

# Rega

## Metodologia multicriterial para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas

Adriana Sales Cardoso  
Márcio Benedito Baptista

**RESUMO:** Intervenções em cursos de água urbanos tem sido alvo de ampla discussão. O lugar de destaque que vem sendo assumido pelas abordagens ambientalmente integradas, em contraposição às tradicionais técnicas de engenharia, insere novos elementos aos processos de análise e decisão – múltiplas disciplinas, escopos e atores –, ampliando as dificuldades inerentes à escolha de soluções.

Em vista da carência de metodologias voltadas ao suporte do processo ora citado, este trabalho apresenta uma proposta de ferramenta com tal finalidade, buscando integrar variáveis fluviais, ambientais e urbanísticas.

A metodologia proposta, a ser empregada na fase de estudos preliminares das operações urbanísticas que apresentam interferências ou implicam intervenções diretas em rios e córregos, consiste na estruturação das etapas de um processo decisório multicriterial, considerando os objetivos da intervenção, o diagnóstico dos meios fluvial e urbano, a concepção de alternativas e a análise de sua viabilidade, a análise de seu desempenho, impactos, custos e atendimento aos objetivos, permitindo, finalmente, realizar-se a comparação global das alternativas em estudo.

No intuito de ilustrar a aplicação da metodologia, a descrição de cada uma das suas etapas é realizada juntamente com sua aplicação efetiva a um estudo de caso.

**PALAVRAS-CHAVE:** cursos de água urbanos, intervenções, indicadores, análise multicriterial

**ABSTRACT:** Interventions in urban rivers and streams water courses have been subject of intense discussion. The observed tendency of adoption of integrated approaches, instead of the traditional engineering ones, creates the need to consider many disciplines, scopes and actors in the decision process, making the selection of alternatives even more difficult. The lack of methodologies focused in the mentioned decision process leads to the opportunity of this paper, proposing an aid-decision tool incorporating fluvial and environmental variables to those related to the urban scenario. Therefore, the proposed methodology consists on structuring the phases of a multicriterial decision process related to urban interventions that may affect, in different levels, rivers and streams. It aims to help the preliminary phase of studies, taking into account the intervention's objectives, the diagnosis of the fluvial and urban environments, the conception and feasibility analyses of alternatives and their performance/impact, costs and level of objectives attendance analysis, making possible to compare alternative and select the appropriate, in global terms. With the intention to illustrate the methodology appliance, each of its phases is described along with a case study.

**KEY-WORDS:** urban watercourses, interventions, indicators, multicriterial analysis.

### INTRODUÇÃO

O processo de constituição das cidades se relaciona intimamente com a degradação do meio natural, implicando em fortes impactos sobre as águas urbanas – em termos de qualidade, quantidade e regime – e acarretando inúmeros danos ambientais e sociais.

Frente a esse quadro de degradação, é crescente o reconhecimento da importância de se preservar os sistemas naturais remanescentes e de restaurar os am-

bientes degradados, com a adoção gradativa de novas abordagens para tratar a questão. Ainda que no Brasil este quadro se apresente incipiente, no panorama internacional, diversas são as iniciativas com este viés.

No tocante à restauração fluvial, são inúmeras as metodologias para orientar a seleção de alternativas, a exemplo da apresentada por Brierley *et al* (2002) – que visa auxiliar o processo decisório com base na análise do estágio atual e provável condição futura de degradação de cursos de água, notadamente em

meio rural – e URBEM (2005a), Gregory e Chin (2002) e CWP (2005), voltadas para a restauração de rios e córregos em meio urbano, propondo a integração de um conjunto de variáveis – naturais, urbanísticas, sociais, de gestão, etc. – ao processo de decisão. O cenário que desponta com as questões socioambientais, portanto, evidencia a necessidade de incorporação dessas variáveis ao usual modelo de avaliação de alternativas, geralmente pautado em análises de custo-benefício.

Grande parte das metodologias existentes, no entanto, apresentam procedimentos de análise significativamente complexos e a necessidade de levantamento de uma gama muito ampla de dados, o que dificulta e, em certos casos, inviabiliza a sua aplicação. Em vista das lacunas encontradas, principalmente no que tange ao emprego de metodologias ao meio urbano e a sua utilização na fase de estudos preliminares – à qual deve estar associado um procedimento de aplicação expedita –, este trabalho propõe uma sistemática buscando estruturar as etapas de *concepção, análise, comparação e seleção de alternativas* inerentes aos pro-

cessos decisórios relativos a intervenções em cursos de água urbanos, orientando o seu procedimento de análise e subsidiando a tomada de decisão.

Em termos gerais, a metodologia proposta apresenta-se bastante flexível, permitindo a incorporação de novos critérios de análise e a eliminação daqueles considerados pouco pertinentes, de acordo com as particularidades de cada caso. A sua construção foi pautada em levantamento bibliográfico, na avaliação de casos concretos e na discussão com profissionais envolvidos com a questão, de forma a torná-la mais consistente e realista. O procedimento da análise, essencialmente qualitativo – ainda que utilize métodos quantitativos para a determinação de índices – exige critério e discernimento do analista, sendo de significativa importância a participação de equipes multidisciplinares na sua condução.

No desenvolvimento metodológico, a aplicação da metodologia a estudos de caso foi essencial para a sua consolidação, sendo parte de um dos estudos realizados apresentada neste documento, com fins de ilustração da sua utilização. Os resultados encontra-

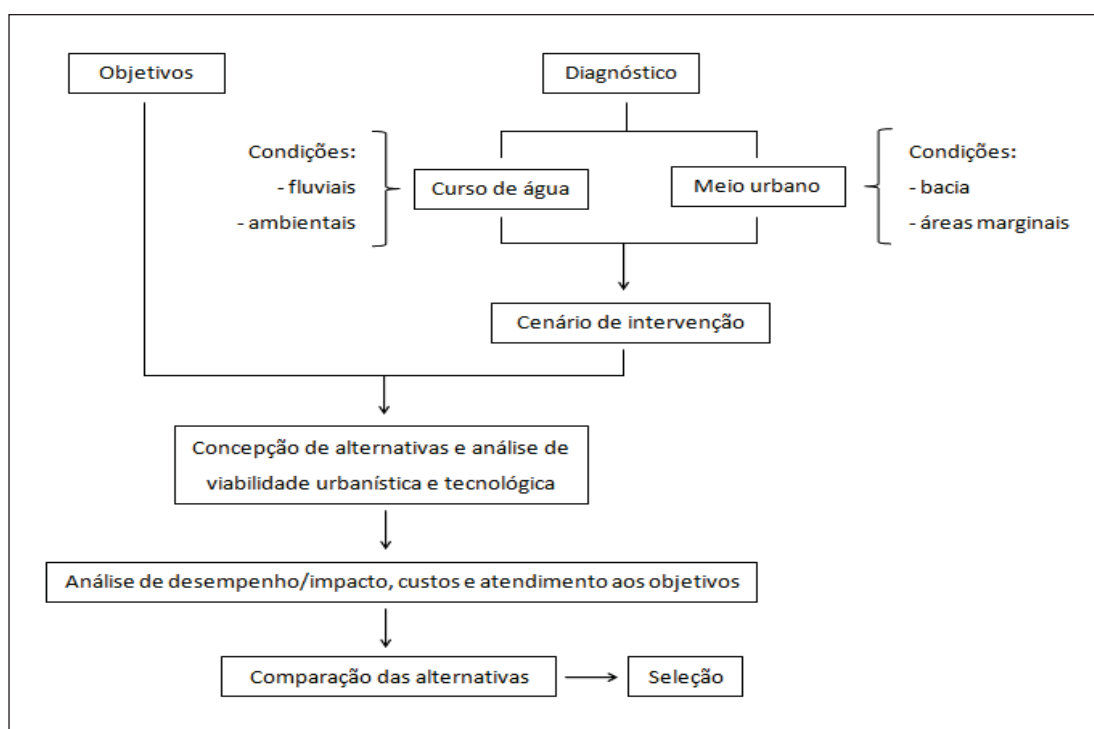


Figura 1. Fluxograma da metodologia proposta.

dos permitem concluir que a metodologia proposta é consistente e de fácil aplicação, podendo servir de importante subsídio à tomada de decisão na fase de estudos preliminares.

### METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia que se apresenta neste trabalho, fundada em um conjunto de indicadores e índices, estrutura-se em seis etapas (fluxograma da Figura 1), descritas a seguir, paralelamente à sua aplicação a um estudo de caso, de forma a facilitar o seu entendimento.

O caso em questão trata da intervenção em um trecho do Córrego Engenho Nogueira, dentro dos limites do campus da Universidade Federal de Minas Gerais (Figura 2), em Belo Horizonte, que se encontra canalizado em seção fechada. Os recorrentes eventos de inundação que atingiam a área de estudo – da ordem de seis extravasamentos por ano – foram parcialmente resolvidos com a implantação de uma bacia de retenção em 2010. O risco remanescente, em conjunção com a intenção de promover uma melhoria nas condições paisagísticas do campus e o aumento da oferta de áreas de lazer, levou ao desenvolvimento do estudo, que avalia diferentes possibilidades para o

equacionamento do problema hidráulico e a reintegração do curso de água como elemento embelezador da paisagem e articulador de espaços de convívio social. No presente trabalho discute-se, na sequência, etapa por etapa, a aplicação da metodologia a um dos três trechos estudados por Cardoso (2012).

#### Etapa 1:

#### Determinação dos objetivos da intervenção

Na primeira etapa da metodologia, os objetivos da intervenção devem ser claramente definidos, assim como estabelecida a relação de importância entre os mesmos – caso haja mais de um –, permitindo nortear, em bases mais realistas, a concepção de alternativas, e assumindo papel crucial quando da comparação das soluções propostas, conforme será visto ulteriormente.

Para o caso em estudo na UFMG, os objetivos de intervenção no curso de água e o seu peso relativo (PR) – associado à relação de importância entre eles – foram atribuídos pelos autores (no caso, os analistas). Considerando que a prioridade da universidade é a valorização urbano-paisagística do campus e que o seu atual nível de risco de inundações encontra-se reduzido – em decorrência do reservatório de reten-

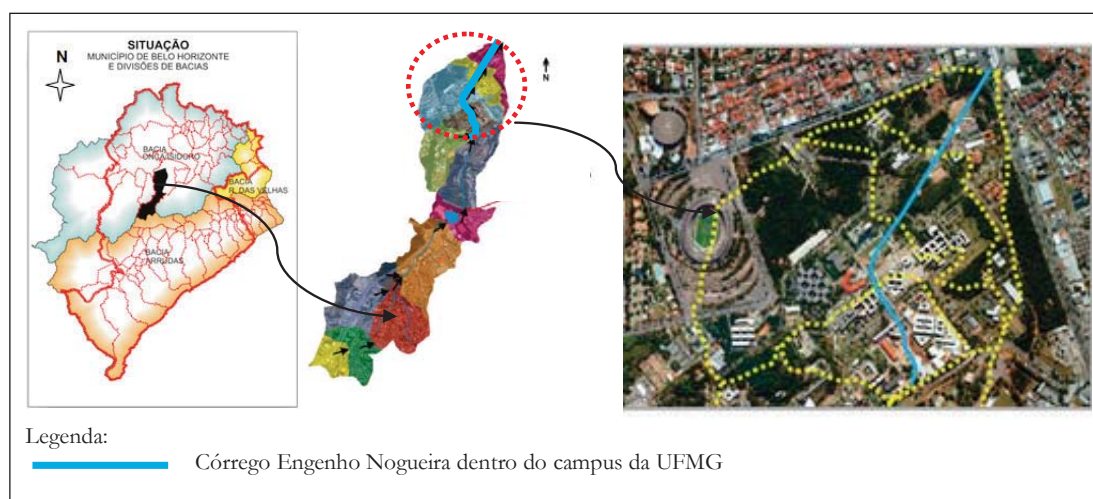


Figura 2. Córrego Engenho Nogueira: localização, delimitação de sub-bacias e imagem de satélite, com indicação do trecho em estudo.

Fonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte; Moura et al, 2012 e adaptado de Google Earth, 2011.

ção implantado a montante da bacia (MOURA *et al.*, 2012) – os seguintes pesos foram atribuídos a cada objetivo da intervenção:

- ☒ Integração urbanística do córrego com as áreas de entorno, promovendo oportunidades de recreação e lazer para a comunidade acadêmica: PR=2.
- ☒ Solução de problemas de inundação: PR=1.

## Etapa 2

### Diagnóstico dos meios fluvial e urbano

A etapa de diagnóstico consiste no levantamento de dados acerca dos meios fluvial e urbano, a partir de visitas a campo, consulta a fontes secundárias de pesquisa e informações gerais, de forma a permitir a construção do cenário de intervenção para o qual serão concebidas as alternativas que deverão atender aos objetivos propostos.

O diagnóstico do *Meio Fluvial* deve considerar, essencialmente, a avaliação do nível de degradação do trecho em estudo, por meio do uso de sete indicadores, em dois grupos:

- ☒ *Fluviais*: desenvolvimento longitudinal (D.L.); seção transversal (S.T.); regime hidrológico (R.H.) e integridade morfológica (I.M.);
- ☒ *Ambientais*: diversidade de habitats (D.H.); qualidade da água (Q.A.) e áreas verdes adjacentes (A.V.).

A avaliação dos indicadores repousa em procedimento qualitativo, a partir da identificação da sua condição atual em relação a uma escala de degradação dividida em cinco níveis: (1) ausente, (2) baixa, (3) média, (4) alta e (5) muito alta. Para cada nível da escala em questão estão associados cenários específicos de degradação, para cada um dos indicadores considerados, de forma a diminuir a subjetividade da análise (Cardoso, 2012).

No tocante ao diagnóstico do *Meio Urbano*, o mesmo se divide em duas vertentes de investigação, estando a primeira voltada para uma análise de aspectos gerais da bacia (como uso e ocupação do solo), tendo em vista a sua influência direta sobre as condições fluviais e ambientais dos cursos de água. A segunda, por sua vez, se foca nas áreas marginais ao trecho em estudo, uma vez que estas poderão impor diferentes níveis de restrição à implantação das alternativas, de acordo com as suas condições presentes e futuras, previstas em legislação, diretrizes institucionais ou planos. No quadro urbano, portanto, os itens de análise propostos para auxiliar o levantamento de dados são:

- ☒ *Bacia*: condições hidrológicas; grau de impermeabilização e estágio de ocupação;
- ☒ *Áreas marginais*: enquadramento legal; uso e ocupação do solo; infraestrutura e integração urbanística do curso de água com a paisagem circundante.



Figura 3. Condição da rede de drenagem e da área de entorno do trecho em estudo.

O diagnóstico do Córrego Engenho Nogueira e da sua área de estudo foi realizado segundo as diretrizes anteriores e com o auxílio de fichas de levantamento elaboradas com a finalidade de orientar e organizar a coleta de dados (Cardoso, 2012). Em resumo, o córrego em questão percorre uma área urbanizada da região da Pampulha, apresentando extensão total de 5,5 km – estando 75% canalizada –, com aproximadamente 1,6 km dentro do campus da UFMG.

Quanto à condição específica do trecho em estudo, ressalta-se o seu fechamento em galeria, observando-se, ainda, a redução abrupta de seção (Recuperação, 2012), após mudança, também abrupta, de alinhamento, como ilustrado na Figura 3.

Assim, em vista do referido cenário de canalização, o estado de degradação do trecho em estudo apresentou-se significativamente elevado, como definido no quadro da Figura 4.

No que tange às características do meio urbano, destaca-se o estágio praticamente consolidado de ocupação da bacia, com grau de impermeabilização superior a 60%. Em relação às áreas marginais ao trecho em estudo, as mesmas apresentam diferentes condições de uso e ocupação, com presença de sistema viário na parte mais a montante, ausência de ocupação na porção mediana e edifícios do setor administrativo da universidade mais a jusante (Figura 5).

Dimensão/ Indicador		Degradação em relação à condição natural					Significado
		1	2	3	4	5	
Fluvial	D.L.					x	Alterações significativas (largura, continuidade, traçado)
	S.T.					x	Seção fechada
	I.M.	x					Margens estáveis
	R.H.				x		Nível de risco de inundações com danos considerável
Ambiental	D.H.					x	Significativas alterações nas condições naturais do curso de água propícias à criação/reprodução de espécies
	A.V.				x		Alterações consideráveis quanto à presença de vegetação e/ou espécies
	Q.A.		x				Pequena presença de esgotos e/ou resíduos sólidos

Figura 4. Resultado do estado de degradação fluvial/ambiental do trecho em estudo.



Figura 5. Condições de uso/ocupação do solo nas áreas marginais do trecho em estudo.



### Etapa 3: Concepção de alternativas e análise de viabilidade urbanística e tecnológica

A concepção de alternativas de intervenção em um curso de água resulta da compatibilização entre os objetivos da operação urbana com as condições diagnosticadas na área interveniente. Todavia, em função da frequente complexidade dos aspectos em análise e da importância conferida a questões de ordem urbanística, ambiental, social, econômica, dentre outras, poderão ser propostas soluções consideravelmente distintas para atendimento a um mesmo objetivo. Ainda, em decorrência de particularidades locais, as soluções poderão ficar restritas à calha fluvial ou interferir nas suas áreas marginais, incorporando-as ou restringindo-as.

Neste momento do processo de análise, a concepção de alternativas deve ter seu foco em conceitos abrangentes de intervenção, considerando, de

maneira qualitativa, a magnitude dos seus prováveis impactos, além de aspectos de natureza econômica, mesmo que ainda em nível superficial. Após o delineamento inicial de possíveis alternativas de intervenção, as mesmas devem ser avaliadas quanto à sua viabilidade urbanística de implantação. Seguir-se-á uma análise de cunho tecnológico, com vistas a definir sua exequibilidade.

Como apresentado na Figura 6, uma vez atendida a legislação urbanística e ambiental, a viabilidade de implantação das alternativas repousa em aspectos de cunho político e social, nos casos onde as mesmas interfiram fortemente nas redes de infraestrutura e de equipamentos urbanos e/ou impliquem na necessidade de remoção, desapropriação e reassentamento de população. Desse modo, ainda que possam ser tecnológica e economicamente viáveis, as alternativas poderão estar sujeitas a não se concretizar, caso não estejam em consonância com as variáveis ora consideradas.

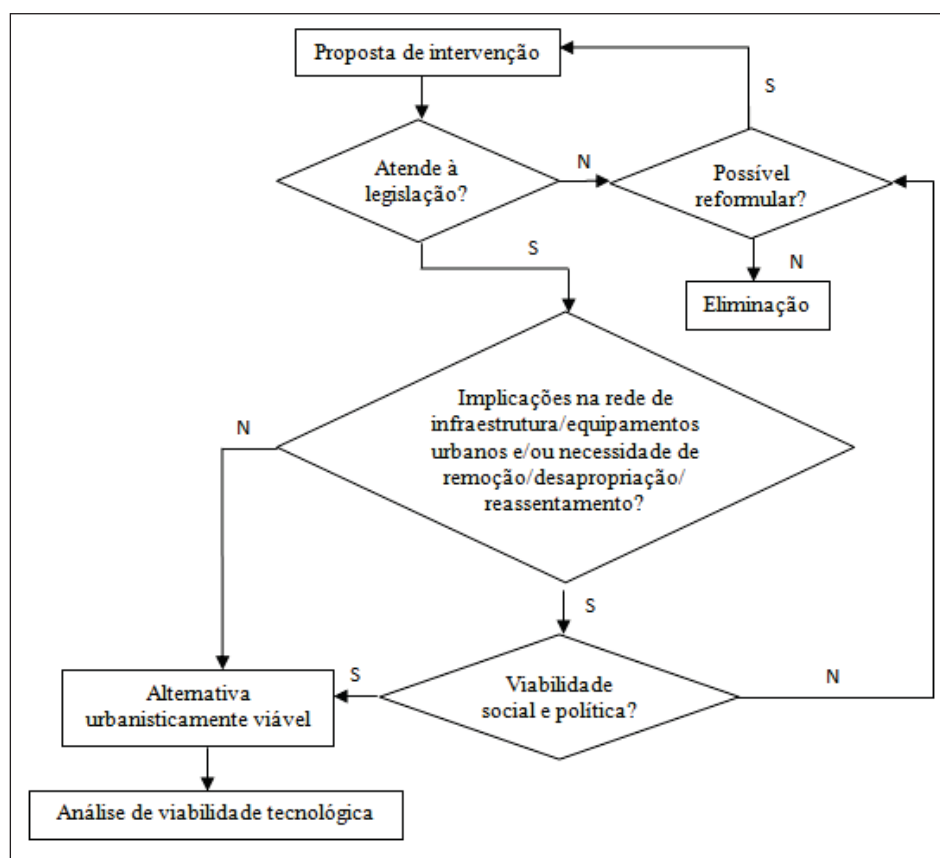


Figura 6.  
Fluxograma para análise da viabilidade urbanística de alternativas.

As soluções pré-aprovadas em termos urbanísticos devem ser compatibilizadas com as técnicas de engenharia disponíveis, à luz de uma análise integrada de aspectos tecnológicos: hidráulicos, geomorfológicos, geotécnicos, construtivos e operacionais. Ressalta-se, nesse

caso, a possibilidade de consideração de mais de uma solução tecnológica para “atendimento” a uma mesma *alternativa urbanística*, o que poderá levar à composição de diversas alternativas de intervenção, pela conjugação de aspectos urbanísticos e tecnológicos (Figura 7).

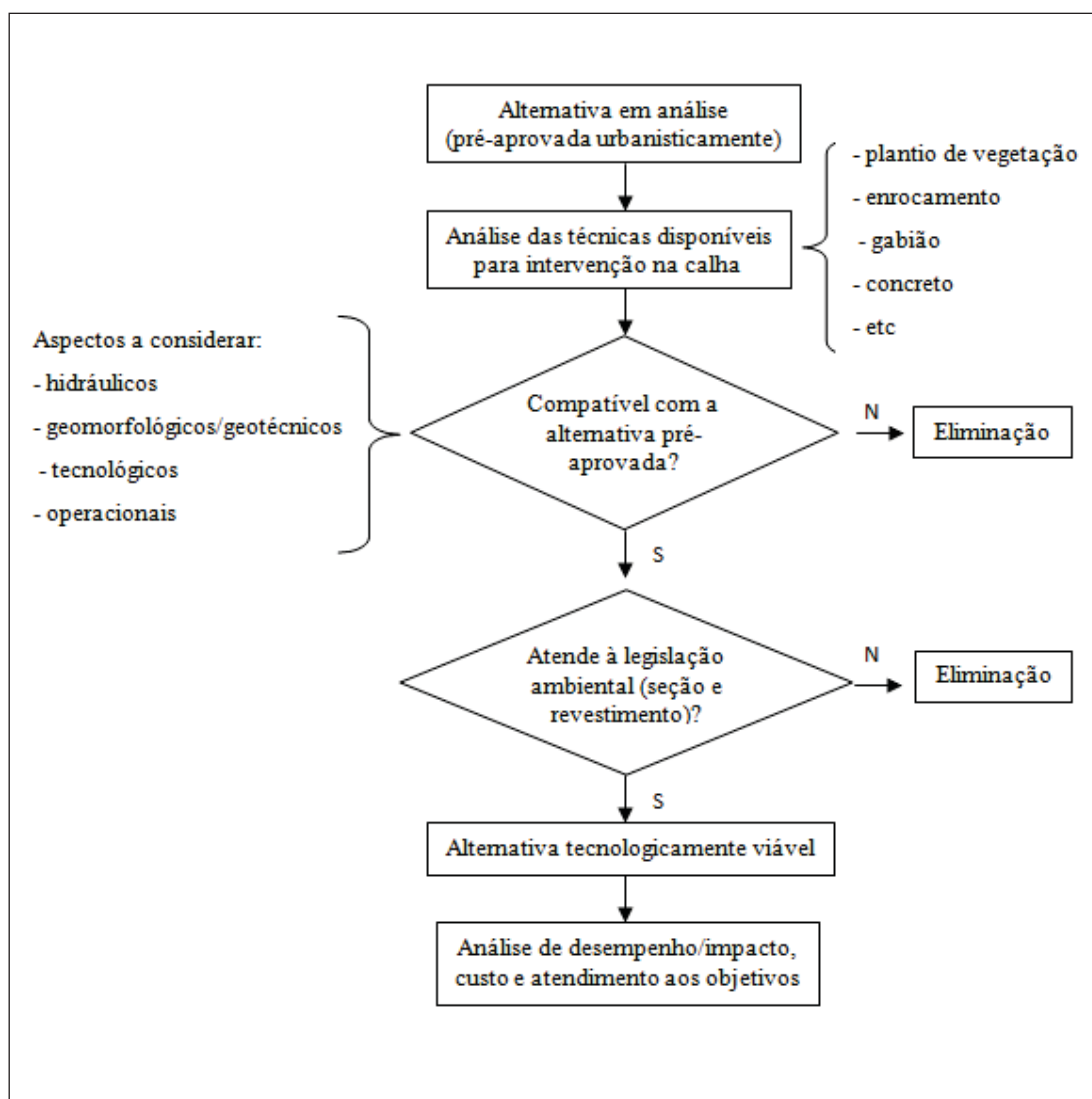


Figura 7. Fluxograma para análise da viabilidade tecnológica de alternativas.

No caso da *concepção de alternativas* para intervenção no trecho em estudo do Córrego Engenho Nogueira, além dos objetivos da intervenção e do diagnóstico da sua área de inserção, foram considerados os anseios e expectativas da população que frequenta o campus universitário sobre uma eventual possibilidade de abertura do curso de água (Figura 8).

Os resultados apresentados são provenientes de entrevistas realizadas com 197 pessoas, constituindo uma amostra estatisticamente representativa da comunidade – professores, alunos, servidores, prestadores de serviço e terceirizados –, o que permitiu orientar o desenvolvimento da presente etapa (Cardoso, 2012).

Diante desse quadro, foram propostas quatro alternativas para intervenção no trecho em estudo (Figura 9), cada qual atendendo, de maneira distinta, os objetivos da intervenção, sendo que todas elas asseguram o controle dos riscos de inundação:

☞ *Alternativa #1*: criação de um novo canal, em seção aberta, para comportar as vazões de cheia, ficando a galeria existente funcionando como extravasor em caso de eventos extremos. O segmento final é constituído de uma galeria em concreto até a galeria já existente. Esta proposta implica em interferências no sistema viário em uma grande extensão, com vistas à integração do curso de água como elemento da paisagem;

☞ *Alternativa #2*: Similar à alternativa anterior no segmento inicial, seguindo em seção aberta, em terreno não ocupado, em seu segundo trecho e terminando também na galeria existente, em seção fechada. Esta proposta implica em interferências no sistema viário em uma menor extensão, proporcionando integração paisagística e implantação de equipamentos urbanos;

☞ *Alternativa #3*: criação de um novo canal para comportar as vazões de cheia, ficando a galeria existente também funcionando como extravasor. O trecho inicial apresenta-se em seção fechada e, em seguida, assume a mesma configuração dos segmentos finais da Alternativa #2;

☞ *Alternativa #4*: manutenção da galeria existente e execução de canal extravasor em seção fechada.

Em seguida à concepção das alternativas previamente apresentadas, realizou-se a sua *análise de viabilidade urbanística e tecnológica*, conforme os fluxogramas das Figuras 6 e 7. No primeiro caso, foram levantadas as seguintes considerações:

1. *Alternativa #1*: em termos de legislação ambiental, a alternativa não pode ser avaliada, uma vez que se trata de um canal projetado e não de uma intervenção em um curso de água natural. Em relação à legislação urbanística, notadamente quanto ao Regulamento de Uso

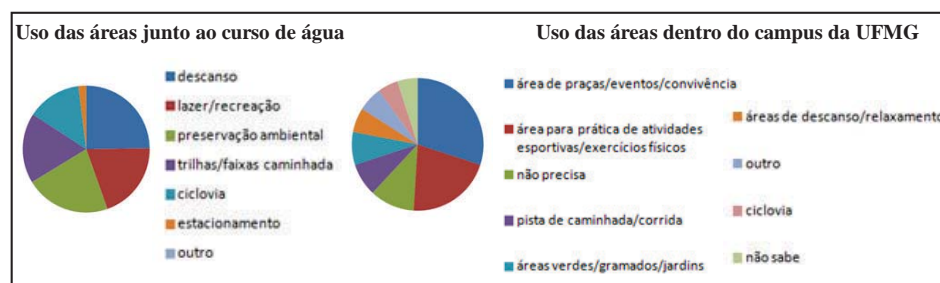


Figura 8. Expectativa dos entrevistados em relação ao uso de áreas associadas ao curso de água e dentro do campus da UFMG.



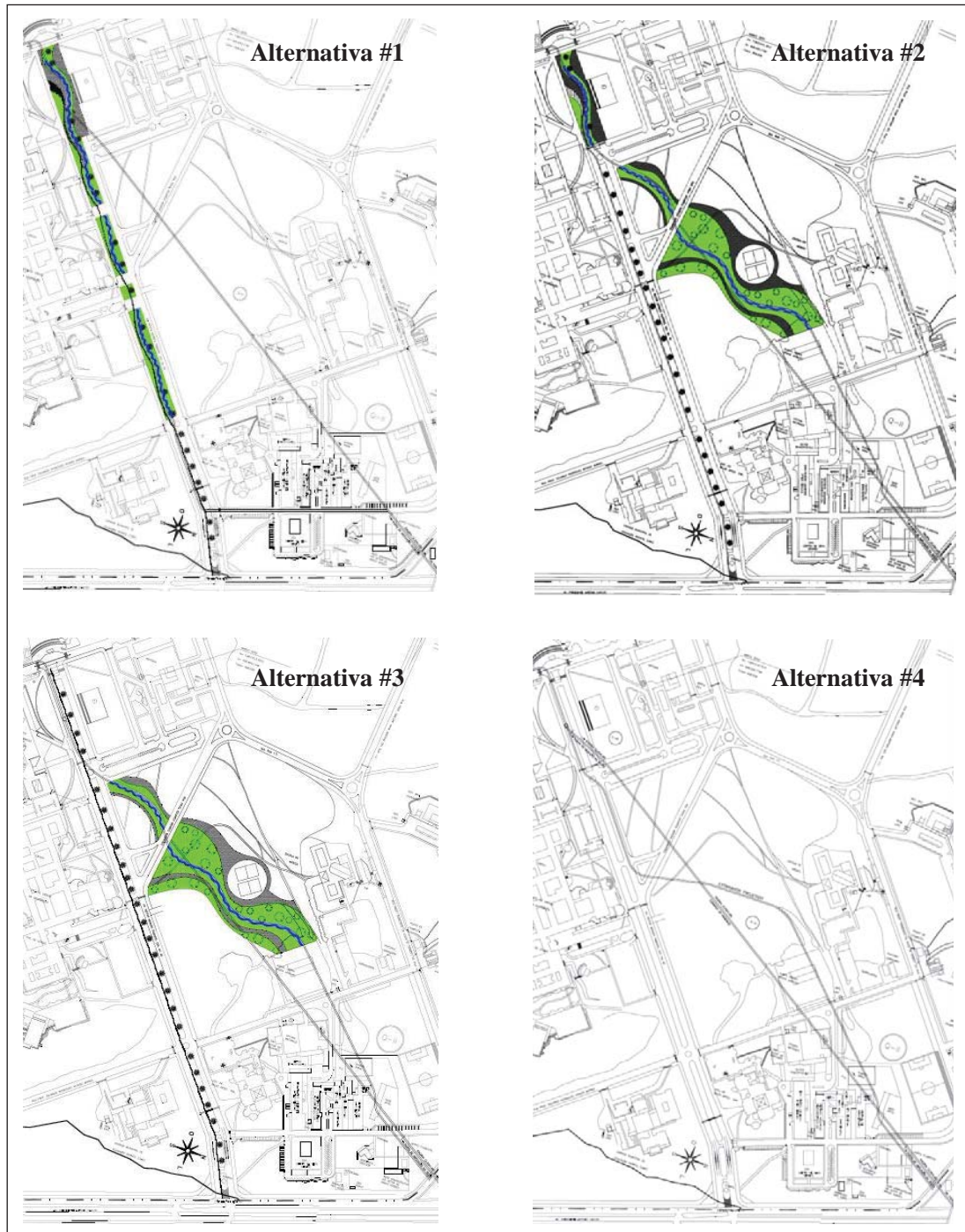


Figura 9. Alternativas de intervenção concebidas para o trecho em estudo.

e Ocupação do Solo do Campus da Pampulha da UFMG (UFMG, 2009), a alternativa atende a todas as disposições previstas. No que tange às implicações afetas à sua implantação, as mesmas recaem sobre o sistema viário, com a supressão de vias de circulação e de áreas de estacionamento. Apesar desses impactos (discutidos na etapa de *Análise de Desempenho e Impacto*), a sua implantação foi considerada viável, sem qualquer entrave político ou social;

2. *Alternativa #2*: idem no tocante à legislação e às interferências no sistema viário, no início do trecho. Na área em que o canal segue aberto em terreno desocupado, não existem interferências com o entorno. No segmento final, em galeria, não haverá implicações sobre os edifícios existentes, com desvio da rede por áreas não ocupadas;
3. *Alternativa #3*: igualmente viável, pelos mesmos motivos mencionados;
4. *Alternativa #4*: também neste caso, a legislação ambiental não se aplica. Quanto às interferências com o entorno, é prevista a manutenção do cenário existente, o que a torna plenamente viável em termos urbanísticos.

Em termos tecnológicos, previu-se apenas uma solução para cada alternativa proposta, sendo a sua verificação hidráulica realizada por meio do programa de cálculos hidráulicos HIDROWin (EHR/UFMG, 2012), utilizando-se os dados de vazão obtidos com o modelo desenvolvido pela UFMG (Moura *et al*, 2011).

Ressalta-se que para o dimensionamento das calhas menor e maior dos canais em seção aberta foram adotados Períodos de Retorno equivalentes a 2 e 25 anos, sendo o primeiro caso com vistas a dimensionar um “leito menor” com uma vazão permanente passando pelos meandros do canal mesmo em situações de estiagem. O Período de Retorno de 25 anos está associado ao nível de risco admissível no campus.

Sendo assim, em termos tecnológicos, as alternativas concebidas para intervenção na calha do curso de água foram basicamente as mesmas para Alternativas #1, 2, 3 e 4 pré-aprovadas urbanisticamente, variando somente em função do tipo de seção, ou seja, canal aberto ou galeria, para os quais se propõe o uso de concreto, grama e enrocamento de pedra lançada

(primeiro caso), e concreto (segundo caso), conforme ilustrado na Figura 10.

De acordo com os cálculos de dimensionamento realizados, todas as alternativas tecnológicas de intervenção propostas são passíveis de implementação, estando plenamente compatíveis com as soluções urbanísticas de intervenção, em termos de largura, profundidade e tipo de revestimento da seção.

#### Etapa 4: Análise de desempenho global

Esta etapa considera a análise global das alternativas, contemplando aspectos de desempenho, propriamente dito, impactos, custos e atendimento aos objetivos. Para subsidiar a comparação de alternativas são propostos três diferentes índices, conforme discutido a seguir.

##### *Análise do grau de atendimento aos objetivos*

O primeiro ponto em análise da metodologia proposta consiste na quantificação do grau de atendimento das alternativas aos objetivos da intervenção. Assim, tratando-se de intervenções em áreas urbanas, com impactos diretos e/ou indiretos sobre os cursos de água, foram levados em conta os objetivos de *controle de riscos; integração urbanística e implantação/alteração de vias de circulação* e transporte, uma vez que estes são os mais recorrentes. Todavia, ressalta-se a possibilidade, tanto de supressão como de incorporação de outros objetivos, de acordo com as especificidades do caso em estudo.

Para a análise do índice em questão, primeiramente, há que se proceder a uma priorização e ponderação dos objetivos, com atribuição de nota 1 ao menos importante e, aos demais, notas que representem o quanto esses são mais importantes que aquele (3 ou 4 vezes no máximo, conforme Goicochea *et al*, 1982 *apud* URBEM, 2005b). Os pesos assim atribuídos, chamados de pesos relativos (PR), devem ser divididos por sua soma total, chegando-se aos pesos normalizados (PN), os quais devem ser multiplicados pela nota relativa ao grau de atendimento da alternativa ao objetivo proposto.

Esta última análise, por sua vez, é pautada em um conjunto de critérios e indicadores respectivos, sendo estes avaliados segundo uma escala de pontuação que varia de zero a um. Assim como comentado anteriormente, também os critérios e indicadores considerados (ou a serem propostos de acordo com

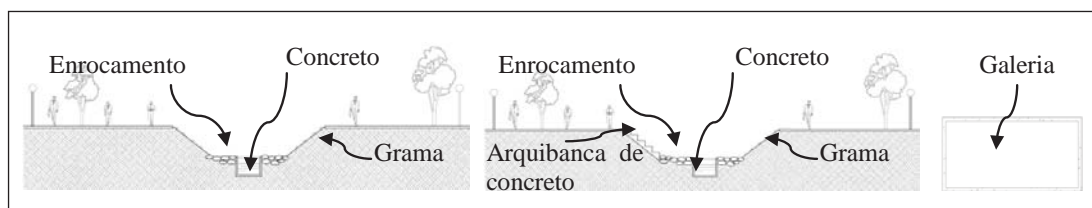


Figura 10. Soluções de intervenção tecnológica concebidas para o trecho em estudo.

Objetivo	Critério de análise	Indicador de análise
Controle de riscos	Controle de cheias	TR de projeto e TR desejável
Implantação/alteração de vias de circulação e transporte	Atendimento aos critérios de projeto	Características geométricas
		Acessibilidade
		Estacionamento
		Ciclovias
Integração urbanística	Acessibilidade	Vias de transporte
		Vias de pedestres
		Ciclovias/ciclofaixas
		Travessias
	Uso do solo adjacente à calha	Áreas verdes
		Áreas de lazer e descanso
	Revestimento do leito e margens	Tipo de revestimento

Figura 11 – Objetivos de intervenção e seus critérios/indicadores de análise.

as demandas de cada caso) devem ser priorizados e ponderados, de acordo com o objetivo da intervenção (Figura 11). Saliente-se que no caso presente apenas os objetivos de controle de riscos e intervenção urbanística são contemplados.

Conforme mencionado, de acordo com as especificidades de cada caso, outros objetivos, critérios e indicadores, além dos ora propostos, podem ser incorporados à análise, permitindo a adequação da metodologia a contextos bastante diversos. No que tange ao trecho em estudo do Córrego Engenho Nogueira, os resultados da análise em questão podem ser visualizados na Tabela 1.

#### *Análise de desempenho e impacto*

A presente análise visa “mensurar” as prováveis implicações das alternativas de intervenção sobre o curso de água, considerando aspectos e condições que poderão ser influenciados ou sofrer algum tipo de alteração com a adoção das soluções propostas. Para tanto, faz-se uso de um conjunto de indicadores, fundados em estudos anteriores (Cardoso, 2008 e

Cardoso e Baptista, 2011), posteriormente complementados por outros documentos (CWP, 2005; URBEM, 2005c, 2004, 2003; Parsons *et al*, 2001). Os indicadores, em número de 12, são listados a seguir, estando inseridos em três dimensões de análise:

- ≡ *Fluvial*: desenvolvimento longitudinal (D.L.); seção transversal (S.T.); regime hidrológico (R.H.); integridade morfológica (I.M.);
- ≡ *Ambiental*: diversidade de habitats (D.H.); áreas verdes adjacentes (A.V.); qualidade da água (Q.A.);
- ≡ *Sociocultural/infraestrutura*: integração urbanística (I.U.); desapropriação, remoção e reassentamento (D.R.); vias de circulação e transporte (V.T.); estacionamento (E.); relação entre o curso de água e a população (C.P.).

Tendo em vista a fase de estudos preliminares e a própria natureza dos indicadores, seu procedimento de análise se fundamenta em bases qualitativas, orientado pelo prognóstico da magnitude dos impactos – positivos ou negativos – decorrentes da

TABELA 1  
Avaliação do grau de atendimento aos objetivos da intervenção

Objetivo: controle de cheias										
Critério de análise: Tempo de Retorno										
Indicador de análise	PR	PN	Grau de atendimento (G)							
			Alt. #1		Alt. #2		Alt. #3		Alt. #4	
TRp/TRd	-	-	1,00		1,00		1,00		1,00	

Objetivo: integração urbanística										
Critério de análise: acessibilidade ao curso de água										
Indicador	PR	PN	Grau de atendimento (G)				PNxG			
			Alternativa				Alternativa			
			#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
Vias de pedestres	1,6	0,62	1,00	1,00	0,65	0,00	0,62	0,62	0,40	0,00
Ciclovias	1,0	0,38	1,00	1,00	0,65	0,00	0,38	0,38	0,25	0,00
Total							1,00	1,00	0,65	0,00

Critério de análise: uso do solo adjacente à calha do curso de água										
Indicador de análise	PR	PN	Grau de atendimento (G)				PNxG			
			Alternativa				Alternativa			
			#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
Áreas verdes	1,0	0,20	0,65	1,00	0,75	0,00	0,13	0,20	0,15	0,00
Áreas lazer	4,0	0,80	0,35	1,00	0,65	0,00	0,28	0,80	0,52	0,00
Total							0,41	1,00	0,67	0,00

Critério de análise: revestimento do leito e margens do curso de água										
Indicador de análise	PR	PN	Grau de atendimento (G)							
			Alt. #1		Alt. #2		Alt. #3		Alt. #4	
Revestimento do leito e margens	-	-	0,75		0,75		0,50		0,00	

Índice de atendimento ao objetivo de integração urbanística										
Critério de análise	PR	PN	Grau de atendimento (G)				PNxG			
			Alternativa				Alternativa			
			#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
Acessibilidade	1,0	0,25	1,00	1,00	0,65	0,00	0,25	0,25	0,16	0,00
Uso do solo adjacente	2,0	0,5	0,41	1,00	0,67	0,00	0,21	0,50	0,34	0,00
Revestimento	1,0	0,25	0,75	0,75	0,50	0,00	0,19	0,19	0,13	0,00
Total							0,65	0,94	0,63	0,00

Índice de atendimento aos objetivos de controle de cheias e integração urbanística										
Objetivo	PR	PN	Grau de atendimento (G)				PNxG			
			Alternativa				Alternativa			
			#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
Controle de cheias	1,0	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33
Integração urbanística	2,0	0,64	0,65	0,94	0,63	0,00	0,42	0,60	0,40	0,00
Total							0,75	0,99	0,76	0,33

Legenda: PR-Peso Relativo PN-Peso Normalizado: PR/ΣPR.

implantação de cada alternativa. Sendo assim, o impacto das soluções propostas sobre cada indicador será avaliado dentro de uma escala de pontuação que varia de -5 a +5, sendo a nota zero atribuída à atual condição do curso de água, levantada na etapa de diagnóstico, já descrita.

Ainda, deve-se ressaltar que, em função das especificidades de cada área de estudo, a relação de importância entre os indicadores pode ser significativamente variável e, portanto, a cada um deles deve ser atribuído um peso distinto – conforme apresentado na Tabela 2, adaptada de Saaty (2005), buscando tornar a análise mais realista e pertinente.

A soma dos produtos das notas da análise de impacto de cada indicador pelo seu respectivo grau de importância leva, portanto, à pontuação final da

alternativa de intervenção em estudo, em termos de desempenho e impacto, como pode ser visto na Tabela 3, concernente à aplicação desse procedimento ao estudo de caso do Córrego Engenho Nogueira.

#### *Análise de custos*

Nesta fase, considera-se o levantamento de custos referentes à implantação, manutenção e operação das alternativas e de custos relativos à remoção, reassentamento de famílias, desapropriação de imóveis e danos à população e à infraestrutura urbana decorrentes de eventos de inundação.

Os custos relativos à implantação, manutenção e operação de estruturas de drenagem podem ser obtidos a partir de composições de custos específicas ou

TABELA 2  
Grau de importância (G.I.) dos indicadores de desempenho/impacto

Qualificação da importância	9	7	5	3	1	0
Grau atribuído	Muito grande	Grande	Média	Pequena	Muito pequena	Nula

TABELA 3  
Análise de desempenho/impacto para o trecho em estudo

Dimensão/ Indicador		G.I.	Pontuação parcial				Pontuação global			
		#1	Alternativa				Alternativa			
			#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Fluvial	D.L.	7	+4	+5	+3	0	+4x7=+28	+5x7=+35	+3x7=+21	0x7=0
	S.T.	7	+4	+5	+3	0	+4x7=+28	+5x7=+35	+3x7=+21	0x7=0
	I.M.	3	0	0	0	0	0x3=0	0x3=0	0x3=0	0x3=0
	R.H.	9	+5	+5	+5	+5	+5x9=+45	+5x9=+45	+5x9=+45	+5x9=+45
Ambiental	D.H.	3	+3	+4	+2	0	+3x3=+9	+4x3=+12	+2x3=+6	0x3=0
	A.V.	7	+4	+5	+4	0	+4x7=+28	+5x7=+35	+4x7=+28	0x7=0
	Q.A.	1	+2	+2	+1	0	+2x1=+2	+2x1=+2	+1x1=+1	0x3=0
Socio-cultural	I.U.	9	+4	+5	+4	0	+4x9=+36	+5x9=+45	+4x9=+36	0x9=0
	C.P.	7	+5	+5	+4	0	+5x7=+35	+5x7=+35	+4x7=+28	0x7=0
Infraestrutura	V.T.	5	-3	-1	0	0	-3x5=-15	-1x5=-5	0x5=0	0x5=0
	E.	5	-5	-1	0	0	-5x5=-25	-1x5=-5	0x5=0	0x5=0
Total							+171	+234	+186	+45

**Legenda:** DL: desenvolvimento longitudinal; ST: seção transversal; IM: integridade morfológica; RH: risco hidrológico; DH: diversidade de habitats; AV: áreas verdes; QA: qualidade da água; IU: integração urbanística; CP: relação curso de água-população; VC: vias de circulação e transporte; E: estacionamento.



estimados a partir de estudos de cunho mais geral, tais como descrito por Evangelista *et al* (2011) e Moura *et al* (2009). Para os demais custos, podem ser adotados valores locais ou, na falta desses, nacionais, uma vez que os erros inerentes aos cálculos não devem desempenhar papel significativo no resultado final por se tratar de uma análise comparativa entre alternativas. Os danos decorrentes de eventos de inundação sobre a infraestrutura urbana e sobre setores residenciais, comerciais e de serviços podem ser definidos com base em Milograna *et al* (2011) e Nascimento *et al* (2007), respectivamente, para as condições brasileiras.

Para o caso em estudo, os cálculos referentes à implantação foram baseados em dados de Evangelista *et al* (2011) e Moura *et al* (2009), para o caso de canais e galerias, assim como em planilhas de custos da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (Sudecap). Os valores levantados foram devidamente atualizados de acordo com o Índice Nacional da Construção Civil (INCC) para janeiro de 2012, sendo o resultado do levantamento realizado apresentado na Tabela 4. Procedeu-se a também a composição e integração dos custos de manutenção das alternativas de intervenção propostas, com foco apenas nos canais, galerias e áreas gramadas, uma vez que são estas que demandam cuidados e investimentos mais expressivos e específicos de manutenção das alternativas.

Ressalta-se que os custos de manutenção apresentados referem-se ao Valor Presente Líquido do conjunto das operações considerando vida útil de 30 anos para todas as diferentes alternativas.

## Etapas 5 e 6

### Comparação e seleção de alternativas

Para a comparação de alternativas propõe-se a adoção de um procedimento simples de análise, com o uso de gráficos que consigam traduzir, de forma clara, os resultados obtidos na etapa precedente, possibilitando a comparação das alternativas em estudo.

Os principais resultados obtidos com o estudo de caso realizado, associados à etapa anterior, são apresentados na Tabela 5 e no gráfico da Figura 12, tendo-se procedido a uma transformação dos valores de custos encontrados, com atribuição do total de 100% ao menor custo das alternativas estudadas, de forma a permitir uma visualização coerente dos índices.

Saliente-se, novamente, que a presente metodologia de análise visa apenas orientar e subsidiar o processo de seleção da alternativa a ser adotada, cabendo ao decisor a sua efetiva definição, devendo esta ser pautada nos resultados obtidos em sintonia com questões de outra natureza, alheias aos aspectos

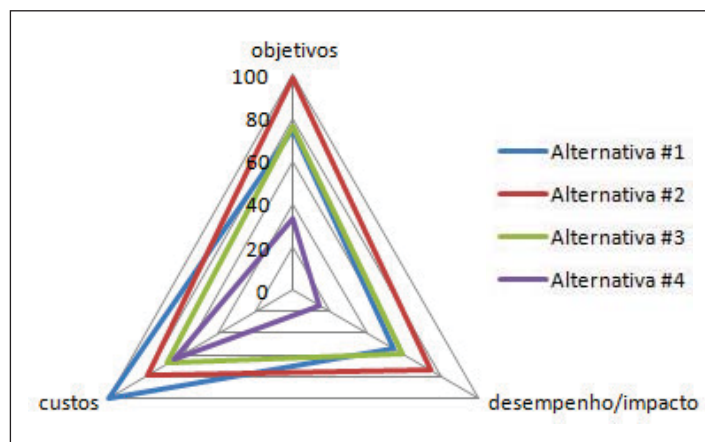
TABELA 4  
Custos de implantação e manutenção levantados para o trecho em estudo

Custos	Alternativa			
	#1	#2	#3	#4
Implantação	3.251.637,04	3.839.464,43	4.653.399,30	5.518.053,73
Manutenção	1.315.243,65	1.958.163,04	2.069.958,20	1.598.897,19
Total	4.566.880,68	5.797.627,48	6.723.357,50	7.116.950,92

TABELA 5  
Resultado global da análise das alternativas propostas

Alternativa	Objetivos	Desempenho/ Impacto	Índices de Análise			
			Custos (R\$)			
			Implantação	Manutenção	Total	Índice global
#1	75	+171	3.251.637,04	1.315.243,65	4.566.880,68	100%
#2	99	+234	3.839.464,43	1.958.163,04	5.797.627,48	79%
#3	76	+186	4.653.399,30	2.069.958,20	6.723.357,50	68%
#4	33	+45	5.518.053,73	1.598.897,19	7.116.950,92	64%

Figura 12. Representação gráfica dos resultados encontrados para as alternativas propostas para o trecho em estudo.



contemplados nas análises precedentes, tais como orçamento disponível, cronograma de implantação, avaliação política, etc.

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As quatro alternativas concebidas para o trecho em estudo do Córrego Engenho Nogueira atenderam em diferentes graus os objetivos da intervenção, o que refletiu em resultados de desempenho/impacto e custos também distintos para cada uma delas.

Dentre as soluções estudadas, a Alternativa #2 se destaca como a melhor em relação aos índices de atendimento aos objetivos e desempenho/impacto, ficando em segundo lugar em termos de custos, conforme ilustrado no gráfico da Figura 12. Quanto ao último quesito, a Alternativa #1 se encontra em primeiro lugar, porém, na terceira colocação em relação aos demais (praticamente empatada com a Alternativa #3, segunda colocada em relação aos mesmos). Já a Alternativa #4 apresenta as piores pontuações em todos os quesitos analisados.

Descartadas as Alternativas #3 e #4, a escolha quanto àquela a ser adotada permanece complexa, pois se a Alternativa #1 é 21% mais barata que a Alternativa #2, esta se apresenta melhor avaliada tanto no tocante ao Índice de Atendimento aos Objetivos quanto ao Índice de Desempenho/Impacto. Sendo assim, no caso de efetivar-se a possibilidade de intervenção, caberia à UFMG, com base nos índices apresentados e à luz de questões internas, orçamentárias e políticas, a tomada de decisão.

### CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste documento com vistas à orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água urbanos pautou-se em um desenvolvimento de caráter dialético, com a aplicação de cada uma das etapas propostas a um estudo de caso piloto, o que permitiu a sua avaliação e reformulação ao longo do processo. Os resultados obtidos em campo, juntamente com outros estudos, tornaram evidente a necessidade de proposição de uma ferramenta flexível, aberta à incorporação de novos critérios de análise ou eliminação daqueles considerados pouco pertinentes. Em cenários urbanos, esse tipo de abordagem é essencial, uma vez que a complexidade inerente a essas áreas não permite a criação de “modelos” herméticos a serem aplicados e replicados a qualquer tipo de contexto.

A aplicação da metodologia a um trecho do Córrego Engenho Nogueira, dentro do campus da UFMG, permitiu demonstrar a facilidade de seu emprego e a consistência dos resultados obtidos, possibilitando uma clara comparação entre as alternativas de intervenção concebidas, permitindo, dessa forma, subsidiar o processo de seleção em bases bastante realistas.

Ressalta-se, todavia, a necessidade de critério e discernimento por parte do analista, que deve, em cada etapa, considerar as particularidades do seu objeto de análise, selecionar e ponderar indicadores e avaliar e comparar os resultados encontrados. O seu papel é crucial principalmente pelo fato de que a abordagem de análise é essencialmente qualitativa, ainda que

utilize métodos quantitativos para a determinação de índices. Dessa forma, por envolver certo grau de subjetividade, é de suma importância a participação de equipes multidisciplinares na condução das análises, uma vez que quanto maior a discussão e ponderação entre diversos especialistas e atores, maiores as chances de resultados bem sucedidos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes e ao CNPq pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; OUTHET, D.; MASSEY, C. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. *Applied Geography* 22, p.91-122. 2002.
- CARDOSO, A. S. *Proposta de metodologia para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas*. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- CARDOSO, A.S. *Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas*. 2008. 183 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- CARDOSO, A.S. e BAPTISTA, M.B. Metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.16. n.1. p.129-139. 2011.
- CWP – CENTER FOR WATERSHED PROTECTION. *Urban Subwatershed Restoration Manual Series. An Integrated Framework to Restore Small Urban Watersheds*. Manual 1. 116p. 2005.
- EHR/UFGM – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Link para o Programa HIDROwin 2.1: [www.ehr.ufmg/?page\\_id=20](http://www.ehr.ufmg/?page_id=20). Acesso em setembro de 2012.
- EVANGELISTA, J.A.; MOURA, P.M.; BAPTISTA, M.B. *Avaliação preliminar de custos de implantação e manutenção de intervenções em cursos de água*. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, Brasil. 2011.
- GOICOECHEA, A.; HANSEN, D.; DUCKSTEIN, L. *Multi-objective Decision Analysis with engineering and Business Applications*. John Wiley & Sons, Chichester, 321p. 1982. In: (URBEM) URBAN RIVER BASIN ENHANCEMENT METHODS. *Tool for assessing potential for rehabilitation (Work packages 6) – Multi-attribute decision making model for the Glinscica stream study site*. University of Ljubljana, Slovenia. 16p. 2005.
- GREGORY, K.J.; CHIN, A. Urban stream channel hazards. *Area* 34, 312-321. 2002.
- MILOGRANA, J., BAPTISTA, M., POSCH, F. e CAMPANA, N. *Procedure of urban infrastructure flood damage estimation – Case study of Itajubá, Brazil*. In: Proceedings of the 12<sup>nd</sup> International Conference on Urban Drainage. Porto Alegre, Brasil. 2011.
- MILOGRANA, J., BAPTISTA, M., POSCH, F. e CAMPANA, N. *Procedure of urban infrastructure flood damage estimation – Case study of Itajubá, Brazil*. In: Proceedings of the 12<sup>nd</sup> International Conference on Urban Drainage. Porto Alegre, Brasil. 2011.
- MOURA, P.; LARA, M.; BAPTISTA, M. *Análise da efetividade de bacias de retenção para controle de inundações em meio urbano: estudo de caso em Belo Horizonte*. In: Anais do XXV Congresso Latino-Americano de Hidráulica. San José, Costa Rica. IAHR. 2012.
- MOURA, P.M.; BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P.; PARREIRAS, L. ; BANDEIRA, J. V.; PARSIA, F. *Estudos para implantação de um sistema de previsão e alerta de cheia no campus Pampulha da UFGM*. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. Anais. Porto Alegre : ABRH, 2011.
- MOURA, P.M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA. REGA. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*, v. 6, p. 31-42, 2009.
- NASCIMENTO, N.O., MACHADO, M.L., BAPTISTA, M.B. e SILVA, A.P. The assessment of damages caused by floods in the Brazilian context. *Urban Water*, 4, 195-210. 2007.
- PARSONS, M.; THOMS, M., NORRIS, R. *Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol*, Monitoring River Health Initiative Technical Report nº 22, Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra. 74p. 2001.
- RECUPERAÇÃO – Serviços Especiais e Engenharia. *Canal revestido fechado – Córrego Engenho Nogueira*. Relatório Técnico. 52p. v.1. 2012.
- SAATY, T.L. *Theory and Applications of the Analytic Network Process. Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. United States: RWS Publications, 352 p. 2005.
- UFGM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Resolução nº 08/2009. Institui o Regulamento de Uso e Ocupação do Solo do Campus da Pampulha da UFGM.
- URBEM – URBAN RIVER BASIN ENHANCEMENT METHODS. *Identification of parameters to be monitored for aesthetic assessment*. IST-CESUR, Portugal. 10p. 2003.

URBEM – URBAN RIVER BASIN ENHANCEMENT METHODS. *Classification of the aesthetic value of the selected urban rivers - Methodology*. IST-CESUR, Portugal. 141p. 2004.

URBEM – URBAN RIVER BASIN ENHANCEMENT METHODS. *Decision Support Framework for Assessing and Managing Urban River Rehabilitation (Work packages 5 & 9)*. HR Wallingford, Inglaterra. 72p. 2005a.

URBEM – URBAN RIVER BASIN ENHANCEMENT METHODS. *Tool for assessing potential for rehabilitation (Work packages 6) – Multi-attribute decision making model for the Glinscica stream study site*. University of Ljubljana, Slovenia. 16p. 2005b.

URBEM – URBAN RIVER BASIN ENHANCEMENT METHODS. *Indicators of success (Work packages 10)*. Dresden University of Technology, Alemanha. 230p. 2005c.

**Adriana Sales Cardoso** Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. [adriana.projetos@gmail.com](mailto:adriana.projetos@gmail.com)

**Márcio Benedito Baptista** Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. [marcio.baptista@ufmg.br](mailto:marcio.baptista@ufmg.br)