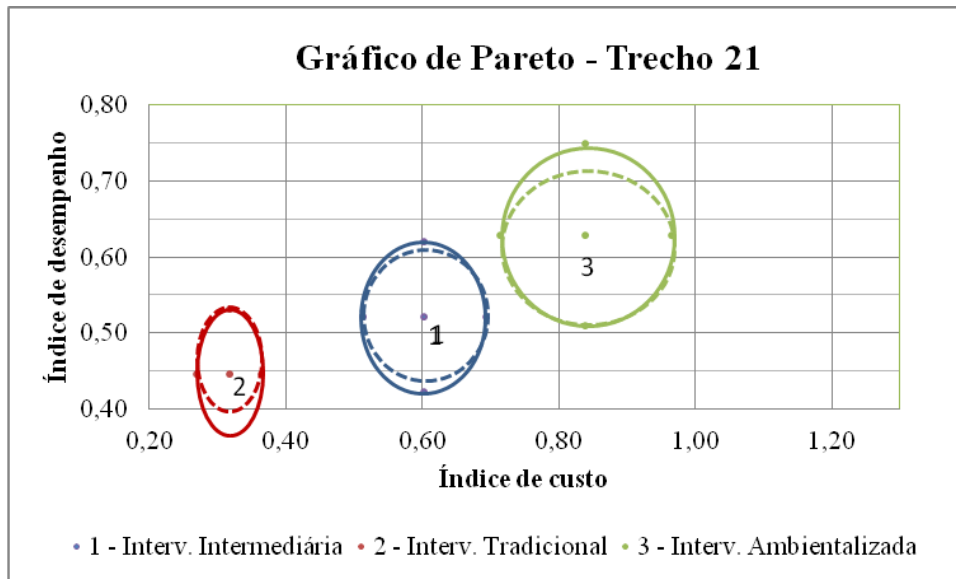


Figura 6.13: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{EG} – Trecho 21

A mesma avaliação foi feita quanto ao indicador I_{CR} , tendo ocorrido as maiores variações para o trecho 21, entretanto sem alteração da ordenação, conforme pode ser visualizado na Figura 6.14.

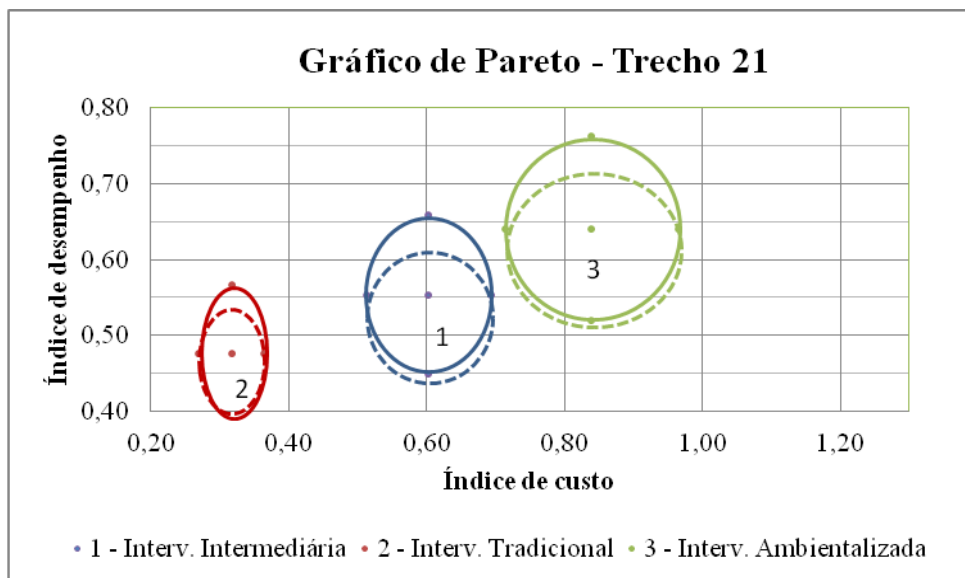


Figura 6.14: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{CR} – Trecho 21

A Figura 6.15 apresenta os resultados da solução base (linha tracejada) e a solução caso o indicador I_{QA} assumisse valor zero (linha contínua), podendo-se verificar que não houve alteração da ordenação das alternativas para o trecho 18, que foi aquele que apresentou maior variação no posicionamento das alternativas.

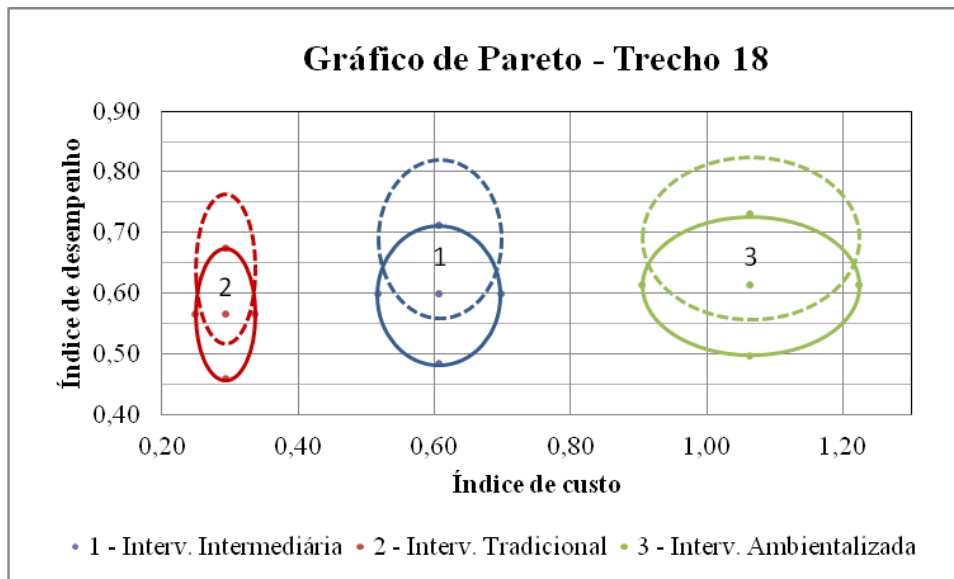


Figura 6.15: Avaliação da sensibilidade ao indicador I_{QA} – Trecho 18

Pode-se concluir que a sistemática de avaliação de alternativas apresentou-se pouco sensível às variações dos valores dos indicadores.

6.6 Considerações Gerais

A avaliação indicou que a metodologia apresenta-se robusta, permitindo obter a mesma classificação das alternativas de intervenções, mesmo aplicando-se diferentes pesos, desde que dentro dos limites do coeficiente de variação apresentado na Tabela 4.4.1. A variação do peso do índice de custos também não promoveu alteração dos resultados.

A metodologia mostrou-se pouco sensível às alterações aplicadas aos indicadores, apresentando resultados com variação dentro dos limites de incerteza, sem haver alteração do ordenamento das alternativas.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após a avaliação da metodologia e dos resultados obtidos no estudo de caso, pode-se concluir que os objetivos propostos foram alcançados. Acredita-se que este trabalho representa contribuição importante para a avaliação de alternativas de intervenções em cursos de água, podendo ser utilizada como ferramenta de auxílio à decisão por gestores e projetistas.

A metodologia proposta demonstrou-se de fácil utilização, com indicadores com reduzido grau de subjetividade e parâmetros de fácil obtenção. Deve-se ressaltar também, a simplicidade de aplicação, que independe da utilização de *softwares* sofisticados, podendo ser aplicada com auxílio de uma planilha eletrônica ou calculadoras programáveis, já que o método multicritério utilizado, TOPSIS, possui formulação bastante simples.

A metodologia mostrou-se robusta e pouco sensível a possíveis variações na determinação dos pesos e eliminações de indicadores. Uma vantagem importante de se destacar é a possibilidade de o analista adotar pesos para os indicadores de acordo com as características do curso de água e da bacia, mostrando flexibilidade a adaptações.

O estabelecimento dos indicadores foi dificultado pela inexistência de dados de monitoramento e estudos relativos ao desempenho das técnicas disponíveis e já utilizadas. Verifica-se que ainda impera a cultura da falta de planejamento e de monitoramento dos sistemas de drenagem. Não existem bancos de dados relativos aos serviços de manutenção requeridos, da sua periodicidade e muito menos dos custos envolvidos. Outra deficiência da falta de avaliação dos projetos implementados é inexistência de estudos sobre a vida útil dessas estruturas, sendo necessário utilizar dados da literatura internacional, que na maioria dos casos envolve condições climáticas e culturais muito diferentes daquelas presentes no Brasil.

Outro problema verificado diz respeito à dificuldade de acesso aos estudos e dados existentes, pois os sistemas de informação das instituições e órgãos públicos são ainda muito deficientes. Diversos estudos que poderiam estar sendo utilizados para o desenvolvimento de pesquisas encontram-se perdidos em arquivos técnicos restritos aos

técnicos daquele órgão ou entidade, e muitas vezes em condições precárias e de forma desorganizada, que vão ocasionar a sua perda de alguma forma. Apesar da frequente colaboração desses órgãos e instituições quando da solicitação de informações para pesquisa, há morosidade frequente e incompletude de informações que poderiam, a exemplo de instituições e órgãos americanos e europeus, estarem disponíveis em seu sítio eletrônico.

Essa deficiência de dados e de estudos sobre o desempenho dessas técnicas levou à dificuldade de mensuração de alguns indicadores. Alguns desses são naturalmente complexos e de difícil avaliação, e diante da inexistência de estudos específicos, teve-se que recorrer à avaliação qualitativa, com certa carga de subjetividade, para considerar aspectos de grande relevância na sua definição.

É importante ressaltar, que o melhor indicador é aquele que consegue traduzir o significado desejado de forma simples e objetiva. Desta maneira, buscou-se trabalhar com parâmetros acessíveis e de maior relevância para o aspecto avaliado.

Como diversas técnicas abordadas neste trabalho ainda são pouco conhecidas e utilizadas no Brasil, a obtenção de referências de custos foi difícil, ocasionando incertezas na definição desses indicadores. Assim como para os serviços de manutenção, foi necessário utilizar referências internacionais para custos de implantação que demonstraram boa conformidade aos custos praticados no Brasil, após análise comparativa dos itens que possuíam referências de custo nacionais.

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, vislumbra-se a possibilidade de pesquisas que deem continuidade a este trabalho com a avaliação de aspectos que não foram contemplados neste estudo, os quais são descritos a seguir.

As incertezas relativas à mensuração dos indicadores de desempenho podem ser avaliadas de forma mais precisa com o uso de derivadas parciais envolvendo cada variável envolvida.

Como possibilidade de continuidade do trabalho desenvolvido em pesquisas futuras, pode-se recomendar também o desenvolvimento de sistema informatizado que permita

ao analista entrar com os parâmetros de cálculo dos indicadores e testar um grande número de técnicas disponíveis e aplicáveis, fazendo uma avaliação muito mais ampla das alternativas possíveis.

Outra perspectiva de pesquisa seria a avaliação da prioridade de ação, já que geralmente as demandas são maiores que a disponibilidade de recursos, que devem ser aplicados nos locais mais vulneráveis e que ofereçam o maior benefício possível. Portanto, em uma bacia com diversos trechos que precisam ser tratados, pode-se estabelecer uma metodologia de priorização dos trechos em função da vulnerabilidade, do potencial de restauração, dos benefícios à população, aos recursos hídricos e ao meio ambiente.

Recomenda-se aos órgãos responsáveis pela construção e manutenção dos sistemas de drenagem, que estabeleçam um sistema de monitoramento do funcionamento destes sistemas, que contemplem dados de desempenho técnico como serviços requeridos, sua frequência e volume, e custos relacionados, assim como a avaliação da vida útil dos elementos utilizados.

8 REFERÊNCIAS

- ADRIAANSE, A. *Environmental policy performance indicators*. Haia, Holanda: SDV Publishers, 1993.
- AL-ANI, I. A.; SIDEK, L. M.; DESA, M.N. M.; BASRI, N. E. A. Development of Decision Support Tools for Urban Storm Drainage. *12th International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre, Brasil: 2011.
- ALVAREZ-GUERRA, M.; CANIS, L.; VOULVOULIS, N.; VIGURI, J. R.; LINKOV, I.; Prioritization of sediment management alternatives using stochastic multicriteria acceptability analysis. *Science of the Total Environment*. Vol. 408 pp. 4354–4367. Grã-Bretanha: Elsevier Science Ltd., 2010.
- BAIR, B. *Stream Restoration Cost Estimates, Proceedings of the Salmon Habitat Restoration Cost Workshop*. Pacific States Marine Fisheries Commission, 2000. Disponível em <http://www.st.nmfs.noaa.gov/st4/abstracts/Salmon_Habitat_Restoration_Cost_Workshop_2000.htm>, acesso em 10/04/2011.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.O.; BARRAUD, S. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Porto Alegre, Brasil: ABRH, 2005, 266p.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. *Fundamentos de engenharia hidráulica*. Belo Horizonte, Brasil: Editora UFMG, 2002, 440p.
- BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. *Évaluation économique de l'utilisation de techniques alternatives en assainissement pluvial*. Lyon, França: Institut National de Sciences Appliqués, 2001. 72 p.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.O. Sustainable development and urban stormwater management in the context of tropical developing countries. In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria e Ambiental. México: AIDIS, p.423-429, 1996.
- BAPTISTA, M. B. *Contribution à l'Étude de la Propagation de Crues em Hydrologie. Tese de Doutorado, École Nationale des Ponts et Chaussées*. Paris, França, 1990.
- BAPTISTA, M. B.; VON SPERLING, M. *Morfologia fluvial*. In: VON SPERLING, M. *Estudos e Modelagem da Qualidade da Água em Rios*. cap. 4, p.139-183. Horizonte, Brasil: Editora UFMG, 2007.
- BARRERA-ROLDÁN, A.; SALDÍVAR-VALDÉS, A. *Proposal and application of a sustainable development index. Ecological Indicators*. Elsevier Science Ltd., Volume 2, pp.251-256, 2002.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. *Estudo de alternativas de mínimo custo para canalizações*. Belo Horizonte, Brasil: 1994.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. *Caderno de Encargos de Infraestrutura, Segunda Edição*. Belo Horizonte, Brasil: 2000.

BELO HORIZONTE - Secretaria Municipal de Estrutura Urbana; MAGNA ENGENHARIA Ltda. *Diagnóstico sanitário e ambiental Bacia do córrego Bonsucesso - 4110400, Lote 1, Volume 1 - TOMO I*. Belo Horizonte, Brasil: 2002.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. *Documentação para Análise Econômica – Drenurbs*. Belo Horizonte, Brasil: 2003.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. *Programa DRENURBS - Bacia do córrego Bonsucesso - Projeto Executivo Trechos 16, 17, 18, 18A, 20 e 21, Memorial Descritivo e projetos*. Belo Horizonte, Brasil: 2009a.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. Projeto executivo barragem B1 - Avaliação hidrológica/hidráulica - Sistema extravasor. Belo Horizonte, Brasil: 2009b.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. *Plano anual de manutenção dos empreendimentos - sub-bacias dos córregos 1º de Maio, Nossa Senhora da Piedade e Baleares*. Belo Horizonte, Brasil: 2009c.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP. *Programa DRENURBS - Plano de Controle ambiental de obras - Execução das obras de infraestrutura urbana na bacia do córrego Bonsucesso*. Belo Horizonte, Brasil: 2010.

BENTRUP, G.; HOAG, J. C. *The practical streambank bioengineering guide - User's guide for natural streambank stabilization techniques in the arid and semi-arid great basin and intermountain west – Appendix A – Bioengineering techniques*. USA: The United States Department of Agriculture, 1998.

BERNARD, C.; HERVIOU, P.; POUJOL, T. Stormwater Treatment by Dissolved Air Flotation: First results from a pilot project. *Water Science and Technology*, 32(1), 137-143, 1995.

BERNHARDT, E. S.; PALMER, M. A. Restoring streams in an urbanizing world, *Freshwater Biology*. Vol. 42 Issue 4, p738-741, 2007.

BERZ, G. Flood Disasters: Lessons from the Past – Worries for the Future. *Water & Maritime Engineering*, v.142, 3-8, 2000.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. *River Futures – An integrative scientific approach to river repair*. Washington, USA: Island Press, 2008, 304p.

BARRETO, A. B. A seleção de macrófitas aquáticas com potencial para remoção de

Metais-traço em fitorremediação. (*Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos*) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil: 2011, 99p.

CA - CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Stream-bank Repair Guidance Manual for the Private Landowner*. California, USA: Weiss Associates, 2005, 36p. + apêndices. Disponível em <http://www.swrcb.ca.gov/rwqcb2/water_issues/programs/TMDLs/guadalupe_river_mercury/GuidanceManualStream-bankRepair.pdf>, consulta em 27/05/2010.

CARDOSO, A. S. *Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas (Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)* - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil: 2008, 197p.

CARDOSO, A. S. *Contribuição para estudos de intervenções em cursos de água em bacias urbanas. (Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)* - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil: 2011, 169p.

CASTEROT, B. *Revitalização de Rios no Mundo: América, Europa e Ásia*. Organização: MATTA MACHADO, A. T. G.; LISBOA, A. H.; ALVES, C. B. M.; LOPES, D. A.; GOULART, E. M. A.; LEITE, F. A.; POLIGNANO, M. V. Belo Horizonte, Brasil: Instituto Guaicuy, 2010, 344 p.

CASTRO, L.A.M. *Proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)* - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil: 2002, 118 p.

CASTRO, L.A.M.. *Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água (Tese de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)* - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil: 2007, 297p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. Editora Edgard Blucher. São Paulo, Brasil: 1981, 312p.

CHOCAT, B. (Coordenador). *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine*. Paris, França: Tec et Doc Lavoisier, 1997, 1136p.

CIDEU - Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano. *Programa DRENURBS (Belo Horizonte)* <<http://www.cideu.org/site/content.php?id=3144>>, acesso em fev. de 2010.

COUTINHO, W. *Emprego da flotação a ar dissolvido no tratamento de cursos d'água - Avaliação de Desempenho da Estação de Tratamento dos Córregos Ressaca e Sarandi Afluentes à Represa da Pampulha. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio*

Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil: 2007, 104 p.

CSD. Programme of work on indicators for sustainable development of the Commission on Sustainable Development. Report of the Secretary-General to the CSD on the Chapter 40 of Agenda 21. *Information for the Decision-Making (E/CN.17/1995/18)*. Washington, Estados Unidos: 1995, 42p.

CWP - Center of Watershed Promotion. *Urban Subwatershe Restoration Manual Series – Manual 4 - Urban Stream Repair Practices - Version 1.0*. Washington, Estados Unidos: 2004, 240 p. Disponível em <<http://www.cwp.org/store/free-downloads.html>>, acesso em 14/01/2011.

DEBO, T.; REESE, A. *Municipal Storm Water Management*. Lewis Publishers: Boca Raton, 1995.

DHIR, B.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. P. Potential of aquatic macrophytes for removing contaminants from the environment. *Critical Reviews in Envir. Sci. and Tech.*, v. 39, p. 754-781, 2009.

DONAT, M. *Bioengineering Techniques for Streambank Restoration - A Review of Central European Practices*. Watershed Restoration Program Ministry of Environment, Lands and Parks and Ministry of Forests. Canadá: British Columbia, 1994, 92p.

DOWNS, P. W.; GREGORY, K. J. *River Channel Mangement – Towards Sustainable Catchment Hydrosystems*. Hodder Arnold, 2004, 394p.

DROSTE, R.L., *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. ISBN: 0471124443, 1996, 816 p.

ELLISA, J. B.; DEUTSCHB, J.C.; MOUCHEL, J.M.; SCHOLESA, L.; REVITTA, M.D. Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff. *Science of the total environment*. Vol. 334-335, pp. 251 – 260. Grã-Bretanha: Elsevier Science Ltd., 2004.

FISRWG - Federal Interagency Stream Restoration Working Group, *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*. Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001, 637p. Disponível em <http://www.nrcs.usda.gov/technical/stream_restoration/newtofc.html>, acesso em 24/06/2011.

FISCHENICH, C. *Stability Thresholds For Stream Restoration Materials*. U.S. Army Corps of Engineers. Ecosystem Management and Restoration Research Program. ERDC-TN-EMRRP-SR-29.2001, 10p. Disponível em <<http://el.ercd.usace.army.mil/emrrp/pdf/sr29.pdf>>, acesso em 10/08/2011.

FRANÇA. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. *Bulletin officiel, no. 1, 24 janeiro de 2011 e planilha em arquivo excel com histórico dos valores dos índices TP de 1974 a 2010*. Disponíveis em

<<http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr>>, acessados em 18/01/2011.

FUAMBA, M.; COULAIS, C.; BERTRAND, H. An innovative method for selecting efficient Best Management Practices. *12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre, Brazil: 2011.

GEERSE, J. M. U.; LOBBRECHT, A. H. *Assessing the performance of urban drainage systems: 'general approach' applied to the city of Rotterdam*. Urban Water. Vol.4. 2002, pp.199–209.

GEOLOGICAL SURVEY OF IRELAND – Department of Communications, Energy and Natural Resources. Disponível em <<http://www.gsi.ie/Education/Europe+Landscapes/Netherlands.htm>>, acesso em fevereiro de 2008.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. *Tomada de Decisões em Cenários Complexos*. São Paulo, Brasil: Pioneira Thomson Learning, 2004, 168p.

GREGORY, K. J. Urban Channel Adjustments in a Management Context: An Australian Example. *Environmental Management*, Vol. 29, No. 4, p. 620–633, 2002.

HEATON, M. G.; GRILLMAYER, R.; IMHOF, J. G. *Ontario's Stream Rehabilitation Manual. Chapter 6. Ontario Streams*. 2002. Disponível em <http://www.ontariostreams.on.ca/rehabilitation%20_manual.html>, acesso em 02/04/2011.

HERMANS, C.; ERICKSONB, J.; NOORDEWIERC, T.; SHELDOND, A.; KLINE, M. Collaborative environmental planning in river management: An application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont. *Journal of environmental Management*. Vol. 84 pp. 534–546. Grã-Bretanha: Elsevier Science Ltd., 2007.

HILL, R.. *Revitalização de Rios no Mundo: América, Europa e Ásia*. Organização: MATTA MACHADO, A. T. G.; LISBOA, A. H.; ALVES, C. B. M.; LOPES, D. A.; GOULART, E. M. A.; LEITE, F. A.; POLIGNANO, M. V. Belo Horizonte, Brasil: Instituto Guaicuy, 2010, 344 p.

HWANG, C.; YOON, K. *Multiple attribute decision making. Methodes and applications survey*. Springer, 1981.

KOLSKY, P; BUTLER, D. *Performance indicators for urban storm drainage in developing countries*. Urban Water. Vol. 4. 2002, pp.137-144.

KONDRATYEV, S.; GRONSKAYA, T.; IGNATIEVA, N.; BLINOVA, I.; TELES, I.; YEFREMOVA, L. *Assessment of present state of water resources of Lake Ladoga and its drainage basin using Sustainable Development indicators*. Ecological Indicators. Vol.2. 2002, pp.79–92.

LACHAT, B. *Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales*. Ministère de L'Amenagement du Territoire et de L'Environnement, Diren Rhone Alpes, 1999.

LAINA, A. E. *Economia dos Recursos Hídricos. Notas de aula do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS, Brasil: 2001.

LAINÉ, S.; POUJOL, T.; DUFAY, S.; BARON, J.; ROBERT, P. Treatment of Stormwater to Bathing Water Quality by Dissolved Air Flotation, filtration and Ultraviolet Desinfection. *Water Science and Technology*, 38(10), 99-105, 1998.

LI, M.H; EDDLEMAN, K. E. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods – A biotechnical streambank stabilization design approach. *Landscape and Urban Planning* 60. 225-242, 2002

Martin, C.; Ruperd, Y.; Legret, M. Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of operational research*. Vol. 181, pp. 338-349, 2007.

METCALF e EDDY, Revisão: TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F.L., STENSEL, H.D., *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill, Inc., 4ª. Edição, New York, NY. ISBN 0070418780, 2003, 1850 p.

MILOGRANA, J. C. *Sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações urbanas (Tese de Doutorado na Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos hídricos)*. Universidade Federal de Brasília. Brasília, Brasil: 2009, 342p.

MOURA, P.M. *Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana (Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Brasil: 2004, 164p.

MOURA, P.M.; BAPTISTA, M.B. BARRAUD, S. Comparison between two methodologies for urban drainage decision aid. *10th International Conference on Urban Drainage*. Copenhagen, Denmark, 21-26, 2005.

NRCS - Natural Resources Conservation Service - United States Department of Agriculture. *Engineering Field Handbook*. Chapter 18. USDA, 1992.

OFWAT – Water Services Regulation Authority of England and Wales.; EA – Environment Agency of England and Wales. Development of enhanced serviceability indicators for sewerage assets. Final Report. Londres: 2001, 44p + anexos.

OECD – Organization for Economic Cooperation and Development. *Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the group on the state of the environment*. OECD. Paris, França: 1993

OECD - Organization for economic co-operation and development. *Environmental Indicators – Development, Measurement and Use*. 2003. Disponível em <<http://www.oecd.org>>, consulta em 19/04/2010.

PALMER, M.A.; BERNHARDT, E.S.; ALLAN, J. D.; LAKE, P.S.; ALEXANDER, G.; BROOKS, S; CARR,J.; CLAYTON, S.; DAHM, C. N.; SHAH, J. F.; GALAT,D. L.; LOSS, S. G.; GOODWIN, P.; HART,D.D.; HASSETT, B.; JENKINSON, R.; KONDOLF, G. M.; LAVE, R.; MEYER, J.L.; O'DONNELL, T. K.; PAGANO, L; SUDDUTH, E. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42, 208–217p, 2004.

PEREIRA, I. L. V. *Estudos de revitalização de cursos de água – Trecho experimental no rio das Velhas. (Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil: 2008, 122p.*

POMEROL, J. C.; BARBA-ROMERO, S. *Choix multicritère dans l'entreprise: principe et pratique.* Paris, França: Hermes. 1993, 390p.

PRAT, N. e MUNNEÂ, A. Water use and quality and stream flow in a Mediterranean stream. *Water Research.* Vol. 34, No. 15, pp. 3876 – 3881. Grã-Bretanha: Elsevier Science Ltd., 2000.

PRZEDWOJSKI, B.; BLAZEJEWSKI, R.; PILARRCZYK, K. W. *River training techniques – Fundamentals, Design and applications..* Netherlands: A.A.Balkema, Rotherdam Brookfield, 1994, 624p.

RAI, P. K. Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to macrophytes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* v. 39, p. 697-753, 2009.

RIBEIRO, J. C. J. *Desenvolvimento de modelo para avaliação de desempenho de política pública de meio ambiente: estudo de caso: Estado de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, Brasil: 2005, 320p.*

Rouge River National Wet Weather demonstration Project. *Planning and cost estimating criteria for best management practices - TR-NPS24.00.* Wayne Country, Michigan: 2001. Disponível em <<http://www.rougeriver.com/pdfs/stormwater/sr24.pdf>>, acesso em 12/06/2011.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas.* Paris: Economica, 1993, 694p.

SÃO PAULO – Prefeitura Municipal. *Planilha de custos de obras de infraestrutura.* Data base de Janeiro de 2010. Disponível em <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/index.php?p=17614>, acesso em 21/07/2010.

SCHLÜTER, M.; RÜGER, N.; SAVITSKY, A. G.; NOVIKOVA, N. M.; MATTHIES, M.; LIETH, H. TUGAI: An Integrated Simulation Tool for Ecological Assessment of Alternative Water Management Strategies in a Degraded River Delta. *Environ Manage.* Vol. 38 : pp.638–653. Springer: 2006.

SIMONS, J; BOETERS, R. A Systematic Approach to Ecologically Sound River Bank Management. In: WADE, P.M.; LARGE, A.R.G.; WALL, L.C.de. *Rehabilitation of Rivers: Principles and Implementation*. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 1998. p. 57-85.

SGWA – State Government of Western Australia – Swan River Trust. *Best management practices for foreshore stabilization– Approaches and decision-support framework*. Dezembro 2009. Disponível em <<http://www.swanrivertrust.wa.gov.au/science/foreshore/Best%20Management%20Practices/BMP%20Chapters.aspx>>, acesso em 08/06/2011.

SNOEYINK, V.L., JENKINS, D. *Water Chemistry*. John Wiley e Sons, Inc., New York, NY. ISBN: 0471051969, 1980, 480 p.

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; MCCUTCHEON, S. C. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, v. 18, p. 647-658, 2002.

TAYLOR, A. *Guidelines for evaluating the financial, ecological and social aspects of urban stormwater measures to improve waterway health*. Technical Report. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Austrália: 2005, 77p. + anexos.

TAYLOR, C. *River restoration - Recognizing channels and floodplain forms*. Water and Rivers Commission. Report RR17. Austrália: 2002, 21p.

TRICHETE, J.C. Rapport – Exercice 1999 - *Rapport adressé à monsieur le président de la république et au parlement*. Paris, França: Banque de France, 1999, 300 p. Disponível em <http://www.banque-france.fr/archipel/publications/bdf_ra/bdf_ra_1999.pdf>, acesso em 16/02/2011.

TUNSTALL, D. Developing and using indicators of sustainable development in Africa. *Thematic workshop on indicators of sustainable development*. Banjul, Gâmbia: 1994.

USACE - United States Army Corps of Engineers - (2011). *Engineering and Design - Civil Works Construction Cost Index System (CWCCIS): 31 March 2000 (Tables Revised: 31 Março de 2011)*, publication number: EM 1110-2-1304. Disponível em <<http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-1304/toc.htm> >, acesso em 23/06/2011.

WEF - Water Environmental Federation; ASCE - American Society of Civil Engineers. *Design and construction of urban stormwater management systems*. 1993, 724 p.

WELLMAN, K. *Understanding the estimation and uncertainty in the costs of ecosystem restoration, Proceedings of the Salmon Habitat Restoration Cost Workshop, Pacific States Marine Fisheries Commission, 2000*. Disponível em <http://www.st.nmfs.noaa.gov/st4/abstracts/Salmon_Habitat_Restoration_Cost_Workshop_2000.htm>, acesso em 10/04/2011.

WOLMAN, M. G. A Cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler* 49a:384–394, 1967.

APÊNDICE I

Custos de implantação, manutenção e operação das técnicas tradicionais com base nos custos obtidos por Moura (2004)

Técnicas Tradicionais

A partir dos custos obtidos por Moura (2004) foi feita a atualização destes custos para a data base janeiro de 2011, por meio da aplicação do INCC, assim como adaptações nas unidades de medidas e de alguns serviços incorporados aos custos conforme pode ser verificado nos itens a seguir.

Galerias

Galerias são canais de concreto com seção fechada com configuração típica conforme Figura I.1, havendo dispositivos de acesso e de coleta da drenagem superficial, como poços de visita e bocas de lobo. As galerias são utilizadas normalmente em áreas urbanas onde não há disponibilidade de áreas para construção ou manutenção das vias de acesso às casas situadas nas margens do rio, sendo a laje superior da galeria utilizada geralmente como leito da via. Devido à redução do coeficiente de rugosidade, há um aumento da velocidade do escoamento e da capacidade de vazão no trecho que foi canalizado.

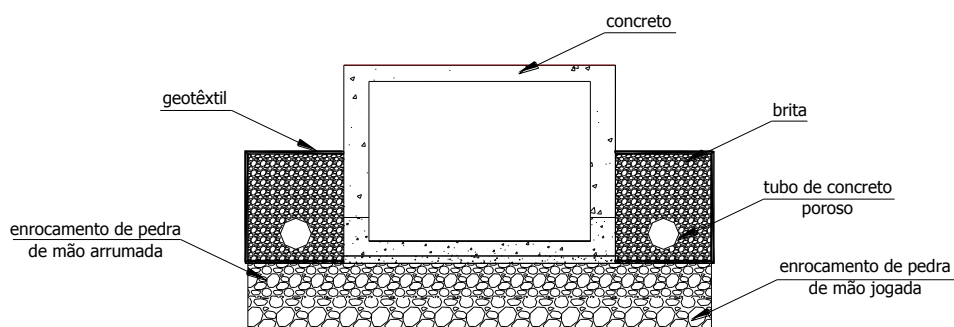


Figura I.1: Projeto-tipo de galeria
Fonte: Belo Horizonte (2000)

A estimativa de custos feita por Moura (2004) baseou-se em galerias de seção retangular com dimensões variando de 1,2 a 4,0 m. Para simplificação da análise de custos, os dispositivos auxiliares foram distribuídos ao longo da extensão da galeria conforme Tabela I.1, e os custos totais plotados em função da área da seção da galeria e efetuada a regressão linear, conforme Figura I.2.

Tabela I.1: Dispositivos por metro linear de galeria
Fonte: Moura (2004)

Galeria em concreto dispositivos auxiliares		
Dispositivo para Canal	Distância entre dispositivos	Quantidade por metro de galeria
Boca de lobo	2 a cada 100 metros de galeria	0,02 unidade/m
Poço de Visita - PV	1 a cada 200 metros de galeria	0,004 unidade/m
Sarjeta	em toda a rede nos dois lados das vias	2 m/m

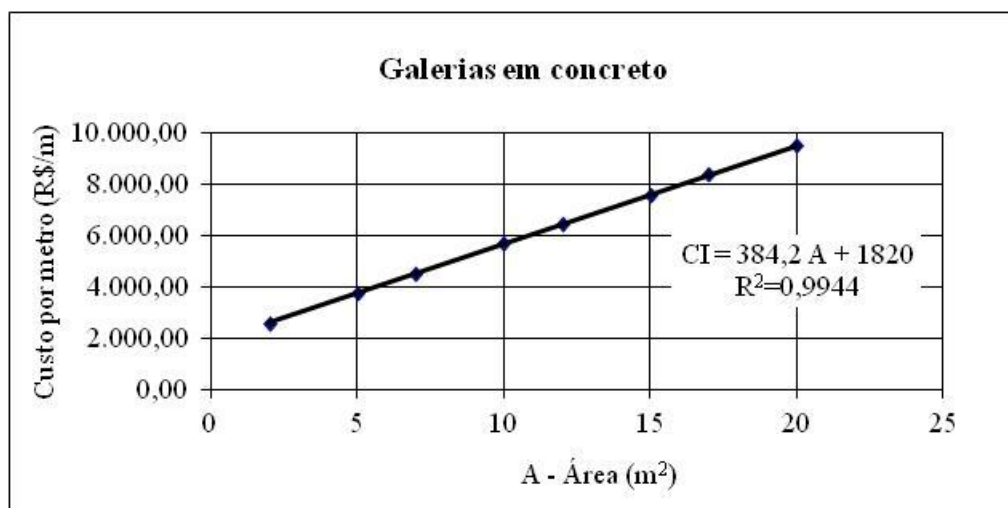


Figura I.2: Custos de implantação (CI) em função da área da seção e da extensão
(Adaptado de Moura, 2004)

Os custos de manutenção e operação envolvem os serviços descritos na Tabela I.2, que independem da área da seção transversal da galeria, e dos serviços de recuperação da sua estrutura de concreto, com inspeções a cada 3 anos e recuperação da armação e do concreto danificados. Esses últimos podem ser estimados em função da área da seção transversal da galeria, na sua extensão, assumindo o valor de R\$ 0,84/m.m².

Tabela I.2: Custos de manutenção e operação da galeria
(Adaptado de Moura, 2004)

Dispositivo	Serviço	Custo por metro (R\$/m)
Galeria celular	Limpeza 2 vezes ao ano	77,57
Grelha de PV	Substituição de 20% ao ano	0,37
Poço de visita	Substituição de 10% ao ano	0,05
Bocas de lobo	Limpeza 4 vezes ao ano e substituição de 10% das grelhas ao ano	15,33
Sarjeta	Reconstrução de 1% ao ano	11,59
Total		104,91

Desta forma, pode-se estabelecer a Equação I.1 para estimativa dos custos de manutenção e operação.

$$CM=(0,84A +104,91)L \quad (I.1)$$

Onde:

CM – custo total de manutenção (R\$)

L – extensão da galeria (m)

A – área da seção transversal (m^2)

Canais em concreto

Os canais em concreto, assim como as galerias, são utilizados onde a disponibilidade de área é reduzida e tem-se a necessidade de aumento da capacidade de vazão, não sendo viável a implantação de canais com margens inclinadas ou com revestimentos com maior rugosidade. Normalmente em áreas urbanas, estes canais são implantados com vias projetadas em suas margens.

A Figura I.3 apresenta uma seção típica de canal em concreto, em seção mista com revestimento em grama na parte superior, a qual foi utilizada nas estimativas de custos de implantação.

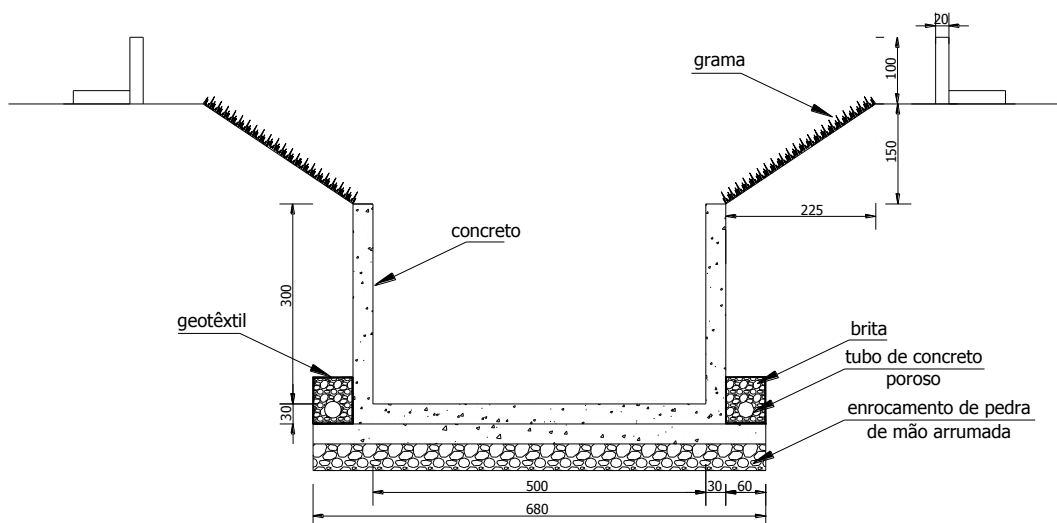


Figura I.3: Projeto-tipo de canal em concreto e grama
Fonte: Belo Horizonte (2000 *apud* Moura, 2004)

Da mesma forma que para as galerias, os dispositivos auxiliares foram distribuídos na extensão do canal, conforme Tabela I.3. Esta distribuição foi adotada para os demais tipos de canais com técnicas tradicionais.

Tabela 4.23.3: Dispositivos por metro linear de canal em concreto
Fonte: Moura (2004)

Dispositivo	Distância entre dispositivos	Quantidade por metro de canal
Boca de lobo	2 a cada 100 metros de canal	0,02 unidade/m
Sarjeta	em toda a rede nos dois lados das vias	2 m/m

Os custos de implantação, apresentados na Tabela I.4 foram estimados para a seção típica da Figura I.3, porém os custos em função do perímetro da seção e extensão do trecho (R\$/m/m) podem ser utilizados para estimativa de outras seções.

Tabela I.4: Custos de implantação (CI) por metro linear de canal em concreto
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m)
escavação	m ³	25,48	4,93	125,55
transporte	m ³ xkm	331,24	0,35	114,82
enrocamento	m ³	2,72	79,36	215,85
concreto de regularização	m ³	2,04	248,52	527,38
concreto 24MPa	m ³	3,78	339,68	1.284,00
dreno	m	2,00	81,73	163,47
escoramento	m ²	6,00	96,59	579,53
forma	m ²	10,00	29,93	299,35
armação	kg	270,00	4,83	1.303,61
Subtotal				4613,47
Subtotal (R\$/m/m)				419,78
grama	m ²	5,41	5,17	28,00
Subtotal grama por perímetro gramado (R\$/m/m)				5,19
dispositivos auxiliares				60,14
Total geral com dispositivos auxiliares				4.701,69
Total geral sem dispositivos auxiliares				4641,55
Total geral com dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				427,43
Total geral sem dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				421,96

A partir da estimativa para a seção composta descrita acima, é possível estimar o custo para uma seção retangular somente em concreto com dimensões de 5 m de largura e 3 m de profundidade, Figura I.4, sendo este custo de implantação CI= R\$422,07/m/m para

canal com dispositivos de drenagem e CI=R\$416,61/m/m para canal sem dispositivos de drenagem, podendo ser aplicado também, para canais com a mesma seção e dimensões diferentes.

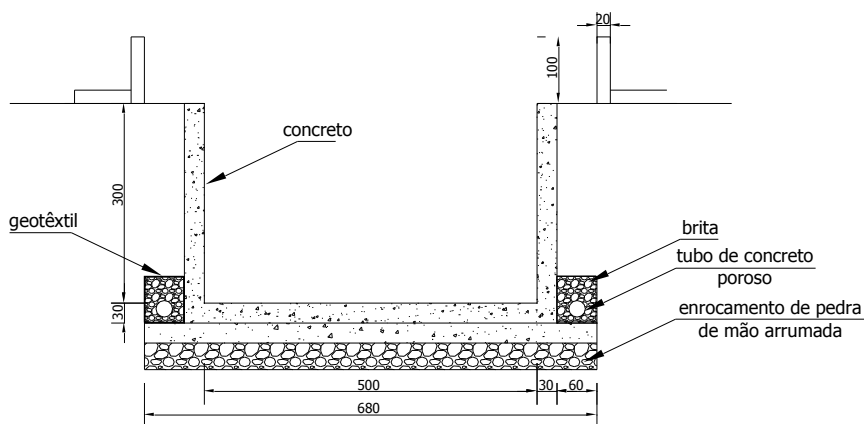


Figura I.4: Projeto-tipo de canal em concreto
Fonte: Adaptado de Moura (2004)

Da mesma forma que para as galerias de concreto, os custos de manutenção e operação envolvem os serviços relativos aos dispositivos auxiliares descritos na Tabela I.4, que independem da área da seção transversal do canal, e os serviços de recuperação da sua estrutura de concreto com inspeções a cada 3 anos e recuperação da armação e do concreto danificados. Esses últimos podem ser estimados em função do perímetro da seção transversal do canal e extensão do trecho, assumindo o valor de R\$ 0,84/m/m.

Tabela I.4: Custos de manutenção e operação do canal em concreto
Fonte: Adaptado de Moura (2004)

Dispositivo	Serviço	Custo (R\$/m)
Canal	Limpeza 2 vezes ao ano	77,57
Bocas de lobo	Limpeza 4 vezes ao ano e substituição de 10% das grelhas ao ano	15,33
Sarjeta	Reconstrução de 1% ao ano	11,59
Grama	Reconstrução de 1% ao ano	0,28
Total		104,77

O custo de manutenção da grama é proporcional ao perímetro da seção onde é aplicada, porém, optou por deixá-lo em função somente da extensão do trecho de rio, já a diferença de custo correspondente tem impacto irrelevante no custo total da manutenção e operação.

Desta forma pode-se estabelecer as Equações I.2 e I.3 para estimativa dos custos de manutenção e operação para canal com dispositivos auxiliares.

$$CM = (0,84P + 104,49)L \quad (\text{com faixa gramada}) \quad (\text{I.2})$$

$$CM = (0,84P + 104,77)L \quad (\text{sem faixa gramada}) \quad (\text{I.3})$$

E as Equações I.4 e I.5 para canais sem dispositivos auxiliares.

$$CM = (0,84P + 77,57)L \quad (\text{com faixa gramada}) \quad (\text{I.4})$$

$$CM = (0,84P + 77,8)L \quad (\text{sem faixa gramada}) \quad (\text{I.5})$$

Onde:

CM – custo total de manutenção (R\$)

L – extensão do canal (m)

P – perímetro da seção transversal (m^2)

Canais com revestimento vegetal

Os canais com revestimento vegetal, Figura I.5, possuem normalmente seção trapezoidal envolvendo custos relativos à escavação, proteção dos taludes e disposição do solo escavado.

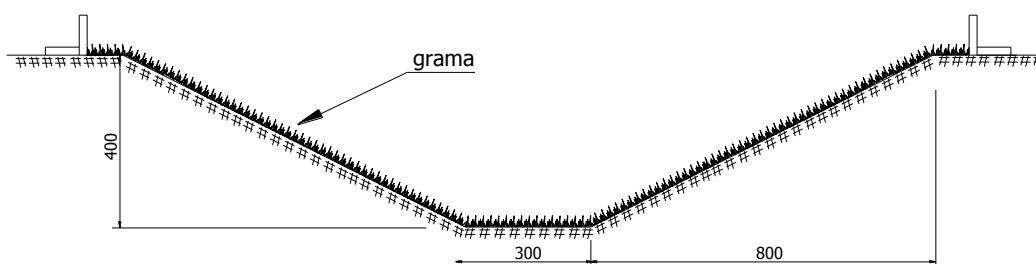


Figura I.5: Canal com revestimento vegetal (medidas em cm)

Fonte: Belo Horizonte (2000 *apud* Moura, 2004)

A Tabela I.6 apresenta os custos de implantação estimados para a seção da Figura I.5, porém, após ter sido feita a conversão para custo em função do perímetro e extensão do trecho (R\$/m/m) esta estimativa de custo pode ser aplicada a outras seções.

Tabela I.6: Custos de implantação para canais com revestimento vegetal
 Fonte: Adaptado de Moura (2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m)
escavação	m ³	29,56	4,93	145,65
transporte	m ³ xkm	384,28	0,34	133,21
grama	m ²	20,88	19,66	410,49
geotêxtil	m ²	20,88	5,55	115,81
concreto	m ³	0,60	339,68	203,81
armação	kg	42,60	4,83	205,68
forma	m ²	4,00	29,93	119,74
Subtotal				1.334,38
Subtotal (R\$/m/m)				63,91
dispositivos auxiliares				60,14
Total geral com dispositivos auxiliares				1.394,52
Total geral sem dispositivos auxiliares				1.334,38
Total geral com dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				66,76
Total geral sem dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				63,88

A parcela referente à recuperação do revestimento em grama sofre alteração de valor de acordo com as dimensões da seção transversal. Entretanto, a variação ocasionada possui valor inexpressivo em relação ao custo total de manutenção e operação, podendo-se então fazê-la em função somente da extensão do trecho (R\$/m), conforme equações I.6 e I.7, obtidas pela composição apresentada na Tabela I.7.

Para canais com dispositivos auxiliares os custos de manutenção são mensurados pela Equação I.6.

$$CM = 108,59L \quad (I.6)$$

E para canais sem dispositivos auxiliares pela Equação I.7.

$$CM = 81,87L \quad (I.7)$$

Onde:

CM – custo total de manutenção (R\$)

L – extensão do canal (m)

Tabela I.7: Custos de manutenção (CM) para canais com revestimento vegetal
(Adaptado de Moura, 2004)

Dispositivo	Serviço	Custo por metro CM (R\$/m)
Canal	Limpeza 2 vezes ao ano	77,57
Bocas de lobo	Limpeza 4 vezes ao ano e substituição de 10% das grelhas ao ano	15,33
Sarjeta	Reconstrução de 1% ao ano	11,59
Gramma	Recuperação de 1% ao ano	4,10
Total		108,59

Canais em enrocamento

Os canais em enrocamento, Figura I.5, podem ser construídos com pedras lançadas ou arrumadas. Dentre as técnicas tradicionais, o enrocamento é uma das que permitem melhor inserção da obra na paisagem natural, permitindo o crescimento da vegetação entre as pedras e podendo se adaptar melhor a forma natural da seção.



Figura I.5: Canal em enrocamento (medidas em cm)
Fonte: Belo Horizonte (1994 *apud* Moura, 2004)

A Tabela I.8 apresenta a composição dos custos de implantação de canais em enrocamento, sendo apresentado o custo total da seção da Figura I.5 em função da extensão do trecho, e o custo total em função do perímetro e da extensão do trecho, o qual pode ser utilizado para aplicação em canais com outras dimensões.

Tabela I.8: Custos de implantação (CI) para canais em enrocamento
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m)
escavação	m ³	29,56	4,93	145,65
transporte	m ³ xkm	384,28	0,34	133,21
enrocamento	m ³	10,44	79,36	828,47
geotêxtil	m ²	20,88	4,44	115,81
concreto	m ³	0,60	339,68	203,81
armação	kg	42,60	4,83	205,68
forma	m ²	4,00	29,93	119,74
Subtotal				1.752,37
Subtotal (R\$/m/m)				83,93
dispositivos auxiliares				60,14
Total geral com dispositivos auxiliares				1.812,51
Total geral sem dispositivos auxiliares				1.752,37
Total geral com dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				86,76
Total geral sem dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				83,93

Da mesma forma que para as galerias e canais em concreto, os custos de manutenção e operação subdividem-se em serviços relativos aos dispositivos auxiliares descritos na Tabela I.9, dados em função da extensão do canal, e serviços de recuperação do enrocamento, que dependem da extensão do canal e do perímetro da seção transversal. Os custos referentes à 1% de reconstrução do enrocamento por ano foram estimados em R\$0,40/m/m, a partir do custo total do revestimento de enrocamento indicados na tabela I.8. Desta forma pode-se estabelecer as equações I.8 e I.9 para estimativa dos custos de manutenção e operação.

Tabela I.9: Custos de manutenção para canais em enrocamento
(Adaptado de Moura, 2004)

Dispositivo	Serviço	Custo por metro (R\$/m)
Canal	Limpeza 2 vezes ao ano	77,57
Bocas de lobo	Limpeza 4 vezes ao ano e substituição de 10% das grelhas ao ano	15,33
Sarjeta	Reconstrução de 1% ao ano	11,59
Total		104,49

Para canais com dispositivos auxiliares os custos de manutenção são mensurados pela Equação I.8.

$$CM = (0,40P + 104,49)L \quad (I.8)$$

E para canais sem dispositivos auxiliares pela Equação I.9.

$$CM = (0,40P + 77,57)L \quad (I.9)$$

Onde:

CM – custo total de manutenção (R\$)

L – extensão do canal (m)

P – perímetro da seção transversal (m²)

Canais em gabião tipo caixa

Os canais em gabião tipo caixa são constituídos por gaiolas que são empilhadas em camadas sucessivas de tela metálica e preenchidas com pedras, de modo a funcionar como revestimento e como estrutura de contenção, podendo ser aplicada em taludes muito íngremes. A Figura I.6 apresenta uma seção típica de um canal em gabião tipo caixa, a qual foi utilizada como referência para estimativa de custos de implantação apresentada na Tabela I.10.

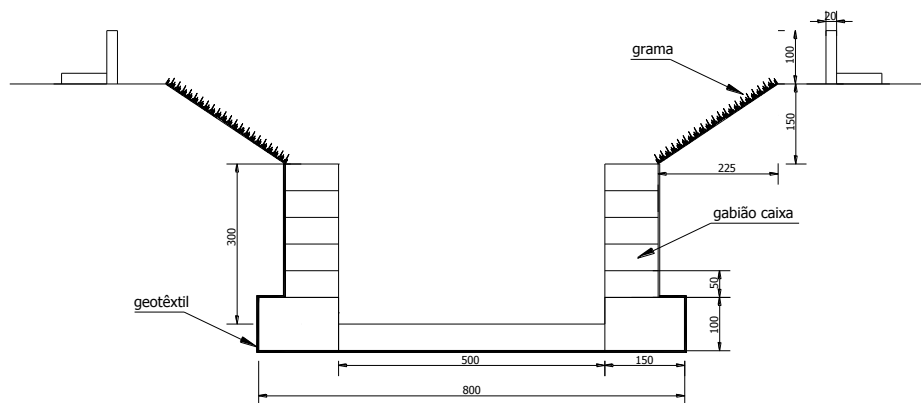


Figura I.6: Canal em gabião tipo caixa (medidas em cm)
 Fonte: Belo Horizonte (1994 *apud* Moura, 2004)

Tabela I.10: Custos de implantação (CI) para canais em gabião tipo caixa
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total - CI (R\$)
escavação	m ³	25,48	4,93	125,55
transporte	m ³ xkm	331,24	0,35	114,82
gabião	m ³	10,50	187,06	1.964,15
geotêxtil	m ²	16,00	5,55	88,74
concreto	m ³	0,60	339,68	203,81
armação	kg	42,60	4,83	205,68
forma	m ²	4,00	29,93	119,74
Subtotal				2.822,48
Subtotal (R\$/m/m)				256,59
grama	m ²	5,41	5,17	28,00
Subtotal grama por perímetro gramado (R\$/m/m)				5,19
dispositivos auxiliares				60,14
Total geral com dispositivos auxiliares				2.910,62
Total geral sem dispositivos auxiliares				2.850,48
Total geral com dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				264,60
Total geral sem dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				259,13

Utilizando o mesmo tipo de canal em gabião, com 5m de largura e 3m de profundidade, porém, sem a faixa gramada na parte superior da margem, conforme ilustrado na Figura I.7, o custo de implantação foi estimado em CI= R\$262,06/m/m, se houver dispositivos de drenagem e CI= R\$256,59/m/m se não houver dispositivos de drenagem, podendo também serem utilizados para canais com a mesma seção e com dimensões diferentes .

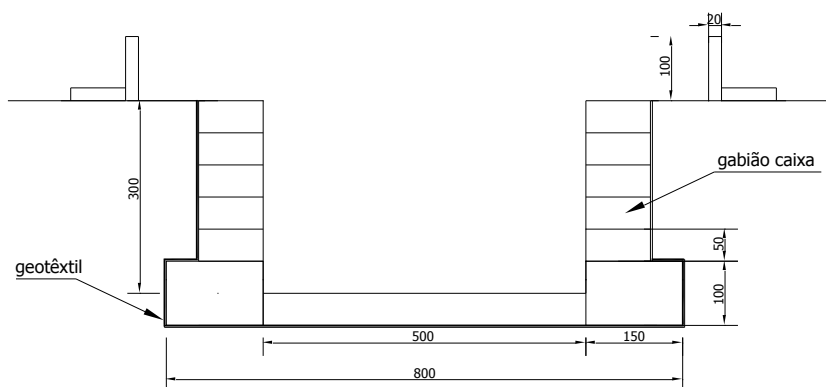


Figura I.7: Canal em gabião tipo caixa (medidas em cm)
(Adaptado de Moura, 2004)

Têm-se custos de manutenção e operação dos dispositivos auxiliares descritos na Tabela I.10, dados em função da extensão do canal, e custos de serviços de recuperação do gabião e da grama, que dependem da extensão do canal e da área da seção transversal. O

valor estimado para esses últimos, considerando 1% de reconstrução anual, foi de R\$1,78/m/m.

Tabela I.11: Custos de manutenção de canais em gabião tipo caixa
(Adaptado de Moura, 2004)

Dispositivo	Serviço	Custo por metro (R\$/m)
Canal	Limpeza 2 vezes ao ano	77,57
Bocas de lobo	Limpeza 4 vezes ao ano e substituição de 10% das grelhas ao ano	15,33
Sarjeta	Reconstrução de 1% ao ano	11,59
Grama	Reconstrução de 1% ao ano	0,28
Total		104,77

O custo de manutenção da grama é proporcional ao perímetro da seção onde é aplicada, porém, o seu custo tem impacto irrelevante no custo total de manutenção. De maneira que estes custos são apresentados em função somente da extensão do trecho de rio.

Assim, para estimativa dos custos de manutenção, a partir da composição apresentada na Tabela I.11, foram definidas as Equações I.10 e I.11 para canais com dispositivos auxiliares e as Equações I.12 e I.13 para canais sem dispositivos auxiliares.

$$CM = (1,78P + 104,77)L \quad (\text{com faixa gramada}) \quad (\text{I.10})$$

$$CM = (1,78P + 104,54)L \quad (\text{sem faixa gramada}) \quad (\text{I.11})$$

$$CM = (1,78P + 77,85)L \quad (\text{com faixa gramada}) \quad (\text{I.12})$$

$$CM = (1,78P + 77,57)L \quad (\text{sem faixa gramada}) \quad (\text{I.13})$$

Onde:

CM – custo total de manutenção (R\$)

L – extensão do canal (m)

P – perímetro da seção transversal (m²)

Canais em gabião tipo colchão

O gabião tipo colchão também é constituído por caixas metálicas preenchidas por pedras, porém não possui função estrutural. Essas estruturas possuem dimensões retangulares e espessura reduzida e maior flexibilidade para se adaptar à forma da seção. A Figura I.8 apresenta uma seção típica de canal com aplicação desse tipo de gabião, tendo sido utilizada para a estimativa de custos apresentada na Tabela I.12.

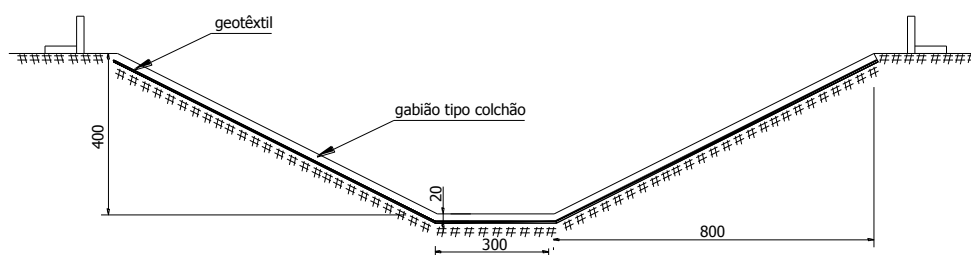


Figura I.8: Canal em gabião colchão (medidas em cm)
Fonte: Adaptado de Belo Horizonte (1994 *apud* Moura, 2004)

Tabela I.12: Custos de implantação (CI) para canais em gabião tipo colchão
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m)
escavação	m ³	29,56	4,93	145,65
transporte	m ³ xkm	384,28	0,35	133,21
gabião	m ³	4,22	248,10	1.045,97
geotêxtil	m ²	21,08	5,55	116,91
concreto	m ³	0,60	339,68	203,81
armação	kg	42,6	4,83	205,68
forma	m ²	4,00	29,93	119,74
Subtotal				1.970,97
Subtotal (R\$/m/m)				94,40
dispositivos auxiliares				60,14
Total geral com dispositivos auxiliares				2.031,11
Total geral sem dispositivos auxiliares				1.970,97
Total geral com dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				97,23
Total geral sem dispositivos auxiliares (R\$/m/m)				94,35

Os custos de manutenção e operação subdividem-se em serviços relativos aos dispositivos auxiliares descritos na Tabela I.13, dados em função da extensão do canal, e serviços de recuperação do gabião, que dependem da extensão do canal e do perímetro da seção transversal. O valor estimado para esses últimos foi de R\$ 0,50/m/m.

Tabela I.13: Custos de manutenção para canais em gabião tipo colchão
(Adaptado de Moura, 2004)

Dispositivo	Serviço	Custo por metro (R\$/m)
Canal	Limpeza 2 vezes ao ano	77,57
Bocas de lobo	Limpeza 4 vezes ao ano e substituição de 10% das grelhas ao ano	15,33
Sarjeta	Reconstrução de 1% ao ano	11,59
Total		104,49

Desta forma pode-se estabelecer a Equação I.14 para estimativa dos custos de manutenção e operação em canais com dispositivos auxiliares e a Equação I.15 para canais sem dispositivos auxiliares.

$$CM = (0,50P + 104,49)L \quad (I.14)$$

$$CM = (0,50P + 77,57)L \quad (I.15)$$

Onde:

CM – custo total de manutenção (R\$)

L – extensão do canal (m)

P – perímetro da seção transversal (m²)

Bacias de retenção

Bacias de retenção são estruturas de acumulação temporária e/ou infiltração de águas pluviais para o atendimento de objetivos como o amortecimento de picos de cheia em cursos de água, evitando inundações, redução do volume de escoamento superficial e da carga de poluição difusa.

Devido ao processo de urbanização e impermeabilização das bacias, os projetos de intervenções em cursos de água com frequência têm dentre seus objetivos solucionar ou amenizar problemas de inundações. Portanto, grande número de projetos de intervenções em cursos de água tem compreendido a adoção de bacias de retenção, sendo apresentadas a seguir estimativas de custos para estas estruturas.

A Figura I.9 apresenta um desenho de uma bacia de retenção aberta revestida por grama, e os custos de implantação por metro cúbico de bacia são listados na Tabela I.14.

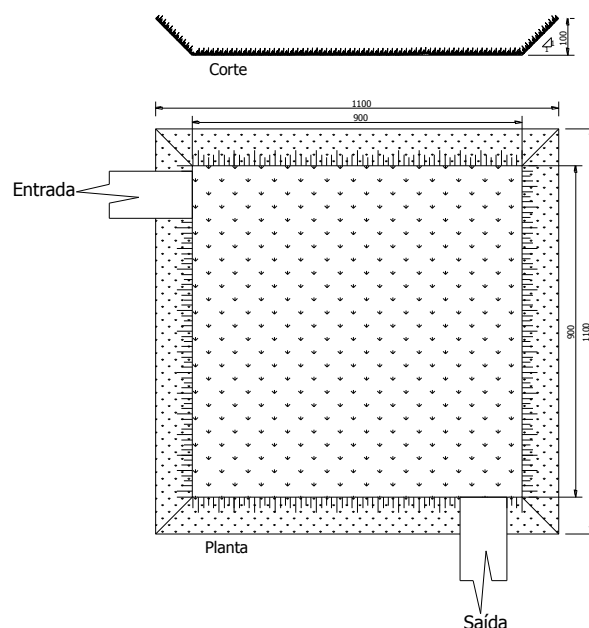


Figura I.9: Bacia de detenção aberta (medidas em cm)
Fonte: Moura (2004)

Tabela I.14: Custos de implantação (CI) de bacia de detenção revestida com grama
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m ³)
desmatamento	m ²	1,0	0,37	0,37
escavação mecânica	m ³	1,2	4,84	4,82
transporte de material escavado	m ³ xkm	14,6	0,69	10,82
compactação	m ²	1,0	1,73	1,73
impermeabilização	m ²	1,4	20,94	29,33
grama	m ²	1,2	19,66	23,49
Total				71,66

Os custos anuais de manutenção e operação podem ser calculados pela Equação I.16. Moura (2004) estimou os custos de reconstituição da grama e remoção de resíduos sólidos retidos na bacia, que são feitos com frequência de 2 em 2 anos, em R\$31,10 por metro cúbico de bacia e R\$470,44 por hectare da bacia de contribuição, respectivamente.

$$CMO = 31,10 V_{BD} + 470,44.A_{Bacia} \quad (I.16)$$

Onde:

CMO – Custos de manutenção e operação (R\$);

V_{BD} – Volume da bacia de detenção (m^3);

A_{Bacia} – Área de contribuição da bacia hidrográfica (ha).

A Figura I.10 apresenta uma ilustração de uma bacia de detenção aberta revestida em concreto.

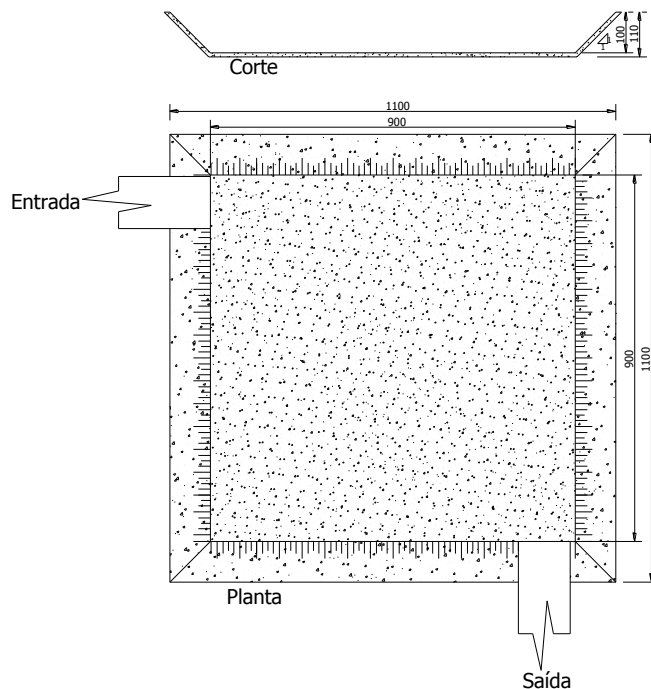


Figura I.10: Bacia de detenção aberta revestida em concreto (medidas em cm)
Fonte: Moura (2004)

Os custos de implantação de uma bacia de detenção aberta em concreto podem ser estimados em função do volume da bacia. Esses custos são apresentados na Tabela I.15, tendo sido utilizada como referência para sua estimativa a Figura I.10.

Tabela I.15: Bacia de detenção em concreto - Custos de implantação (CI)
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m ³)
desmatamento	m ²	1,0	0,37	0,37
escavação mecânica	m ³	1,2	4,84	4,82
transporte de material escavado	m ³ xkm	14,6	0,69	10,82
compactação	m ²	1,0	1,73	1,73
impermeabilização	m ²	1,4	20,94	29,33
concreto	m ²	1,2	33,67	40,41
Total				88,48

Os custos de manutenção e operação, calculados pela Equação I.17, envolvem a reconstituição do concreto e remoção de resíduos sólidos retidos na bacia, com frequência de 2 em 2 anos. Esses custos foram estimados por Moura (2004) em R\$29,93 por metro cúbico de bacia e R\$470,44 por ano por hectare da bacia de contribuição, respectivamente.

$$CMO = 29,93 V_{BD} + 470,44.A_{Bacia} \quad (I.17)$$

Onde:

CMO – Custos de manutenção e operação (R\$);

V_{BD} – Volume da bacia de detenção (m^3);

A_{Bacia} – Área de contribuição da bacia hidrográfica (ha).

As bacias de detenção enterradas são executadas em concreto armado e podem ser ilustradas pela Figura I.11. A Tabela I.16 apresenta os custos de implantação em função do volume deste tipo de bacia.

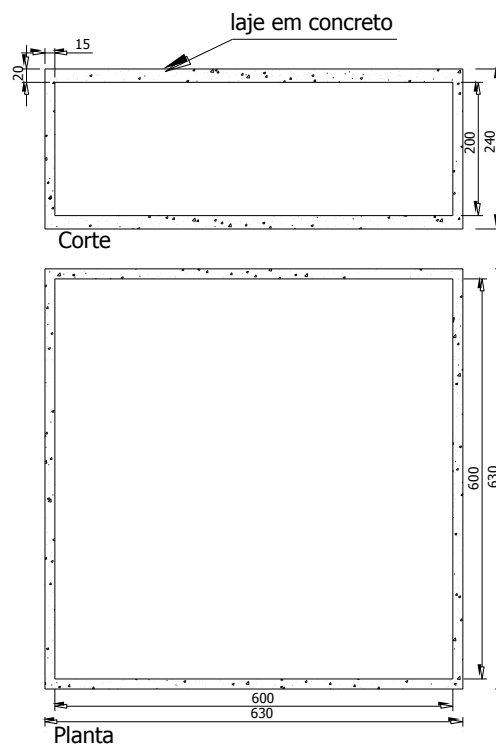


Figura I.11: Bacia de detenção enterrada (medidas em cm)
Fonte: Moura (2004)

Tabela I.16: Custos de implantação (CI) de bacia enterrada
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m ³)
desmatamento	m ²	1,0	0,37	0,37
escavação mecânica	m ³	1,2	4,84	4,82
transporte de material escavado	m ³ xkm	14,6	0,69	10,82
compactação	m ²	0,4	1,73	0,87
impermeabilização	m ²	1,4	20,94	29,33
concreto para revestimento	m ³	0,4	33,67	13,47
concreto para laje	m ³	0,4	367,39	146,96
ferragem	kg	13,4	4,41	49,06
forma	m ²	1,0	29,46	29,46
Total				296,14

Moura (2004) estimou, com base no estudo de Baptista e Barraud (2001), o custo anual de manutenção relativo à operação destas bacias em 0,78% do seu custo de implantação, resultando em R\$ 2,30 por m³ por ano. Já os custos de manutenção para reconstrução do revestimento em concreto foram estimados em R\$54,89 por metro cúbico de bacia e os custos relativos à remoção de resíduos sólidos retidos na bacia, efetuada de 2 em 2 anos foram estimados em R\$ 470,44 por ano por hectare da bacia de contribuição. O custo total anual dos serviços de manutenção pode ser então estimado pela Equação I.18.

$$CMO = 57,20 V_{BD} + 470,44.A_{Bacia} \quad (I.18)$$

Onde:

CMO – Custos de manutenção e operação (R\$);

V_{BD} – Volume da bacia de detenção (m³);

A_{Bacia} – Área de contribuição da bacia hidrográfica (ha).

As bacias de infiltração podem ser ilustradas pela Figura I.12 e os custos relacionados em função do volume da bacia apresentados na Tabela I.17.



Figura I.12: Bacia de infiltração (medidas em cm)
Foto: Márcio Baptista

Tabela I.17: Custos de implantação (CI) de bacia de infiltração
(Adaptado de Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total CI (R\$/m ³)
desmatamento	m ²	1,0	0,37	0,37
escavação mecânica	m ³	1,2	4,84	4,82
transporte de material escavado	m ³ xkm	14,6	0,69	10,82
grama	m ²	1,4	19,66	27,42
geotêxtil	m ²	1,4	4,42	7,49
brita	m ³	0,1	46,99	4,70
compactação da brita	m ²	0,1	2,06	0,21
Total				47,03

Como as bacias de infiltração não devem receber resíduos, os serviços de manutenção e operação envolvem os serviços de recuperação do revestimento, que foram estimados por Moura (2004) em CMO = R\$6,61 por ano, por metro cúbico de bacia de infiltração.

APÊNDICE II

Questionário aplicado aos especialistas para ponderação e avaliação dos indicadores

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Janaína de Andrade Evangelista

E-mail: janainaae@iq.com.br; Tel.: 9902 9482

Mestranda em Recursos Hídricos

Título da Dissertação:
PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA E
ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÕES EM CURSOS DE
ÁGUA URBANOS

PESQUISA PARA AVALIAÇÃO DE INDICADORES

Objetivo da dissertação: Propor indicadores para ordenação de alternativas de intervenções em cursos de água por meio de metodologia de análise multicritério.

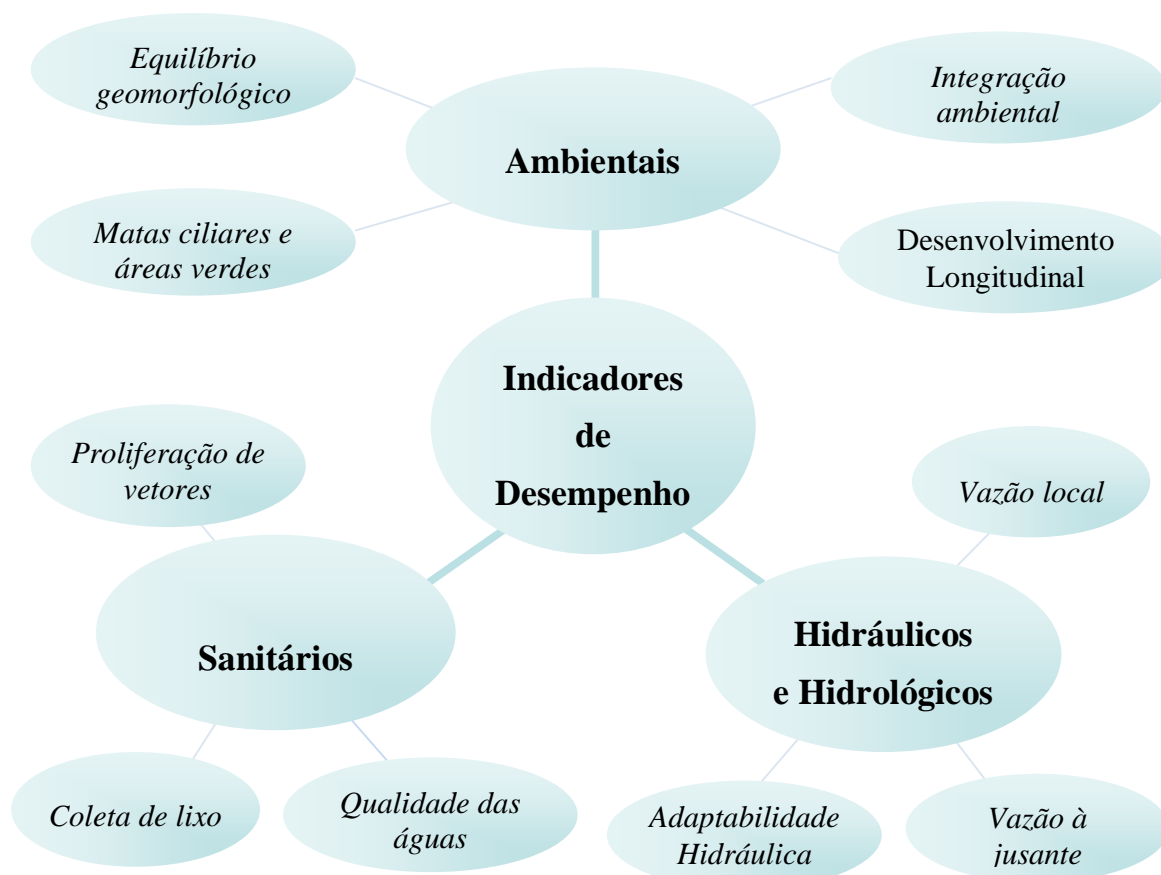
Objetivos desta pesquisa: Avaliar a adequação dos indicadores propostos ao tipo de avaliação pretendida, bem como estabelecer pesos para esses indicadores.

1 - INTRODUÇÃO

O estudo em desenvolvimento pretende oferecer uma metodologia de auxílio ao decisor para escolha da alternativa de intervenção mais adequada ao curso de água, avaliando aspectos ambientais, sanitários, hidrológicos e hidráulicos. A avaliação a ser realizada é do tipo desempenho-custo, tendo sido desenvolvidos indicadores de desempenho, que são detalhados no item 2 e indicadores de custo, que envolveram custos de implantação, manutenção e operação. Esses indicadores serão agregados por métodos multicriteriais. Os métodos selecionados para esta agregação exigem o conhecimento prévio da avaliação da relevância (peso) atribuída pelos decisores e especialistas a cada critério (indicador).

Diante desta necessidade de consulta aos decisores e especialistas, foram elaboradas algumas perguntas quanto à adequação e completude dos aspectos avaliados pelos indicadores propostos em relação à análise a ser feita. Foi elaborada também, uma tabela para que cada respondente atribua o peso, ou relevância de cada indicador e de cada dimensão, frente à sua importância no desempenho da intervenção no curso de água. Os pesos devem variar de zero a cem, devendo a soma total dos pesos dos indicadores ser igual a cem, assim como a soma dos pesos das dimensões. No item 2 são apresentados os indicadores e a formulação para o seu cálculo.

2 – INDICADORES



No ANEXO são apresentados de forma detalhada as fórmulas para estimativa dos indicadores.

3 - PESOS DOS INDICADORES

De acordo com a relevância da dimensão e dos aspectos avaliados pelos indicadores estabeleça pesos que devem estar compreendidos entre 0 e 100, com soma total 100.

Avaliação do peso de indicadores				
Dimensão	Indicadores		Peso da Dimensão	Peso do indicador
Sanitária	Existência de coleta de lixo	I_{CL}		
	Proliferação de vetores	I_{PV}		
	Qualidade da água	I_{QA}		
Ambiental	Desenvolvimento longitudinal	I_{DL}		
	Equilíbrio geomorfológico	I_{EG}		
	Mata ciliar e áreas verdes	I_{AV}		
	Integração ambiental	I_{IA}		
Hidrológica e Hidráulica	Inundação ou impacto sobre as vazões no local da intervenção	I_{QI}		
	Inundação ou impacto sobre as vazões à jusante da intervenção	I_{QJ}		
	Adaptabilidade hidráulica	I_{AH}		
Total			100	100

4 – AVALIAÇÃO DOS INDICADORES

Pesquisa de adequação de indicadores para avaliação de alternativas de intervenções em cursos de água						
Nome:						
Formação:						
Local de Trabalho:					Cargo:	
1 - Como você avalia o seu nível de conhecimento sobre o assunto?						
Pequeno () Médio () Grande () Não possui conhecimento sobre o assunto ()						
2 - Avalie os indicadores propostos quanto aos quesitos listados a seguir:						
Dimensão	Indicador		O indicador é relevante para a avaliação pretendida?	Os parâmetros necessários para calcular o indicador são facilmente obtidos?	O indicador é de fácil mensuração?	As formulações para cálculo do indicador são adequadas ao aspecto que se deseja avaliar?
Sanitária	Existência de coleta de lixo	I _{CL}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
	Proliferação de vetores	I _{PV}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
	Qualidade da água	I _{QA}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
Ambiental	Desenvolvimento longitudinal	I _{DL}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
	Equilíbrio geomorfológico	I _{EG}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
	Mata ciliar e áreas verdes	I _{AV}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
	Integração ambiental	I _{IA}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
Hidrológica e Hidráulica	Inundação ou impacto sobre as vazões no local da intervenção	I _{QI}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
	Inundação ou impacto sobre as vazões à jusante da intervenção	I _{QJ}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()
	Adaptabilidade hidráulica	I _{AH}	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()	SIM () NÃO ()

Pesquisa de adequação de indicadores para avaliação de alternativas de intervenções em cursos de água

3 - Há aspectos relevantes para a análise pretendida que não foram contemplados pelos indicadores propostos? ()SIM ()NÃO

Se respondeu "sim", quais aspectos?

4 - Dentre os indicadores propostos, existe redundância, ou seja, há indicadores que avaliam o mesmo aspecto? ()SIM ()NÃO

Se respondeu "sim", quais os indicadores redundantes entre si?

4 - Observações e comentários:

ANEXO

2.1 - Indicadores Hidrológicos e Hidráulicos

2.1.1 Inundação ou impacto sobre as vazões

Foram estabelecidos dois indicadores para avaliar os impactos das alternativas propostas sobre as vazões no local da intervenção e a jusante.

No local da intervenção

Se $T_{R\text{ Alt.}} > T_{R\text{ Inund.}}$ $I_{QL} = 1,0$

Se $T_{R\text{ Alt.}} \leq T_{R\text{ Inund.}}$ $I_{QL} = \frac{T_{R\text{ Alt.}}}{T_{R\text{ Inund.}}}$

Onde:

I_{QL} - Indicador de impacto nas vazões locais (0 a 1)

$T_{R\text{ Alt.}}$ - Tempo de retorno para o qual a alternativa foi dimensionada (T)

$T_{R\text{ Inund.}}$ - Tempo de retorno da cheia a partir da qual se verifica a possibilidade de inundações atingirem áreas comerciais, residenciais ou industriais com possíveis danos materiais e perdas de vidas (T).

À jusante da intervenção

Se $Q_d \leq Q_R$ $I_{QJ} = 1$

Se $Q_d > Q_R$
para $Q_d \geq Q_a$ $I_{QJ} = 0$

para $Q_d < Q_a$ $I_{QJ} = \frac{(Q_d - Q_R)}{Q_R - Q_a} \times 0,5 + 0,5$

Onde:

I_{QJ} - Indicador de impacto nas vazões a jusante (0 a 1)

Q_d - vazão de pico a jusante após a intervenção para o tempo de retorno adotado (L^3T^{-1})

Q_R - vazão de restrição do trecho à jusante da intervenção, ou seja, vazão a partir da qual o sistema de drenagem de jusante tem sua capacidade superada; ou vazão de pico a jusante para $T_{R\text{ Inund.}}$ (L^3T^{-1})

Q_a - vazão de pico na situação atual para o tempo de retorno adotado (L^3T^{-1})

2.1.2 – Adaptabilidade Hidráulica

Esse indicador visa avaliar a adaptabilidade do canal para cada alternativa proposta frente a possíveis alterações no ciclo hidrológico, ocorridas devido ao processo de urbanização da bacia e, eventualmente, mudanças no regime de precipitações.

Considerar-se-á que a profundidade da seção de projeto e a profundidade da máxima seção possível futura são as mesmas, pois essa depende do desnível máximo entre a nascente e a foz, havendo pouca flexibilidade para sua alteração.

$$I_{AH} = \frac{n_p}{n_{fut}} \times \frac{A_{fut}^{5/3} \cdot P_p^{2/3}}{A_p^{5/3} \cdot P_{fut}^{2/3}}$$

Onde:

I_{AH} – indicador de adaptabilidade hidráulica

A_{fut} – Área passível de ser adotada para ampliação da seção transversal do canal em condições futuras (área livre nas margens do rio) (L^2)

A_p – Área da seção de projeto do canal (L^2)

P_{fut} – Perímetro da seção do canal, passível de ser adotada em condições futuras em função da área livre nas margens do rio (L)

P_p – Perímetro da seção de projeto do canal (L)

n_{fut} – menor coeficiente de Manning que pode ser adotado em projetos futuros

n_p – coeficiente de Manning de projeto

2.2 Indicadores Sanitários

2.2.1 - Existência de coleta de lixo

O objetivo desse indicador é verificar se a intervenção possibilitou a ampliação da coleta de resíduos sólidos, por meio de criação e melhoria de ruas e becos, permitindo o acesso dos caminhões e garis.

$$I_{CL} = \frac{(\text{domicílios}_{s/c\text{ Antes}} - \text{domicílios}_{s/c\text{ Após}})}{\text{domicílios}_{s/c\text{ Antes}}}$$

Onde:

I_{CL} – Indicador de coleta de lixo (0 a 1)

$\text{domicílios}_{s/c\text{ Antes}}$ – Domicílios sem atendimento por coleta de lixo antes da implantação.

$\text{domicílios}_{s/c\text{ Após}}$ – Domicílios sem atendimento por coleta de lixo após da implantação.

2.2.2 - Proliferação de vetores

Para a análise do impacto da alternativa na proliferação de vetores, analisou-se somente o aumento ou introdução de criadouros de mosquitos. Serão considerados os reservatórios de água parada naturais ou artificiais como as bacias de detenção, considerando-se como referência para a quantificação do indicador a área da soma total dos espelhos de água formados.

$$I_{PV} = 1 - \frac{A_E}{A_{E\text{-MAX}}}$$

Onde:

I_{PV} – Indicador de proliferação de vetores (0 a 1)

A_E – área do espelho de água formado pela contenção de águas pluviais por bacias de detenção, retenção ou infiltração da alternativa avaliada (L^2)

$A_{E\text{-MAX}}$ – maior área do espelho de água dentre as alternativas avaliadas (L^2)

2.2.3 – Qualidade das águas

O indicador de qualidade das águas visa avaliar o benefício da utilização das técnicas compensatórias para a redução da poluição difusa. A estimativa será em função da área de drenagem da bacia para a qual forem utilizadas as técnicas compensatórias que retenham os poluentes. Considerou-se que uma proposta de restauração para um curso de água, necessariamente deverá

compreender a construção de interceptores de esgoto em ambas as margens, sendo estes, portanto, previstos em todas as alternativas de projeto.

$$I_{QA} = \frac{A_{TC}}{A_{Bacia}}$$

Onde:

I_{QA} – Indicador de qualidade das águas (0 a 1)

A_{Bacia} – área total da bacia do curso de água (L^2)

A_{TC} – área da bacia com drenagem pluvial com utilização de técnicas compensatórias que retenham a poluição (L^2)

2.3 Indicadores Ambientais

4.1.3.1 – Desenvolvimento longitudinal

Este indicador tem por objetivo avaliar as alterações de forma do rio em seu sentido longitudinal, ou seja, alterações de sinuosidade e declividade. A alternativa de intervenção mais bem pontuada será aquela que mais se aproximar da configuração do rio em seu estado natural. No entanto, na ausência de registros dessa situação, poderá ser adotada como situação de referência, aquela da qual se tenha registros e que possua o menor grau de alteração.

$$I_{DL} = \frac{L_P}{L_N}$$

Onde:

I_{DL} – Indicador de forma e sinuosidade (0 a 1)

L_P – Extensão do rio após implantação da intervenção (L)

L_N – Extensão do trecho do rio em análise na situação natural/referência (L)

2.3.2 – Equilíbrio geomorfológico

A condição de equilíbrio geomorfológico pode ser avaliada de forma simplificada como aquela em que há um equilíbrio entre o aporte de sedimentos e a capacidade de transporte do rio. A velocidade do escoamento deverá situar-se entre a velocidade máxima, a partir da qual, tem-se a erosão do canal e a velocidade mínima, abaixo da qual há tendência ao assoreamento. A velocidade máxima permissível será função do tipo de solo e do revestimento do leito conforme Tabela 2.3.1.

Tabela 2.3.1 – Velocidade admissível limite para leito e margens
 Fonte: Adaptado de Fischenich (2001) *apud* CWP (2004)

Categoria	Tipo de revestimento	Velocidade máxima permissível (m/s)	
Solos	areia fina coloidal	0,4	
	areia com solo superficial (não coloidal)	0,4	
	silte aluvial (não coloidal)	0,6	
	Silte com solo superficial (não coloidal)	0.4 a 0.7	
	Solo superficial firme	0,8	
	cascalho fino	0,8	
	argila mole	0.9 a 1.4	
	silte aluvial (coloidal)	1,1	
	solos	solo superficial graduado a seixo rolado	1,1
		Silte graduado a seixo rolado	1,2
xisto e solo firme		1,8	
Cascalho/pedregulho	24 mm	0.8 a 1.4	
	40 mm	0.9 a 1.8	
	142mm	1.2 a 2.3	
	304 mm	1.7 a 3.7	
vegetação	grama classe A	1.8 a 2.4	
	grama classe B	1.2 a 2.1	
	grama classe C	1,1	
Manta biodegradável (biomanta)	manta de juta	0.3 a 0.8	
	manta com palha	0.3 a 0.9	
	manta de fibra de coco	0.9 a 1.2	
Rip-rap	d ₄₀ 142	1.4 a 3	
	d ₄₀ 229mm	2.1 a 3.3	
	d ₄₀ 304mm	3 a 4	
	d ₄₀ 447mm	3.7 a 4.9	
	d ₄₀ 610mm	4.3 a 4.4	
Métodos de bioengenharia	rolo de fibra de coco	2,4	
	colchão de fibra de coco vegetado	2,9	
	colchão de galhos (estágio inicial)	1,2	
	colchão de galhos (vegetado)	3,7	
	faxina	1.8 a 2.4	
	estacas vivas	0.9 a 3	
Técnicas rígidas	gabião	4.3 a 4.7	
	concreto	>4.4	

Será adotado o limite inferior de 0,4m/s para a velocidade do escoamento e o indicador de equilíbrio geomorfológico I_{GE} será definido conforme Figuras 2.3.1 e 2.3.2, sendo:

V_1 – velocidade máxima admissível, limite inferior da faixa definida na Tabela 2.3.1 ($L.T^{-1}$)

V_2 – velocidade máxima admissível, limite superior da faixa definida na Tabela 2.3.1 ($L.T^{-1}$)

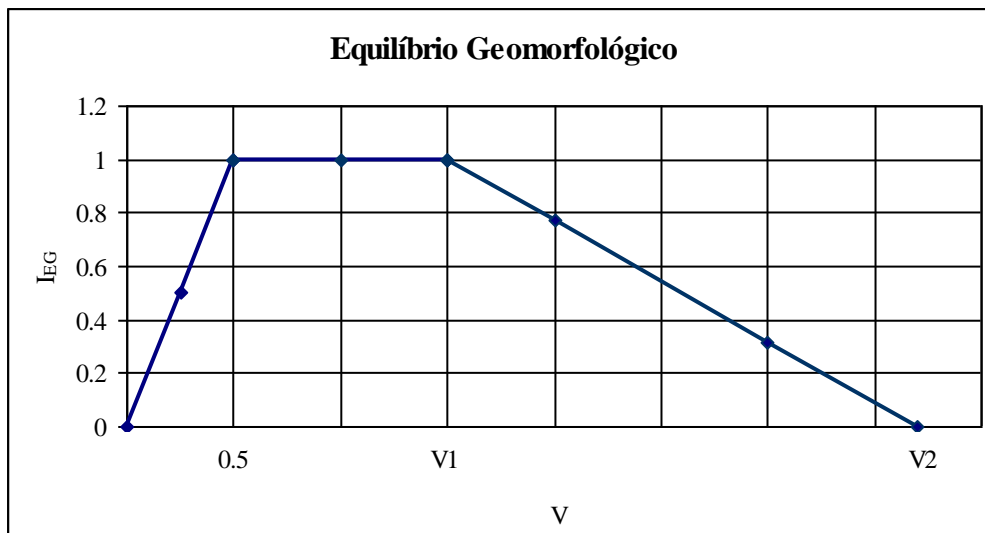


Figura 2.3.1 – Variação do indicador I_{EG} em função da velocidade de escoamento, para revestimentos cuja velocidade máxima admissível foi definida por uma faixa de valores

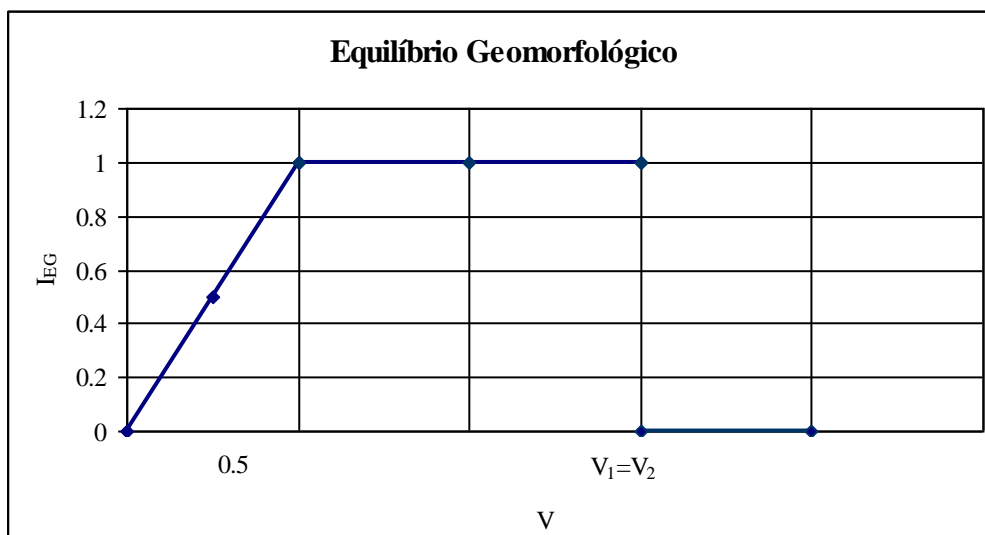


Figura 2.3.2 – Variação do indicador I_{EG} em função da velocidade de escoamento, para revestimentos cuja velocidade máxima admissível foi definida por um único valor

2.3.3 – Mata ciliar e áreas verdes

O indicador proposto visa avaliar o restabelecimento ou melhoria do equilíbrio ecológico obtido pelo aumento de mata ciliar e das áreas verdes, assim como o aumento da recarga dos aquíferos.

$$\text{Se } A_{V\text{Após}} \leq A_{V\text{Antes}}$$

$$I_{AV} = 0$$

$$\text{Se } A_{V\text{Após}} > A_{V\text{Antes}}$$

$$I_{AV} = 1 - \frac{A_{V\text{Antes}}}{A_{V\text{Após}}}$$

Caso $A_{V\text{Antes}} = 0$, adotar $A_{V\text{Antes}} = 1$

Onde:

I_{AV} – Indicador de áreas verdes (0 a 1)

$A_{V\text{Após}}$ – Área verde após a implantação da intervenção (L^2)

$A_{V\text{Antes}}$ – Área verde antes da implantação da intervenção (L^2)

2.3..4 – Integração Ambiental

As intervenções em cursos de água podem ter características que permitam ou não a sua integração ao ecossistema, buscando-se avaliar o quanto a intervenção interfere nas funções e interrelações do curso de água, tais como o fluxo entre o rio e o lençol freático, a alteração da paisagem pela artificialização da seção do rio, redução do coeficiente de rugosidade do rio, que ocasiona aumento da velocidade e redução da diversidade de “habitats”, alteração da temperatura e do aporte de nutrientes pela eliminação ou redução da vegetação das margens, etc.

$$I_{IA} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot L_i}{L}$$

Onde:

I_{IA} – Indicador de integração ambiental (0 a 1)

L – extensão total do trecho que recebeu a intervenção (L)

n – número de trechos homogêneos quanto ao padrão de técnicas aplicadas e forma da seção

L_i – extensão do trecho “i” do rio (L)

R_i - Coeficiente de integração ambiental do trecho “i”:

$R_1=0$ – Estabilização rígida e não permeável com canalização em seção fechada

Compreende as galerias em concreto armado, com total exclusão do curso de água do tecido urbano, não havendo interação com lençol freático e outros processos ecológicos, bem como a supressão do seu uso pelo homem pra fins de lazer, recreação, pesca, etc.

$R_2=0,1$ – Estabilização rígida e não permeável de margens

Compreende revestimentos que alteram a seção transversal e reduzem as irregularidades do leito e/ou margens com aumento da velocidade do escoamento, assim como impedem o fluxo entre o canal e o lençol freático (exemplos: concreto, pedra de mão argamassada, gabião com revestimento em concreto ou material betuminoso, etc.).

$R_3=0,3$ – Estabilização rígida e permeável de margens

Compreendem revestimentos que permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático, assim como estabilização das margens, possuindo grande coeficiente de rugosidade e possibilidade de crescimento de vegetação, porém com grande alteração da seção transversal (exemplo: canal revestido com gabião tipo caixa, *cribwall*)

$R_4=0,4$ – Estabilização flexível de margens

Compreendem revestimentos que permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático, porém com a estabilização das margens pela alteração da

inclinação do talude e/ou reforço do solo das margens, ocorrendo a alteração da seção, podendo serem utilizados geossintéticos como geotêxtil e geogrelhas, associados a biomantas para proteção das margens e desenvolvimento de espécies vegetais, porém verifica-se a alteração da seção e redução do coeficiente de rugosidade (exemplo: canais trapezoidais com solo reforçado por geotêxtil nas margens e proteção com geocompostos, biomantas e espécies vegetais; canal trapezoidal com revestimento em grama ou outras espécies vegetais)

$R_4=0,7$ – Estabilização rígida permeável de margens, com maior adaptação à forma natural da seção transversal do rio

Estão compreendidos revestimentos que permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático, assim como estabilização das margens, possuindo alto coeficiente de rugosidade e possibilidade de crescimento de vegetação, porém com maior flexibilidade para se adaptar à seção natural do rio (exemplo: canal em enrocamento, gabião saco)

$R_6=0,9$ - Estabilização flexível de margens com manutenção da permeabilidade e irregularidade das margens, porém com necessidade de escavação e possibilidade de carreamento de solo para o rio

Compreende as intervenções para as quais são incluídas e/ou mantidas as irregularidades no leito e/ou margens como depressões, galhos e vegetação, aproximando-se da situação natural, garantindo o fluxo entre o canal e o lençol freático e com margens estáveis, utilizando materiais naturais, porém que exigem intervenções com utilização de equipamentos pesados e grande revolvimento do solo das margens durante sua execução. (exemplo: canais onde a forma natural da seção transversal foi mantida ou sofreu alterações localizadas para contenção de focos erosivos, com utilização de grandes troncos de árvores e/ou pedras, e espécies vegetais)

$R_7=1,0$ - Estabilização flexível de margens com manutenção da permeabilidade e irregularidade das margens, sem a necessidade de escavação

Compreende as intervenções para as quais são incluídas e/ou mantidas as irregularidades no leito e/ou margens como depressões, galhos e vegetação, aproximando-se da situação natural, garantindo o fluxo entre o canal e o lençol freático e com margens estáveis, utilizando técnicas que exigem pequenas intervenções no curso de água (exemplo: canais onde a forma natural da seção transversal foi mantida ou sofreu alterações localizadas para contenção de focos erosivos, com utilização de pequenos troncos ou galhos de árvores, estacas vegetais, faxinas, feixes de galhos, etc.)

APÊNDICE III

Cálculo dos indicadores de desempenho

Trecho 18A

Impacto sobre as vazões no local

TRInud=	25		
Tralt=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	25	25	25
Iqi=	1,00	1,00	1,00

Impacto sobre as vazões a jusante

Alt 1		Alt 2		Alt 3	
QR=	29,83	QR=	29,83	QR=	29,83
Qd=	29,87	Qd=	29,77	Qd=	29,66
Qa=	29,83	Qa=	29,83	Qa=	29,83
Iqj	1,00	Iqj	1,00	Iqj	1,00

Impacto avaliado com a propagação da cheia do Trecho 18, devido ao pequeno impacto na vazão do trecho 18A $DQ=+0,05\text{m}^3/\text{s}$

Adaptabilidade Hidráulica

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Max fut			
B	21,0	21,0	30,0
h	3,9	3,9	3,9
A=	81,9	81,9	117,0
P=	28,8	28,8	37,8
n=	0,015	0,015	0,015
k=	10959	10959	16566
Iah=	0,66	0,66	1,00

Coleta de resíduos sólidos domiciliares

DSCantes=		22	Ksc=0,23
DSCapós	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	9	9	1
Icr=	0,14	0,14	0,22

Controle de vetores

R=		1	
Ae	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	0	0	0
Icv=	1	1	1

Qualidade das águas

Abacia(m ²)=		420000	
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
ATRP(m)	0	0	0
Averdes(m)	11595	11035,1	21160
Iqai=	0,03	0,03	0,05
Iqa=	0,55	0,52	1,00

Desenvolvimento longitudinal

LN(m)=	528,9		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Lp(m)=	480,6	480,6	528,9
Lsme(m)=	136,0	136,0	528,9
Idl=	0,58	0,58	1,00

Equilíbrio geomorfológico

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Ieg=	0,92	1,00	1,00

Mata ciliar e áreas verdes

kav=0,83

Avantes=	157083	(>0)	
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Avapós=	166151	165622	175716
Iav=	0,43	0,43	0,44

Avantes=	0		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Avapós=			
Iav=			

Integração ambiental

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
k		0,2	
L		480,0	
Iia=	0,74	0,20	0,82

Trecho 20

Impacto sobre as vazões no local

TRInud=	*		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Tralt=	*	*	*
Iqi=	1,00	1,00	1,00

*Baixo risco

Impacto sobre as vazões a jusante

Alt 1		Alt 2		Alt 3	
QR=	14,94	QR=	14,94	QR=	14,94
Qd=	16,19	Qd=	16,87	Qd=	16,58
Qa=	17,09	Qa=	17,09	Qa=	17,09
Iqj	0,42	Iqj	0,10	Iqj	0,36

Indicador avaliado em conjunto com trecho 21, pois trata-se de uma junção

Adaptabilidade Hidráulica

Max fut	Alt 1	Alt 2	Alt 3
B	21,0	21,0	40,0
h	2,5	2,5	2,5
A=	52,5	52,5	100
P=	26	26	45
n=	0,015	0,015	0,015
k=	5591	5591	11353
Iah=	0,49	0,49	1,00

Coleta de resíduos sólidos domiciliares

DSCantes=		26	Ksc=0,23
DSCapós	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	18	18	0
Icr=	0,07	0,07	0,23

Controle de vetores

R=		1	
Ae	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	0,0	0,0	0,0
Icv=	1,00	1,00	1,00

Qualidade das águas

Abacia(m2)=		530000	
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
ATRP	0	0	0
Averdes	43683	43469,05	56868
Iqai=	0,08	0,08	0,11
Iqa=	0,77	0,76	1,00

Desenvolvimento longitudinal

LN(m)=	239,8		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Lp(m)=	193,5	193,5	239,8
Lsme(m)=	9,0	9,0	239,8
Idl=	0,42	0,42	1,00

Equilíbrio geomorfológico

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Ieg=	1,00	1,00	1,00

Mata ciliar e áreas verdes		kav=0,83	
Avantes=	134523	(>0)	
Avapós=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	183124	182911	196309
Iav=	0,48	0,48	0,49

Avantes=	0		
Avapós=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Iav=			

Integração ambiental

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
k		0,2	0,6-0,9
L		193,0	80,0-159,8
Iia=	0,72	0,20	0,80

Trecho 21

Impacto sobre as vazões no local

TRInud=	*		
Tralt=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	*	*	*
Iqi=	1,00	1,00	1,00

*Baixo risco

Impacto sobre as vazões a jusante

	Alt 1		Alt 2		Alt 3	
QR=	14,94	QR=	14,94	QR=	14,94	
Qd=	16,19	Qd=	16,87	Qd=	16,31	
Qa=	17,09	Qa=	17,09	Qa=	17,09	
Iqj	0,42	Iqj	0,10	Iqj	0,36	

Indicador avaliado em conjunto com trecho 20, pois trata-se de uma junção

Adaptabilidade Hidráulica

Max fut	Alt 1	Alt 2	Alt 3
B	21,0	21,0	25,0
h	4,0	4,0	4,0
A=	84,0	84,0	100,0
P=	29	29	33
n=	0,015	0,015	0,015
k=	11379	11379	13960
Iah=	0,82	0,82	1,00

Coleta de resíduos sólidos domiciliares

DSCantes=		21 Ksc=0,23	
DSCapós	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	20	20	0
Icr=	0,01	0,01	0,23

Controle de vetores

R=		1	
Ae	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	0,0	0,0	0,0
Icv=	1,00	1,00	1,00

Qualidade das águas

Abacia(m2)=		230000	
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
ATRP	0	0	
Averdes	4176	3770	9820
Iqai=	0,02	0,02	0,04
Iqa=	0,43	0,38	1,00

Desenvolvimento longitudinal

LN(m)=	245,5		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Lp(m)=	193,5	193,5	245,5
Lsme(m)=	53,0	53,0	245,5
Idl=	0,50	0,50	1,00

Equilíbrio geomorfológico

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Ieg=	1,00	1,00	1,00

Mata ciliar e áreas verdes

kav=0,83

Avantes=	(>0)		
Avapós=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Iav=			

Avantes=	0		
Avapós=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	4176	3769,65	9820
Iav=	0,35	0,32	0,83

Integração ambiental

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
k		0,2	
L		193,0	
Iia=	0,73	0,20	0,82

Trecho 18

Impacto sobre as vazões no local

TRInud= 50			
Tralt=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	50	50	50
Iqi=	1	1	1

Impacto sobre as vazões a jusante

Alt 1		Alt 2		Alt 3	
QR=	29,83	QR=	29,83	QR=	29,83
Qd=	29,87	Qd=	29,77	Qd=	29,66
Qa=	29,83	Qa=	29,83	Qa=	29,83
Iqj	1,00	Iqj	1,00	Iqj	1,00

Adaptabilidade Hidráulica

Max fut	Alt 1	Alt 2	Alt 3
B	20,0	20,0	40,0
h	4,0	4,0	4,0
A=	80,0	80,0	160,0
P=	28,0	28,0	48,0
n=	0,015	0,015	0,015
k=	10739	10739	23802
IAH=	0,45	0,45	1,00

Coleta de resíduos sólidos domiciliares

DSCantes= *			Ksc=0,23
DSCapós	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	*	*	*
Icr=	0,0	0,0	0,0

*Não houve redução do déficit de coleta

Controle de vetores

R=		1	
Ae	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	0	0	0
Icv=	1,0	1,0	1,0

Qualidade das águas

Abacia(m2)=	530000		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
ATRP	0	0	0
Averdes	34352	33254	33254
Iqai=	0,06	0,06	0,06
Iqa=	1,00	0,97	0,97

Desenvolvimento longitudinal

LN(m)=	899,0		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Lp(m)=	859,3	859,3	899,0
Lsme(m)=	190,1	190,1	899,0
Idl=	0,58	0,58	1,00

Equilíbrio geomorfológico

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Ieg=	0,85	1,00	1,00

Mata ciliar e áreas verdes kav=0,83

Avantes=	32545	(>0)	
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Avapós=	206500	205402	206500
Iav=	0,72	0,72	0,72

Avantes=	0		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Avapós=			
Iav=			

Integração ambiental

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
k			
L			
Iia=	0,77	0,20	0,84

Trecho 16-17

Impacto sobre as vazões no local

TRInud=	50		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Tralt=	50	50	50
Iqi=	1,00	1,00	1,00

Impacto sobre as vazões a jusante

Alt 1		Alt 2		Alt 3	
QR=	33,18	QR=	33,18	QR=	33,18
Qd=	33,7	Qd=	33,62	Qd=	33,73
Qa=	33,18	Qa=	33,18	Qa=	33,18
Iqj	0,00	Iqj	0,00	Iqj	0,00

Adaptabilidade Hidráulica

Max fut	Alt 1	Alt 2	Alt 3
B	20,0	20,0	40,0
h	3,0	3,0	4,0
A=	60,0	60,0	160,0
P=	26,0	26,0	48,0
n=	0,015	0,015	0,015
k=	6985	6985	23802
Iah=	0,29	0,29	1,00

Coleta de resíduos sólidos domiciliares

DSCantes=		*	Ksc=0,23
DSCapós	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	*	*	*
Icr=	0,00	0,00	0,00

*Não houve redução do déficit de coleta

Controle de vetores

R=		1	
Ae	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	0,0	0,0	0,0
Icv=	1,00	1,00	1,00

Qualidade das águas

Abacia(m2)=		200000	
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
ATRP	0	0	0
Averdes	20674	19599	20674
Iqai=	0,10	0,10	0,10
Iqa=	1,00	0,95	1,00

Desenvolvimento longitudinal

LN(m)=	493,5		
	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Lp(m)=	415	415	493,5
Lsme(m)=	179	179	493,5
Idl=	0,6018	0,6018	1,0000

Equilíbrio geomorfológico

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
I _{eg} =	0,84	1,00	1,00

Mata ciliar e áreas verdes kav=0,83

Avantes=	66824	(>0)	
Avapós=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	79781	78743,5	79781
I _{av} =	0,4517	0,4490	0,451678

Avantes=	0		
Avapós=	Alt 1	Alt 2	Alt 3
I _{av} =			

Integração ambiental

	Alt 1	Alt 2	Alt 3
k			
L			
I _{ia} =	0,77	0,2	0,86

APÊNDICE IV

Agregação dos indicadores

Agregação TOPSIS - Critérios de desempenho - Solução Base

Ponto ideal	Indicador=	1	Ponto anti-ideal	Indicador=	0	p=	2
-------------	------------	---	------------------	------------	---	----	---

Trecho 18A

Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1} - a_1 ^p$
I _{QI}	13	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00
I _{QJ}	13	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00
I _{AH}	8	7,33	28,01	7,33	28,01	0,00	64,00
I _{CR}	10	74,67	1,85	74,67	1,85	49,34	4,82
I _{CV}	7	0,00	49,00	0,00	49,00	49,00	49,00
I _{QA}	11	24,72	36,33	27,70	32,91	0,00	121,00
I _{DL}	8	11,13	21,75	11,13	21,75	0,00	64,00
I _{EG}	7	0,31	41,47	0,00	49,00	0,00	49,00
I _{AV}	13	55,56	30,76	55,69	30,67	53,33	32,46
I _{IA}	10	6,76	54,76	64,00	4,00	3,24	67,24
Distâncias		$d_{p1}^M = 13,4$	$d_{p1}^m = 24,5$	$d_{p1}^M = 15,5$	$d_{p1}^m = 23,6$	$d_{p1}^M = 12,9$	$d_{p1}^m = 28,1$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,65$		$D_{p1} = 0,60$		$D_{p1} = 0,69$	

Trecho 20

Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1} - a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1} - a_1 ^p$
I _{QI}	13	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00
I _{QJ}	13	57,13	29,61	136,18	1,77	68,62	22,24
I _{AH}	8	16,48	15,52	16,48	15,52	0,00	64,00
I _{CR}	10	86,35	0,50	86,35	0,50	50,29	5,29
I _{CV}	7	0,00	49,00	0,00	49,00	49,00	49,00
I _{QA}	11	6,50	71,40	6,72	70,70	0,00	121,00
I _{DL}	8	21,36	11,41	21,36	11,41	0,00	64,00
I _{EG}	7	0,00	49,00	0,00	49,00	0,00	49,00
I _{AV}	13	45,96	38,69	46,00	38,66	43,53	40,99
I _{IA}	10	7,84	51,84	64,00	4,00	4,00	64,00
Distâncias		$d_{p1}^M = 15,5$	$d_{p1}^m = 22,0$	$d_{p1}^M = 19,4$	$d_{p1}^m = 20,2$	$d_{p1}^M = 15,0$	$d_{p1}^m = 25,5$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,59$		$D_{p1} = 0,51$		$D_{p1} = 0,63$	

Trecho 21							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I_{QI}	13	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00
I_{QJ}	13	57,13	29,61	136,18	1,77	68,62	22,24
I_{AH}	8	2,19	42,52	2,19	42,52	0,00	64,00
I_{CR}	10	97,82	0,01	97,82	0,01	59,29	5,29
I_{CV}	7	0,00	49,00	0,00	49,00	49,00	49,00
I_{QA}	11	39,97	21,88	45,92	17,84	0,00	121,00
I_{DL}	8	15,87	16,13	15,87	16,13	0,00	64,00
I_{EG}	7	0,00	49,00	0,00	49,00	0,00	49,00
I_{AV}	13	70,75	21,05	78,46	17,16	4,88	116,42
I_{IA}	10	7,29	53,29	64,00	4,00	4,00	64,00
Distâncias		$d_{p1}^M = 17,1$	$d_{p1}^m = 21,2$	$d_{p1}^M = 21,0$	$d_{p1}^m = 19,1$	$d_{p1}^M = 13,6$	$d_{p1}^m = 26,9$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,55$		$D_{p1} = 0,48$		$D_{p1} = 0,66$	

Trecho 18							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I_{QI}	13	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00
I_{QJ}	13	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00
I_{AH}	8	19,28	13,03	19,28	13,03	0,00	64,00
I_{CR}	10	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
I_{CV}	7	0,00	49,00	0,00	49,00	49,00	49,00
I_{QA}	11	0,00	121,00	0,12	113,39	0,12	113,39
I_{DL}	8	11,09	21,80	11,09	21,80	0,00	64,00
I_{EG}	7	1,10	35,40	0,00	49,00	0,00	49,00
I_{AV}	13	13,54	86,88	13,59	86,75	13,54	86,88
I_{IA}	10	5,29	59,29	64,00	4,00	2,56	70,56
Distâncias		$d_{p1}^M = 12,3$	$d_{p1}^m = 26,9$	$d_{p1}^M = 14,4$	$d_{p1}^m = 26,0$	$d_{p1}^M = 12,9$	$d_{p1}^m = 28,9$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,69$		$D_{p1} = 0,64$		$D_{p1} = 0,69$	

Trecho 16-17

Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	13	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00
I _{QJ}	13	169,00	0,00	169,00	0,00	169,00	0,00
I _{AH}	8	31,95	5,51	31,95	5,51	0,00	64,00
I _{CR}	10	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
I _{CV}	7	0,00	49,00	0,00	49,00	49,00	49,00
I _{QA}	11	0,00	121,00	0,33	108,74	0,00	121,00
I _{DL}	8	10,15	23,18	10,15	23,18	0,00	64,00
I _{EG}	7	1,25	34,57	0,00	49,00	0,00	49,00
I _{AV}	13	50,81	34,48	51,31	34,07	50,81	34,48
I _{IA}	10	5,29	59,29	64,00	4,00	1,96	73,96
Distâncias		$d_{p1}^M = 19,2$	$d_{p1}^m = 22,3$	$d_{p1}^M = 20,7$	$d_{p1}^m = 21,0$	$d_{p1}^M = 19,3$	$d_{p1}^m = 25,0$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,54$		$D_{p1} = 0,50$		$D_{p1} = 0,56$	

Agregação TOPSIS - Critérios de desempenho - Avaliação Tradicionalista

Ponto ideal	Indicador=	1	Ponto anti-ideal	Indicador=	0	p=	2
-------------	------------	---	------------------	------------	---	----	---

Trecho 18A

Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	16	0,00	256,00	0,00	256,00	0,00	256,00
I _{QJ}	15	0,00	225,00	0,00	225,00	0,00	225,00
I _{AH}	9	9,28	35,45	9,28	35,45	0,00	81,00
I _{CR}	9	60,48	1,50	60,48	1,50	49,34	3,90
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	20,43	30,03	22,90	27,20	0,00	100,00
I _{DL}	7	8,52	16,65	8,52	16,65	0,00	49,00
I _{EG}	6	0,23	30,47	0,00	36,00	0,00	36,00
I _{AV}	12	47,34	26,21	47,45	26,13	45,44	27,66
I _{IA}	10	6,760	54,760	64,000	4,000	3,240	67,240
Distâncias		$d_{p1}^M = 12,4$	$d_{p1}^m = 26,7$	$d_{p1}^M = 14,6$	$d_{p1}^m = 25,8$	$d_{p1}^M = 11,6$	$d_{p1}^m = 29,7$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,68$		$D_{p1} = 0,64$		$D_{p1} = 0,72$	

Trecho 20							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	16	0,00	256,00	0,00	256,00	0,00	256,00
I _{QJ}	15	76,05	39,43	181,31	2,36	91,36	29,61
I _{AH}	9	20,86	19,65	20,86	19,65	0,00	81,00
I _{CR}	9	69,94	0,41	69,94	0,41	48,02	4,28
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	5,38	59,01	5,55	58,43	0,00	100,00
I _{DL}	7	16,36	8,74	16,36	8,74	0,00	49,00
I _{EG}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	0,00	36,00
I _{AV}	12	39,16	32,97	39,20	32,94	37,09	34,93
I _{IA}	10	7,84	51,84	64,00	4,00	4,00	64,00
Distâncias		$d_{p1}^M = 15,3$	$d_{p1}^m = 23,2$	$d_{p1}^M = 19,9$	$d_{p1}^m = 21,3$	$d_{p1}^M = 14,7$	$d_{p1}^m = 26,3$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,60$		$D_{p1} = 0,52$		$D_{p1} = 0,64$	

Trecho 21							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	16	0,00	256,00	0,00	256,00	0,00	256,00
I _{QJ}	15	76,05	39,43	181,31	2,36	91,36	29,61
I _{AH}	9	2,77	53,82	2,77	53,82	0,00	81,00
I _{CR}	9	79,24	0,01	79,24	0,01	48,02	4,28
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	33,03	18,08	37,95	14,74	0,00	100,00
I _{DL}	7	12,15	12,35	12,15	12,35	0,00	49,00
I _{EG}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	0,00	36,00
I _{AV}	12	60,29	17,94	66,86	14,62	4,16	99,20
I _{IA}	10	7,29	53,29	64,00	4,00	4,00	64,00
Distâncias		$d_{p1}^M = 16,5$	$d_{p1}^m = 22,9$	$d_{p1}^M = 21,1$	$d_{p1}^m = 20,7$	$d_{p1}^M = 13,5$	$d_{p1}^m = 27,5$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,58$		$D_{p1} = 0,50$		$D_{p1} = 0,67$	

Trecho 18							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	16	0,00	256,00	0,00	256,00	0,00	256,00
I _{QJ}	15	0,00	225,00	0,00	225,00	0,00	225,00
I _{AH}	9	24,40	16,49	24,40	16,49	0,00	81,00
I _{CR}	9	81,00	0,00	81,00	0,00	81,00	0,00
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	0,00	100,00	0,10	93,71	0,10	93,71
I _{DL}	7	8,49	16,69	8,49	16,69	0,00	49,00

I_{EG}	6	0,81	26,01	0,00	36,00	0,00	36,00
I_{AV}	12	11,53	74,03	11,58	73,92	11,53	74,03
I_{IA}	10	5,29	59,29	64,00	4,00	2,56	70,56
Distâncias		$d_{p1}^M = 11,5$	$d_{p1}^m = 28,5$	$d_{p1}^M = 13,8$	$d_{p1}^m = 27,5$	$d_{p1}^M = 11,5$	$d_{p1}^m = 30,4$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,71$		$D_{p1} = 0,67$		$D_{p1} = 0,73$	

Trecho 16-17

Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{m1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{M1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{m1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{M1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{m1-a1} ^p$
I_{QI}	16	0,00	256,00	0,00	256,00	0,00	256,00
I_{QJ}	15	225,00	0,00	225,00	0,00	225,00	0,00
I_{AH}	9	40,43	6,98	40,43	6,98	0,00	81,00
I_{CR}	9	81,00	0,00	81,00	0,00	81,00	0,00
I_{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I_{QA}	10	0,00	100,00	0,27	89,87	0,00	100,00
I_{DL}	7	7,77	17,75	7,77	17,75	0,00	49,00
I_{EG}	6	0,92	25,40	0,00	36,00	0,00	36,00
I_{AV}	12	43,29	29,38	43,72	29,03	43,29	29,38
I_{IA}	10	5,29	59,29	64,00	4,00	1,96	73,96
Distâncias		$d_{p1}^M = 20,1$	$d_{p1}^m = 23,0$	$d_{p1}^M = 21,5$	$d_{p1}^m = 21,8$	$d_{p1}^M = 19,7$	$d_{p1}^m = 25,7$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,53$		$D_{p1} = 0,50$		$D_{p1} = 0,57$	

Agregação TOPSIS - Critérios de desempenho - Avaliação Ambientalista

Ponto ideal	Indicador=	1	Ponto anti-ideal	Indicador=	1	$p =$	2
-------------	------------	---	------------------	------------	---	-------	---

Trecho 18A

Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{m1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{M1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{m1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{M1-a1} ^p$	$w^p \cdot a_{m1-a1} ^p$
I_{QI}	12	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00
I_{QJ}	12	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00
I_{AH}	7	5,61	21,44	5,61	21,44	0,00	49,00
I_{CR}	9	60,48	1,50	60,48	1,50	49,34	3,90
I_{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I_{QA}	10	20,43	30,03	22,90	27,20	0,00	100,00
I_{DL}	9	14,09	27,52	14,09	27,52	0,00	81,00
I_{EG}	8	0,41	54,17	0,00	64,00	0,00	64,00
I_{AV}	16	84,16	46,60	84,35	46,45	80,79	49,16
I_{IA}	11	8,180	66,260	77,440	4,840	3,920	81,360
Distâncias		$d_{p1}^M = 13,9$	$d_{p1}^m = 23,9$	$d_{p1}^M = 16,3$	$d_{p1}^m = 22,7$	$d_{p1}^M = 13,0$	$d_{p1}^m = 27,4$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,63$		$D_{p1} = 0,58$		$D_{p1} = 0,68$	

Trecho 20							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	12	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00
I _{QJ}	12	48,67	25,23	116,04	1,51	58,47	18,95
I _{AH}	7	12,62	11,89	12,62	11,89	0,00	49,00
I _{CR}	9	69,94	0,41	69,94	0,41	48,02	4,28
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	5,38	59,01	5,55	58,43	0,00	100,00
I _{DL}	9	27,04	14,44	27,04	14,44	0,00	81,00
I _{EG}	8	0,00	64,00	0,00	64,00	0,00	64,00
I _{AV}	16	69,62	58,61	69,69	58,56	65,93	62,10
I _{IA}	11	9,49	62,73	77,44	4,84	4,84	77,44
Distâncias		$d_{p1}^M = 15,6$	$d_{p1}^m = 21,8$	$d_{p1}^M = 19,45$	$d_{p1}^m = 19,9$	$d_{p1}^M = 14,6$	$d_{p1}^m = 25,2$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,58$		$D_{p1} = 0,51$		$D_{p1} = 0,63$	

Trecho 21							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	12	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00
I _{QJ}	12	48,67	25,23	116,04	1,51	58,47	18,95
I _{AH}	7	1,68	32,55	1,68	32,55	0,00	49,00
I _{CR}	9	79,24	0,01	79,24	0,01	48,02	4,28
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	33,03	18,08	37,95	14,74	0,00	100,00
I _{DL}	9	20,09	20,42	20,09	20,42	0,00	81,00
I _{EG}	8	0,00	64,00	0,00	64,00	0,00	64,00
I _{AV}	16	107,18	31,89	118,86	25,99	7,40	176,36
I _{IA}	11	8,82	64,48	77,44	4,84	4,84	77,44
Distâncias		$d_{p1}^M = 17,3$	$d_{p1}^m = 20,9$	$d_{p1}^M = 21,2$	$d_{p1}^m = 18,5$	$d_{p1}^M = 12,4$	$d_{p1}^m = 27,4$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,55$		$D_{p1} = 0,47$		$D_{p1} = 0,69$	

Trecho 18							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	12	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00
I _{QJ}	12	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00
I _{AH}	7	14,76	9,97	14,76	9,97	0,00	49,00
I _{CR}	9	81,00	0,00	81,00	0,00	81,00	0,00
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	0,00	100,00	0,10	93,71	0,10	93,71
I _{DL}	9	14,04	27,59	14,04	27,59	0,00	81,00
I _{EG}	8	1,44	46,24	0,00	64,00	0,00	64,00
I _{AV}	16	20,50	131,61	20,58	131,42	20,50	131,61
I _{IA}	11	6,40	71,74	77,44	4,84	3,10	85,38
Distâncias		$d_{p1}^M = 11,8$	$d_{p1}^m = 26,7$	$d_{p1}^M = 14,4$	$d_{p1}^m = 25,6$	$d_{p1}^M = 11,9$	$d_{p1}^m = 28,8$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,69$		$D_{p1} = 0,64$		$D_{p1} = \mathbf{0,71}$	

Trecho 16-17							
Indicadores	Pesos w_j	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{M1}-a_1 ^p$	$w^p \cdot a_{m1}-a_1 ^p$
I _{QI}	12	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00
I _{QJ}	12	144,00	0,00	144,00	0,00	144,00	0,00
I _{AH}	7	24,46	4,22	24,46	4,22	0,00	49,00
I _{CR}	9	81,00	0,00	81,00	0,00	81,00	0,00
I _{CV}	6	0,00	36,00	0,00	36,00	36,00	36,00
I _{QA}	10	0,00	100,00	0,27	89,87	0,00	100,00
I _{DL}	9	12,84	29,34	12,84	29,34	0,00	81,00
I _{EG}	8	1,64	45,16	0,00	64,00	0,00	64,00
I _{AV}	16	76,97	52,23	77,73	51,61	76,97	52,23
I _{IA}	11	6,40	71,74	77,44	4,84	2,37	89,49
Distâncias		$d_{p1}^M = 18,6$	$d_{p1}^m = 22,0$	$d_{p1}^M = 20,4$	$d_{p1}^m = 20,6$	$d_{p1}^M = 18,4$	$d_{p1}^m = 24,8$
Taxa de similaridade		$D_{p1} = 0,54$		$D_{p1} = 0,50$		$D_{p1} = \mathbf{0,57}$	

APÊNDICE V

Avaliação de robustez da sistemática de avaliação quanto aos pesos dos indicadores que apresentaram maior coeficiente de variação

Para esta avaliação da metodologia foram utilizados os limites superiores e inferiores dos pesos, definidos pelo coeficiente de variação. Foram escolhidos três dos indicadores que apresentaram maior coeficiente de variação, I_{CR} , I_{QA} , e I_{IA} , sendo os demais indicadores ajustados para manter a soma dos pesos igual a 100. Os pesos utilizados foram os descritos na Tabela V.1.

Tabela V.1: Pesos dos indicadores para avaliação da robustez

Indicador	Pesos					
	Aval.1	Aval.2	Aval.3	Aval.4	Aval.5	Aval.6
I_{CR}	7	12	10	9	10	9
I_{PV}	8	6	7	7	7	7
I_{QA}	12	10	8	14	12	10
I_{DL}	8	8	8	8	8	8
I_{EG}	7	7	7	7	7	7
I_{AV}	14	13	15	12	11	15
I_{IA}	10	10	10	10	10	10
I_{QI}	13	13	14	12	14	13
I_{QJ}	13	13	13	13	13	13
I_{AH}	8	8	8	8	8	8

Para todas as alterações nos pesos dos indicadores a classificação foi mantida, houve alterações de pesos que alteraram significativamente os índices de desempenho, ou reduziram as distâncias entre alternativas, mas sem alterar a ordenação. Alguns dos Gráficos de Pareto que apresentaram maiores alterações nos valores dos índices de desempenho são apresentados a seguir.

Para os gráficos de Pareto apresentados a seguir a solução base é representada com linhas tracejadas e a avaliação de alteração dos pesos dos indicadores em linha contínua.

Para a avaliação 1, que minimizou o peso do indicador de coleta de resíduos sólidos domiciliares, verifica-se pela Figura A-V.1 que a alteração dos índices de desempenho foi pequena, não havendo alteração na ordenação da solução base para a solução com alteração do peso do indicador.

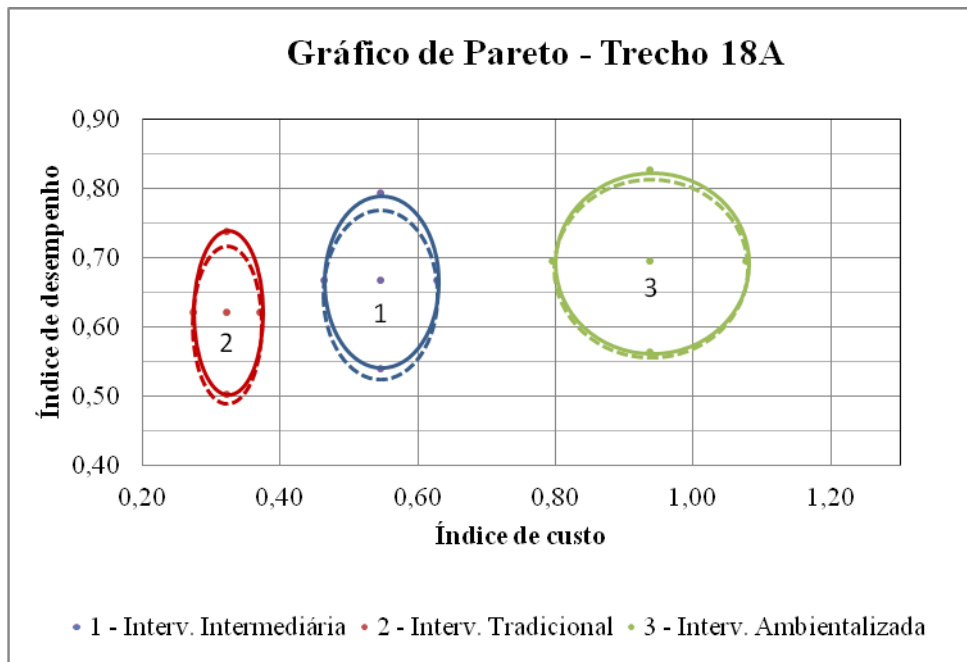


Figura A-V.1: Avaliação 1 – Trecho 18A

Na Figura A-V.2, que se refere à avaliação 2, que maximizou o peso do indicador de coleta de resíduos sólidos domiciliares, verifica-se que as alternativas 1 e 3 para o Trecho 21, apresentam uma maior alteração dos valores do índice de desempenho, porém, a ordenação da solução base foi mantida.

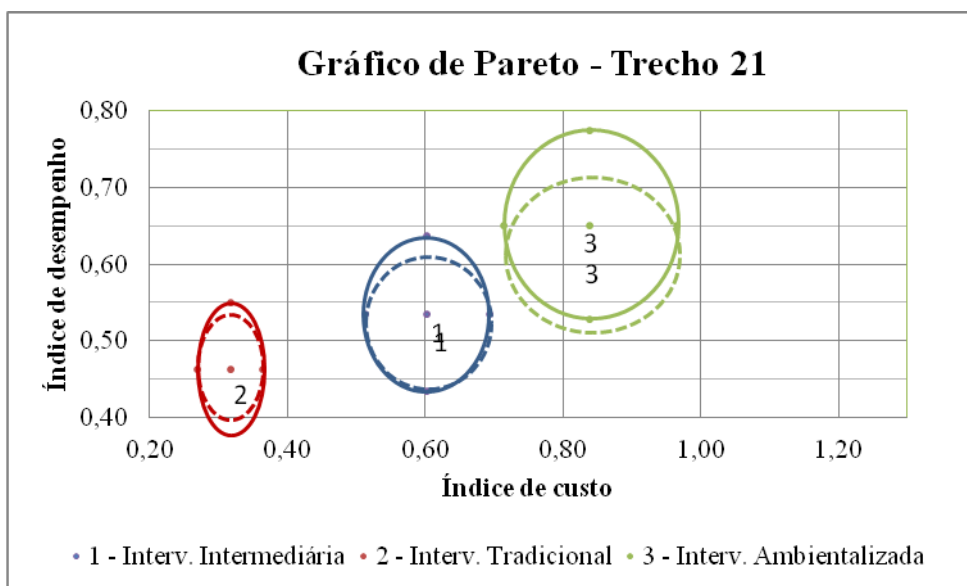


Figura A-V.2: Avaliação 2 – Trecho 21

A avaliação 3, que minimizou o indicador de qualidade das águas apresentou as menores alterações dentre as avaliações feitas. Pode ser visualizado na Figura A-V-3 que o resultado desta avaliação é praticamente o mesmo da solução base.

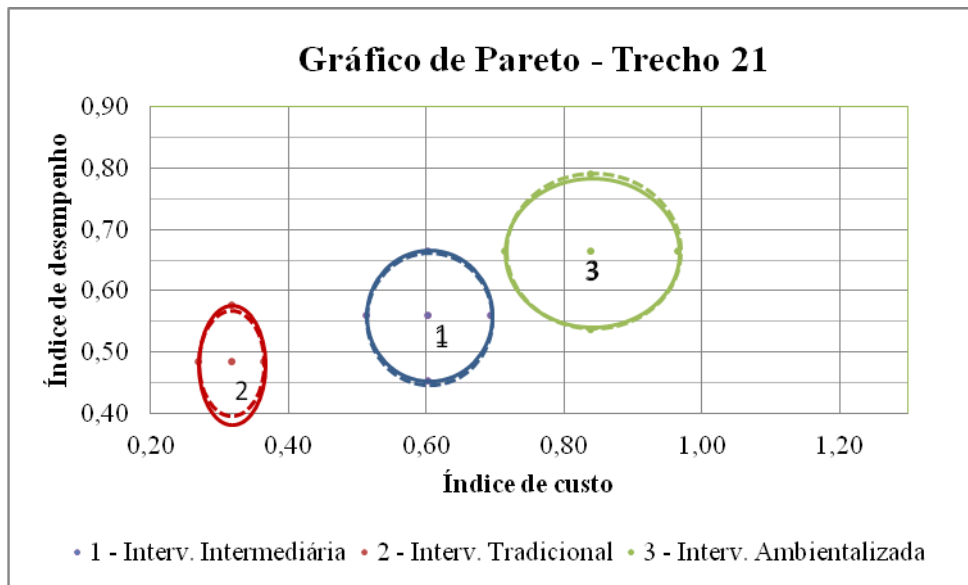


Figura A-V.3: Avaliação 3 – Trecho 21

A avaliação 4 que maximizou o peso do indicador de qualidade das águas, apresentou para os Trechos 16-17 alteração significativa nos índices de desempenho, mas que não alteraram o ordenamento, conforme gráfico da Figura A-V.4.

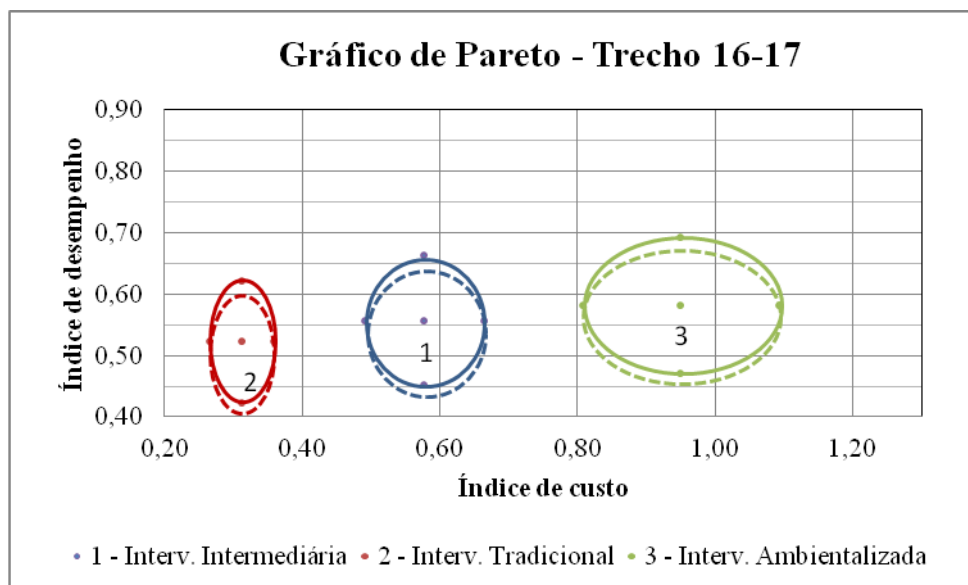


Figura A-V.4: Avaliação 4-Resultado do Trechos 16-17

Para a avaliação 5 foi minimizado o peso do indicador de área verdes e matas ciliares, apresentando para os trechos 16-17 um variação de desempenho significativa, porém também sem alteração da ordenação, o que pode ser visualizado na Figura A-V.5.

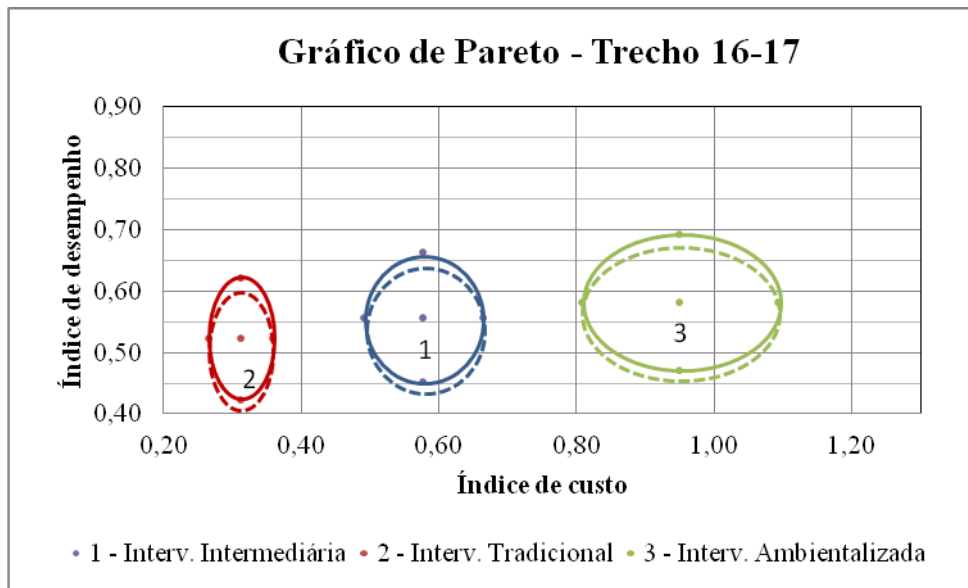


Figura A-V.5: Avaliação 5-Resultado do Trechos 16-17

A avaliação 6 maximizou o peso do indicador de área verdes e matas ciliares. O trecho 21 apresentou também, a mesma classificação da solução base, conforme Figura A-V.6, e praticamente os mesmos índices de desempenho daquela solução.

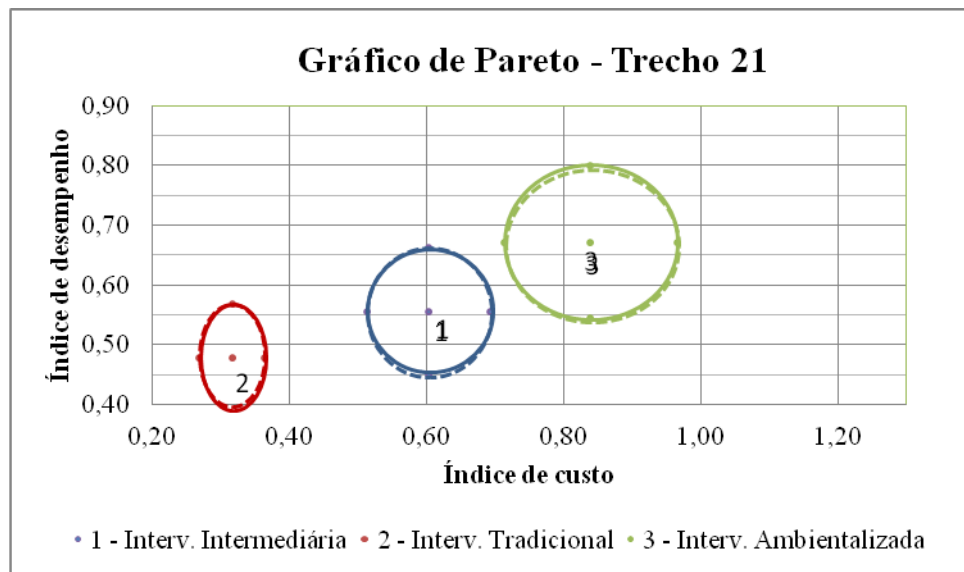


Figura A-V.6: Avaliação 6 - Resultado do Trecho 21