

# Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana

## *A multi-objective and multicriteria methodology for performance evaluation of urban drainage systems*

Mendonça, E.C. <sup>a1</sup>, Souza, M.A.A. <sup>a2</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília – UnB. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, CEP: 70910-090.  
E-mail: <sup>a1</sup> educoncesso@gmail.com, <sup>a2</sup> marcantoniosouza@gmail.com

Recibido: 24/05/2018

Aceptado: 17/02/2019

Publicado: 30/04/2019

**Citar como:** Mendonça, E.C., Souza, M.A.A. 2019. A multi-objective and multicriteria methodology for performance evaluation of urban drainage systems. *Ingeniería del agua*, 23(2), 89-106. <https://doi.org/10.4995/la.2019.10214>

### RESUMO

O objetivo foi desenvolver uma metodologia para avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana. Foram selecionados dezesseis critérios classificados em seis dimensões (legal, econômica, ambiental, social, sustentabilidade, técnica). Os métodos multiobjetivo selecionados foram ELECTRE-TRI e TOPSIS. As categorias utilizadas para definir desempenho foram “excelente”, “muito boa”, “boa”, “regular”, “ruim” e “muito ruim”. Para verificação, a metodologia foi aplicada a três cenários de um sistema de drenagem urbana existente. O Cenário-I era uma rede de drenagem convencional. O Cenário-II acrescentou duas bacias de detenção ao Cenário-I, e o Cenário-III incluiu micro reservatórios em cada lote urbano. O método ELECTRE-TRI indicou desempenhos regular, muito bom e excelente para os cenários I, II e III, respectivamente. Pelo método TOPSIS, o Cenário-I foi classificado como bom, enquanto o Cenário-II e o Cenário-III foram classificados como muito bons. Esses resultados foram consistentes e confirmaram a expectativa pelo uso de melhores práticas de manejo de águas pluviais.

**Palavras chave** | drenagem urbana; manejo de águas pluviais; ELECTRE-TRI; TOPSIS; análise multicritério; avaliação de desempenho.

### ABSTRACT

*The objective was to develop a methodology for performance evaluation of urban drainage systems. Sixteen criteria classified in six dimensions (legal, economic, environmental, social, sustainability, technical) were selected by experts and measured by performance indicators and evaluation tables. The selected multi-objective methods were ELECTRE-TRI and TOPSIS. The categories used to define performance were “excellent”, “very good”, “good”, “fair”, “bad”, and “very bad”. To verify the methodology, it was applied to three scenarios of an existing urban drainage system. Scenario-I was a conventional drainage network. Scenario-II added two detention basins to Scenario-I, and Scenario-III included micro reservoirs in each urban lot. The ELECTRE-TRI method indicated the performances as regular, very good and excellent for scenarios I, II and III, respectively. By the TOPSIS method, Scenario-I was classified as good, while Scenario-II and Scenario-III were classified as very good. These results were consistent and confirmed the expectation of using stormwater best management practices.*

**Key words** | urban drainage; stormwater management; ELECTRE-TRI; TOPSIS; multi-criteria analysis; performance evaluation.

## INTRODUÇÃO

Acompanhando a necessidade atual de se gerir adequadamente as águas urbanas, a gestão das águas pluviais tem-se modificado constantemente na busca de novas alternativas de prevenção e controle de inundações. A utilização das técnicas compensatórias de drenagem urbana (*Best Management Practices - BMP*) é vista como uma das saídas viáveis para os problemas de inundações nos grandes centros urbanos, cada vez mais frequentes.

Para que se tenha um manejo eficiente das águas pluviais urbanas é fundamental a realização do controle das inundações. Esse controle pode ser feito por medidas estruturais e não-estruturais. As estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial (ou o meio ambiente) através de obras na bacia (medidas extensivas), ou então no próprio rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrente das enchentes. Já as não-estruturais são aquelas que possibilitam um melhor convívio da população com os eventos de inundação, sem que haja alteração do meio físico, reduzindo os prejuízos através de medidas preventivas (Baptista *et al.*, 2005; Tucci, 2007).

No contexto da seleção dos processos e medidas para controle de inundações e drenagem urbana, é comum a utilização de métodos de auxílio a decisão, principalmente em função da simplificação que esses métodos promovem em uma análise com múltiplos critérios, objetivos e interesses. Alguns exemplos podem ser citados, como o trabalho de Artina *et al.* (2005), que utilizaram indicadores de desempenho para análise da eficiência de sistemas de drenagem urbana, tendo desenvolvido um programa computacional que avalia o desempenho do sistema de drenagem urbana em função do impacto ambiental produzido. Ellis *et al.* (2006) propuseram uma metodologia baseada na identificação das alternativas compensatórias de drenagem urbana viáveis para cada caso específico. Martin *et al.* (2007) abordaram o problema da seleção de técnicas compensatórias de drenagem urbana (BMP) utilizando o método ELECTRE III.

O objetivo geral deste artigo é apresentar uma metodologia de avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. Este objetivo está pautado na seleção e utilização de um método de apoio a decisão, na identificação dos critérios relevantes para a avaliação, na proposição de procedimentos que permitam quantificar os desempenhos dos sistemas de drenagem urbana e na aplicação a estudos de caso.

## MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento da metodologia para avaliação de sistemas de drenagem urbana seguiu as seguintes premissas: (1) ela deveria possibilitar a avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana, considerando os mecanismos mais frequentes de intervenção utilizados no Brasil, fossem eles clássicos ou compensatórios; (2) ela deveria seguir as recomendações das atuais técnicas de avaliação de desempenho e estar fundamentada na aplicação de algum método de auxílio à decisão; e (3) ela deveria avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem urbana nos aspectos considerados mais importantes pelas pessoas e entidades que se relacionam com esses sistemas, além de possibilitar a identificação dos pontos críticos dos mesmos, permitindo realizar um diagnóstico de estado do sistema sendo avaliado.

O método de pesquisa adotado englobou as seis fases seguintes: (1) pesquisa bibliográfica dos temas correlatos com levantamento de dados; (2) seleção das técnicas de análise de decisão a serem utilizadas; (3) escolha preliminar dos objetivos e critérios da avaliação; (4) consulta a especialistas e enquadramento dos critérios segundo os objetivos específicos sob dimensões de avaliação; (5) desenvolvimento da metodologia de avaliação de desempenho dos sistemas de drenagem urbana; e (6) aplicação da metodologia de avaliação de desempenho dos sistemas de drenagem urbana a três cenários de um Estudo de Caso selecionado.

Em decorrência da pesquisa bibliográfica, decidiu-se optar pela análise de decisão com múltiplos objetivos e múltiplos critérios, por esta forma ter sido aplicada com sucesso em várias aplicações em recursos hídricos e saneamento (Generino, 1999; Braga e Gobetti, 2002; Brostel, 2002; Castro *et al.*, 2004; Moura, 2004; Brito, 2006 e Milograna, 2009). Dentro desse escopo, optou-se pelo método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), desenvolvido por Hwang e Yoon (1991) e adaptado à problemática do tipo  $\beta$ , e pelo método ELECTRE-TRI (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*), desenvolvido por Yu e Roy (1992), por serem apropriados ao tipo de problemática enfrentada (problemática do tipo  $\beta$ ), e pela simplicidade na

aplicação. O método TOPSIS é uma evolução do método de Programação de Compromisso (*Compromise Programming*), pois ele permite a avaliação de alternativas com relação não somente a uma solução ideal, mas em relação a duas soluções ao mesmo tempo (uma ideal e outra anti-ideal). Com uma pequena adaptação, o TOPSIS pode ser utilizado para avaliação de desempenho. Nesse tipo de aplicação, isto é, da problemática do tipo  $\beta$ , as soluções ideal e anti-ideal funcionam como os limites superior e inferior de cada categoria de desempenho.

Os objetivos utilizados para avaliação dos sistemas de drenagem urbana esperados pelos atores envolvidos com a drenagem urbana foram levantados a partir da constatação dos objetivos utilizados em outras pesquisas (Pompêo, 2000; Milograna, 2001; Castro, 2002; Moura, 2004; Artina *et al.*, 2005; Baptista *et al.*, 2005; Ellis *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2007) e foram associados a critérios específicos que pudessem avaliar o atendimento desses objetivos.

A escolha dos objetivos e critérios de avaliação foi realizada com a aplicação de um formulário de pesquisa para consulta a especialistas da área de drenagem urbana. No formulário aplicado havia a descrição da pesquisa e foram apresentados os objetivos e critérios, que, eventualmente, fariam parte da avaliação dos sistemas de drenagem urbana. Esses objetivos e critérios foram submetidos à aceitação dos especialistas, que os avaliaram segundo uma escala de importância que variava de 0 (zero) a 4 (quatro). Alguns comentários e recomendações desses especialistas possibilitaram agrupar, excluir e readaptar alguns dos critérios iniciais. Em seguida, os critérios foram agrupados em dimensões (que funcionaram como subobjetivos) que permitissem exprimir diferentes pontos de vista acerca dos sistemas de drenagem urbana. Essas dimensões derivam dos seis subobjetivos apresentados aos especialistas, todos considerados pertinentes. As dimensões de avaliação foram as seguintes: dimensão legal, dimensão econômica, dimensão social, dimensão ambiental, dimensão de práticas sustentáveis e dimensão técnica.

Foram utilizadas duas formas de se avaliar os sistemas de drenagem urbana segundo os critérios selecionados: (1) por meio de indicadores de desempenho, aplicados aos critérios essencialmente quantitativos, e (2) por meio de planilhas pontuadas, que foram aplicadas aos critérios qualitativos.

Em seguida, foram definidas as ações de referência fictícias para o estabelecimento das categorias de desempenho. As categorias em que os desempenhos dos sistemas de drenagem urbana poderiam estar alocados foram “muito-ruim”, “ruim”, “regular”, “bom”, “muito-bom” e “ótimo”. Essas ações de referência que delinearão as categorias de desempenho foram definidas por meio de pesquisa bibliográfica e discussões com especialistas.

Por fim, foram descritas as etapas de aplicação da metodologia para avaliação de sistemas de drenagem urbana, e esta foi, finalmente, aplicada a um Estudo de Caso, mediante a geração de três cenários (I, II e III). Um detalhamento maior do método de pesquisa adotado pode ser encontrado em Mendonça (2009).

---

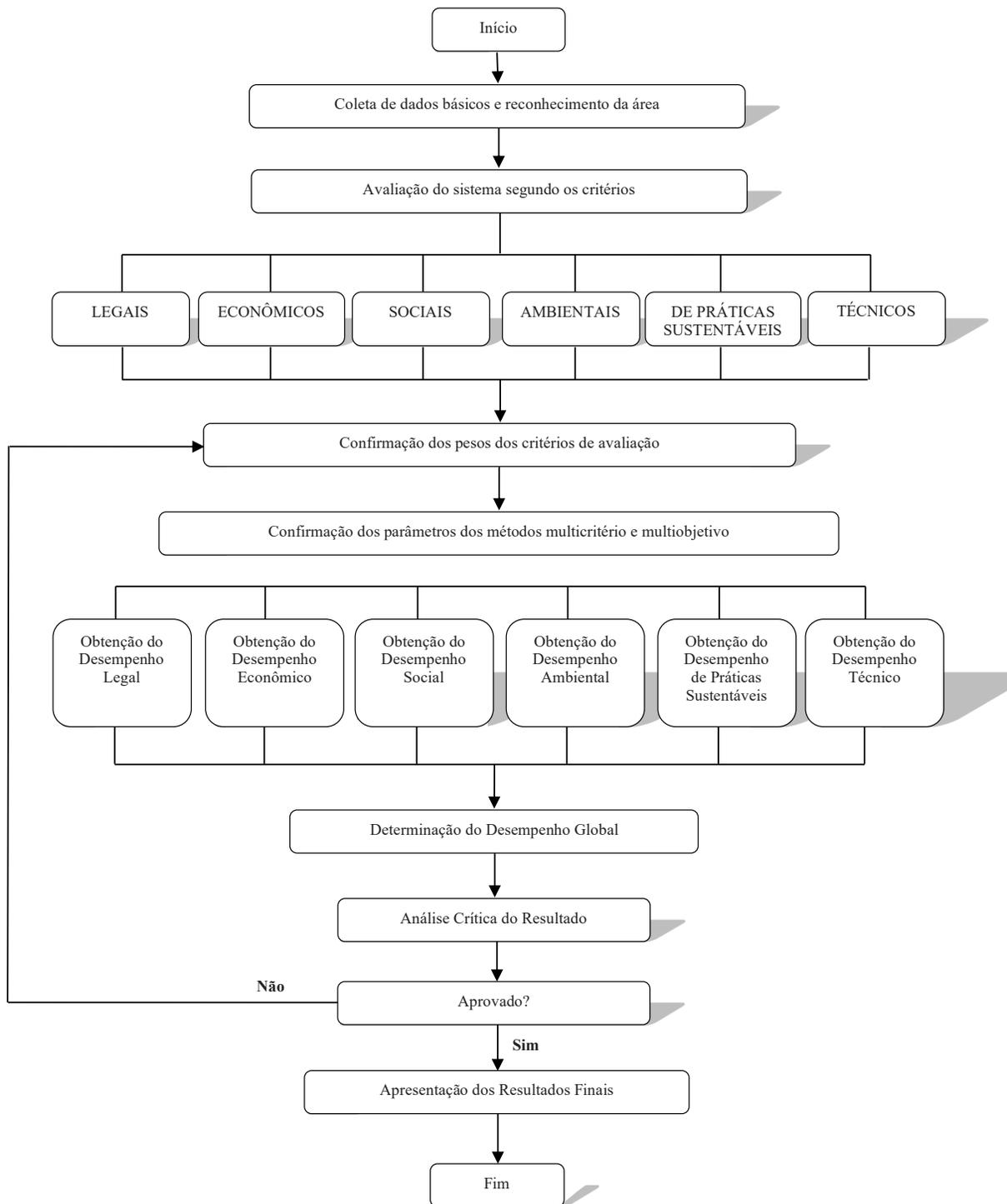
## RESULTADOS

Os resultados obtidos podem ser resumidos em duas grandes partes: (1) a própria metodologia para avaliação de desempenho global de sistemas de drenagem urbana que foi desenvolvida nesta pesquisa; e (2) os resultados da aplicação ao Estudo de Caso dessa metodologia para avaliação de desempenho global de sistemas de drenagem urbana.

### Metodologia para avaliação de desempenho global de sistemas de drenagem urbana

A metodologia para avaliação de desempenho global de sistemas de drenagem urbana que foi desenvolvida nesta pesquisa está apresentada na Figura 1. O primeiro passo na aplicação dessa metodologia é o levantamento dos dados locais necessários para essa aplicação. Feito isso, passa-se à avaliação propriamente dita, segundo os critérios que foram selecionados pela consulta ao painel de especialistas, que foram divididos em seis dimensões, como mostrado na Figura 1, mencionados como critérios legais, econômicos, sociais, ambientais, de práticas sustentáveis, e técnicos. A Tabela 1 apresenta as dimensões derivadas dos objetivos e os critérios vinculados a cada dimensão utilizados no procedimento de avaliação dos sistemas de drenagem urbana.

Para que se pudesse utilizar os critérios selecionados na avaliação do desempenho dos sistemas de drenagem urbana foi necessário desenvolver mecanismos de avaliação para cada critério. Duas formas foram adotadas: a utilização de indicadores de desempenho e de planilhas de avaliação, semelhantes a planilhas de verificação utilizadas em auditorias. A seguir, apresentam-se resumidamente as formas como foram medidas as performances em relação aos critérios em cada dimensão.



**Figura 1** | Fluxograma do modelo proposto para apoio à avaliação do desempenho global de sistemas de drenagem urbana.

**Tabela 1** | Enquadramento dos critérios segundo as dimensões de avaliação.

DIMENSÃO	CRITÉRIO
Legal	- Atendimento à legislação
Econômica	- Índice de custos
Social	- Necessidade de intervenção na propriedade privada - Aceitação social do sistema de drenagem urbana - Risco e vulnerabilidade à saúde pública
Ambiental	- Controle de poluição das águas pluviais urbanas - Controle sobre a proliferação de insetos - Problemas causados por odores ofensivos - Possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas
De Práticas Sustentáveis	- Uso de princípios e práticas sustentáveis - Escalonamento dos objetivos ao longo do tempo - Possibilidade de monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas
Técnica	- Alterações no meio físico - Alterações na vazão de pico - Tempo de retorno de projeto - Confiabilidade

### Dimensão legal

A dimensão legal foi avaliada segundo um único critério, referente ao atendimento à legislação. A avaliação do critério foi feita com o desenvolvimento de uma planilha pontuada na qual foram avaliados aspectos referentes à existência de licença ambiental, ao cumprimento das exigências contidas na licença, à existência de planos de condutas, e à adaptação aos sistemas de saneamento e ordenamento territorial.

### Dimensão social

A dimensão social utiliza três critérios, o primeiro deles é referente à necessidade de desapropriação de áreas, o segundo é referente à aceitação social do sistema de drenagem, e o terceiro é referente aos riscos e vulnerabilidades à saúde pública.

A desapropriação de áreas foi considerada como uma medida que afeta negativamente a população, em função do desconforto gerado pela mobilização. Foi proposto um indicador denominado Indicador de Desapropriação, medido como sendo a relação entre a área total a ser desapropriada para implantação do sistema de drenagem urbana e a área total ocupada pelo sistema.

O segundo critério utilizado nessa dimensão foi o referente à aceitação social do sistema de drenagem urbana, que considera o nível de participação da sociedade no processo decisório e a adaptação do sistema às necessidades da população. Esse critério foi avaliado com auxílio de uma planilha pontuada.

Por fim, foi utilizado o critério referente aos riscos e vulnerabilidades à saúde pública, avaliado também com auxílio de uma planilha pontuada, na qual são contemplados aspectos associados à possibilidade de transmissão de doenças de origem e veiculação hídrica, à ocorrência de inundações, e à abrangência e reversibilidade de danos causados em função da adequação ou inadequação do sistema de drenagem urbana.

### Dimensão Ambiental

Nesta dimensão foram considerados os critérios associados aos impactos ambientais produzidos pelos sistemas de drenagem urbana. Os critérios utilizados avaliam a qualidade das águas pluviais urbanas, o controle sobre a proliferação de insetos e a produção de odores ofensivos. Essas avaliações são fundamentais para que se tenha um sistema adequado às necessidades locais e que cumpra sua função técnica, ambiental e social.

O critério referente ao controle de poluição das águas pluviais urbanas foi mensurado por meio do Indicador de Qualidade da Água ( $I_{QA}$ ), desenvolvido por Brito (2006), que considera a capacidade de remoção de poluentes dos diferentes sistemas de drenagem urbana. A ideia básica desse indicador é a de que alguns dispositivos compensatórios de drenagem urbana reduzem a concentração dos poluentes existentes nas águas pluviais, alguns por meio de detenção, outros por meio de infiltração das águas. O Indicador de Qualidade da Água ( $I_{QA}$ ) foi calculado pela Equação 1, que é uma média ponderada cujos fatores de ponderação são relacionados ao potencial poluidor de cada poluente presente na água pluvial:

$$I_{QA} = \frac{0.25 \cdot TSS + 0.25 \cdot TP + 0.2 \cdot TN + 0.2 \cdot TZ + 0.05 \cdot TPb + 0.05 \cdot DBO}{10} \quad (1)$$

Em que: TSS – Escore atribuído ao percentual de remoção de sólidos suspensos totais; TP – Escore atribuído ao percentual de remoção de fósforo total; TN – Escore atribuído ao percentual de remoção de nitrogênio total; TZ – Escore atribuído ao percentual de remoção de zinco total; TPb – Escore atribuído ao percentual de remoção de chumbo total; DBO – Escore atribuído ao percentual de remoção da demanda bioquímica de oxigênio. Foram produzidas duas tabelas, uma da porcentagem esperada de remoção dos poluentes em cada medida compensatória de drenagem, e outra de fixação dos escores de cada poluente em função da porcentagem de sua remoção.

Os critérios referentes ao controle sobre a proliferação de insetos e aos problemas de odores foram avaliados com a utilização de planilhas pontuadas, nas quais eram observados os impactos causados pelos sistemas de drenagem com relação a insetos e odores, a abrangência dos impactos e sua reversibilidade.

### Dimensão de Práticas Sustentáveis

Para se avaliar o uso de princípios e práticas sustentáveis associados à utilização do sistema de drenagem urbana que se deseja implantar, foi utilizada uma planilha pontuada, que avalia suas ações sob o ponto de vista econômico, social e ecológico. Essa avaliação analisa a integração do sistema de drenagem com o ambiente, com a sociedade além de considerar os as possibilidades econômicas envolvidas.

O critério referente à possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas foi avaliado segundo o Indicador de Utilização das águas pluviais urbanas, proposto por Brito (2006), que representa a relação da capacidade de armazenamento de água do sistema de drenagem urbana pela demanda de água para fins não potáveis.

O escalonamento dos objetivos que devem ser atendidos por um sistema de drenagem urbana pode ser importante para viabilizar o aporte financeiro. Além disso, a fixação de metas pode ser uma medida que denote transparência na gestão pública associada à drenagem urbana. Dessa maneira, pode ser produzido um sistema com maior simplicidade operacional que cumpra as exigências técnicas, sociais e ambientais. Para avaliar esse critério foi utilizada uma planilha pontuada que avaliava a possibilidade de investimentos progressivos e a compatibilidade das ações progressivas com os aspectos técnicos, ambientais, sociais e legais do sistema de drenagem urbana.

O critério referente à possibilidade de monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas foi avaliado por meio de uma planilha pontuada, em que eram considerados a existência de dispositivos de armazenamento, a possibilidade de monitoramento e o comprometimento de desempenho do sistema em função dos mecanismos de monitoramento.

### Dimensão Técnica

O critério referente à alteração do meio físico foi avaliado com a utilização de um indicador, por meio da comparação entre as áreas impermeáveis antes e depois da implantação do sistema de drenagem urbana, assim como a relação entre as áreas verdes antes e depois da intervenção. Em decorrência da dificuldade de se medir essas áreas, pode ser necessária a utilização de fotos aéreas e outros recursos de sensoriamento remoto, que eventualmente podem estar limitados pelos custos de aplicação.

O critério de alterações na vazão de pico foi avaliado com a utilização de um indicador que mede a variação produzida na vazão de pico e no tempo ao pico, verificados antes e depois da implantação do sistema de drenagem urbana. Um ponto importante

a ser observado na avaliação desse critério é a possibilidade de sobreposição de hidrogramas, quando o tempo até o pico for muito prolongado, o que tornaria o cenário inadequado. Assim, o aspecto aparentemente positivo em retardar o pico de vazão seria negativo. O ideal seria manter o tempo até o pico de vazão após a implantação do sistema de drenagem urbana semelhante ao tempo até o pico de vazão da condição natural da bacia.

O critério referente ao tempo de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto foi avaliado pelo indicador de atendimento ao objetivo de minimizar a ocorrência de inundações. Seu cálculo é fundamentado no nível de proteção de cheias proporcionado pela alternativa em projeto, quantificado pela relação entre o tempo de retorno previsto da alternativa em questão e o tempo de retorno desejável para a obra.

Por fim, foi utilizada uma planilha pontuada na avaliação do critério referente à confiabilidade operacional dos sistemas de drenagem urbana, em que foram verificados alguns itens essenciais, como a dificuldade de monitoramento do funcionamento do sistema, a possibilidade de tomar ações corretivas antes da ocorrência de falhas, e o risco de comprometimento das funções técnicas em função de falhas no sistema.

### Definição dos pesos dos critérios

A determinação dos pesos dos critérios para avaliação foi obtida por consulta simples feita a 16 especialistas brasileiros com base em resposta à questionário em uma única etapa de discussão. Esse método foi considerado viável por necessitar de pouco tempo para obtenção dos resultados. Os pesos assim obtidos foram utilizados na etapa de aplicação do modelo ao estudo de caso.

Para obtenção dos pesos dos critérios, em primeiro lugar os critérios foram enquadrados em escala de importância de acordo com os objetivos, tendo os pesos dos objetivos sido corrigidos para que a soma total dos pesos fosse igual a 100 (cem). Os objetivos também tiveram os pesos corrigidos para a mesma escala, e esses pesos são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2** | Pesos obtidos para os objetivos de avaliação.

OBJETIVO (DIMENSÃO)	PESO INICIAL	PESO CORRIGIDO
Legal	3,25	17,16
Econômico	2,75	14,52
Social	2,93	15,47
Ambiental	3,13	16,53
De práticas sustentáveis	3,00	15,84
Técnico	3,88	20,49
TOTAL	18,94	100,00

Para os critérios que não tiveram seu escopo alterado ao que constava no corpo do questionário, foram atribuídos como pesos os valores médios obtidos na pesquisa junto aos especialistas. Esses critérios que tiveram seus pesos mantidos foram: *C3) necessidade de intervenção na propriedade privada; 2) controle de poluição das águas pluviais urbanas; C6) controle sobre a proliferação de insetos, problemas de odores; C9) possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas; C10) uso de princípios e práticas sustentáveis; C15) tempo de retorno de projeto; e C16) confiabilidade.*

Para novos critérios que foram sugeridos, adotou-se o peso como sendo a média entre o valor sugerido pelo especialista e a média obtida por todos os demais critérios. Foram calculados, segundo esse procedimento, os pesos dos seguintes critérios: *C1) atendimento à legislação; C4) aceitação social do sistema de drenagem urbana; C5) riscos e vulnerabilidade à saúde pública; C8) problemas de odores; C11) escalonamento dos objetivos ao longo do tempo; e C12) possibilidade de monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas.*

Para os critérios que foram redefinidos por meio da agregação de critérios preliminares, fez-se uma atribuição de valores com base nos valores atribuídos aos critérios que originaram o novo critério, como foi o caso dos seguintes critérios: *C2) Índice de Custos; C13) Alterações no Meio Físico; e C14) Alterações na Vazão de Pico.*

Considerando o peso obtido para os objetivos, fez-se a correção dos valores dos critérios, para que fosse mantida a proporção de importância dos objetivos selecionados. Os valores obtidos para todos os critérios são descritos na Tabela 3.

**Tabela 3** | Pesos obtidos para os critérios de avaliação.

Critério		Peso inicial	Peso corrigido
C1	Atendimento a Legislação	3,85	17,16
C2	<i>Índice de Custos</i>	2,94	14,52
C3	Necessidade de intervenção na propriedade privada	2,75	5,21
C4	Aceitação Social do Sistema de Drenagem Urbana	2,46	4,66
C5	Riscos e Vulnerabilidade a Saúde Pública	2,50	3,56
C6	Controle de Poluição das Águas Pluviais Urbanas	2,96	5,60
C7	Controle sobre a Proliferação de Insetos	3,44	4,91
C8	Problemas de Odores	2,69	3,84
C9	Possibilidade de Utilização das Águas Pluviais Urbanas	2,96	4,22
C10	Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis	3,06	5,42
C11	Escalonamento dos Objetivos ao longo do tempo	2,96	5,24
C12	Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas	2,92	5,17
C13	Alterações no Meio Físico	2,78	4,63
C14	Alterações na Vazão de Pico	3,25	5,42
C15	Tempo de Retorno de Projeto	3,13	5,22
C16	Confiabilidade	3,13	5,22
TOTAL		50,72	100,00

Esses valores podem ser alterados de acordo com as preferências dos atores envolvidos na avaliação. Além disso, outras técnicas de obtenção de preferências de atores podem ser usadas por potenciais usuários do modelo, como a técnica Delphi (Linstone e Turoff, 1975) e a Técnica de Grupo Nominal – TGN (Delbecq e VandeVen, 1971). E muitas outras técnicas podem ser usadas para a obtenção de valores de consenso a partir dos valores obtidos de cada respondente ao formulário, tais como a técnica OWA – *Ordered Weighted Averaging* (Yager e Kacprzyk, 1997), a técnica baseada no modelo confiança e concordância de opiniões proposto por Canfora e Troiano (2004), o método baseado na análise de “cluster” devida a Valls e Torra (2000), a Técnica de Simos Revisada, codificada no software SRF (Roy e Figueira, 1998; Figueira e Roy, 2002), o método de agregação de pesos baseado em distâncias (“distance-based”) de Cook e Seiford (1978), e o método dos pesos oscilantes (“swing weights”) (Edwards, 1977; Goodwin e Wright, 1991).

### Definição das categorias de desempenho segundo os critérios de avaliação

Após a definição do escopo de avaliação dos critérios, em que cada critério teve o seu procedimento de avaliação descrito, seja de forma qualitativa ou quantitativa, foram definidas as ações de referência fictícias para o estabelecimento das categorias de desempenho. As categorias em que os desempenhos dos sistemas de drenagem urbana poderiam estar alocados foram consideradas como “muito ruim”, “ruim”, “regular”, “bom”, “muito bom” e “ótimo”. As ações de referência que delinearão as categorias de desempenho foram definidas por meio de pesquisa bibliográfica e discussões com especialistas. Para utilização do método TOPSIS, as ações de referência foram estabelecidas somente para as dimensões, e para utilização do método ELECTRE-TRI, cada critério teve suas ações determinadas.

O método TOPSIS faz uma agregação dos valores de desempenho obtidos individualmente para cada critério e apresenta um valor global, correspondente a taxa de similitude. O intervalo de abrangência dessa taxa, que varia entre 0 (zero) e 1 (um), foi subdividido em diferentes faixas para cada uma das dimensões de avaliação de acordo com a importância e a característica da dimensão.

O método ELECTRE-TRI considera no seu procedimento de alocação o enquadramento do sistema segundo as ações de referência estabelecidas para cada critério, e faz as ponderações de valores necessárias que permitem obter o enquadramento final do sistema de drenagem urbana em uma das categorias de desempenho. Para definição das categorias de desempenho que poderiam

ser atribuídas aos sistemas de drenagem urbana, partiu-se de uma divisão fictícia da escala de valores dos critérios que estabeleceria cinco intervalos iguais para a alocação. Esses intervalos foram modificados de acordo com as particularidades de cada critério.

### **Definição dos parâmetros dos métodos multiobjetivo e multicritério utilizados**

Para utilização dos métodos multiobjetivo e multicritério ELECTRE-TRI e TOPSIS, deve-se definir os valores de alguns parâmetros de entrada, como os limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ ) para o ELECTRE-TRI, e o parâmetro de métrica  $p$  para o TOPSIS.

Para o método ELECTRE-TRI, optou-se por atribuir um valor inicial ao parâmetro  $q$  segundo o percentual de 5% utilizado por Castro (2007) para os critérios que utilizam indicadores e, para os demais critérios foi considerado o valor mínimo que poderia diferenciar os desempenhos segundo as planilhas de avaliação. A partir desses valores, foram determinados os valores de  $p$  e  $q$  adotando a relação  $p/q$  igual a 3. O limiar de veto  $v$  foi desconsiderado na aplicação da metodologia devido ao fato de que as comparações são feitas entre o desempenho do sistema de drenagem e as ações de referências fictícias, não havendo necessidade de recusar o sistema em função de um critério discrepante qualquer, fato que em situações de seleção de alternativas, seria fundamental.

### **Determinação dos desempenhos parciais do sistema de drenagem urbana**

Com os desempenhos do sistema de drenagem sendo avaliado segundo cada critério e pelas condições estabelecidas na etapa anterior, empregaram-se os métodos multicritério e multiobjetivo ELECTRE-TRI e o TOPSIS, procedendo-se a alocação do desempenho do sistema de drenagem urbana em análise, para cada uma das 6 (seis) dimensões estabelecidas: a legal, a econômica, a social, a ambiental, a de práticas sustentáveis e a técnica. Os resultados representam os desempenhos parciais do sistema de drenagem urbana e são utilizados para composição do relatório final de desempenho. Com esse resultado, tem-se um diagnóstico das performances do sistema de drenagem.

### **Determinação do desempenho global do sistema de drenagem urbana**

Os desempenhos do sistema de drenagem urbana nos critérios, associados às mesmas condições da etapa anterior, subsidiam os métodos multicritério e multiobjetivo no procedimento de alocação do desempenho global do sistema. O desempenho obtido representa o desempenho agregado nas 6 (seis) dimensões definidas, e é denominado de desempenho global.

### **Análise e apresentação dos resultados dos desempenhos parciais e final**

A partir dos resultados parciais e globais da avaliação, é desenvolvido um relatório preliminar para que se proceda a uma análise crítica dos resultados. Essa análise aborda a opinião dos avaliadores envolvidos com relação aos desempenhos do sistema em cada critério, bem como em relação aos desempenhos parciais e ao desempenho global. Se esses resultados não são aceitos pelos avaliadores, retorna-se a algum ponto da análise para refazer todo o procedimento, repetindo-se a ação até que se consigam resultados aceitáveis pelos avaliadores. Por fim, os resultados da avaliação, após a consideração dos comentários feitos na análise crítica, compõem o relatório final da avaliação de desempenho do sistema em análise.

### **Resultados da aplicação ao Estudo de Caso da metodologia para avaliação de desempenho global de sistemas de drenagem urbana**

Para aplicar o procedimento de avaliação de desempenho, foi selecionado um estudo de caso que permitisse a compreensão dos critérios e dos fatores que pudessem afetar a avaliação. O estudo de caso selecionado contempla uma área urbanizada do município de Goiânia, capital do estado de Goiás, Brasil, e foi descrito por Milograna (2001), sendo posteriormente objeto de estudo em outras pesquisas da área de drenagem urbana, como nos trabalhos de Castro (2002 e 2007), Moura (2004) e Brito (2006).

Esta área foi escolhida para ser trabalhada como estudo de caso por se tratar de uma área já urbanizada e com projetos e estudos para a melhoria de sua drenagem, hoje bastante comprometida. Estes projetos incluem estudos com a utilização de técnicas clássicas de drenagem urbana e alternativas como a implantação de bacias de retenção nos lotes ou a utilização das praças existentes como estruturas de controle.

A área de estudo faz parte de uma região bastante urbanizada no município de Goiânia, e pertence a uma sub-bacia da bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava. O córrego é o afluente mais extenso do córrego Cascavel, sendo que a maior parte de sua extensão está localizada em região nobre da cidade. Esse córrego chegou a ter, por algum tempo, as suas nascentes comprometidas por lançamentos das redes de esgoto sanitário, erosão e desmatamento. A região selecionada é, como grande parte dessa bacia, intensamente ocupada e conta com aproximadamente 17 hectares de área, sendo comum encontrar lotes (aproximadamente 50% destes) com 100% da sua área impermeabilizada, ocupados por edifícios residenciais e comerciais. Quando da ocorrência de eventos de precipitação intensa, os volumes gerados pelo escoamento superficial comprometem o trânsito e a segurança da população em diversos pontos da bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava.

A bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava compreende parte de seis bairros da cidade de Goiânia, além do parque do Vaca Brava. A área compreende, ainda, uma praça e a rótula de encontro de duas avenidas, que foram opções para localização das estruturas de retenção estudadas.

Na análise realizada por Milograna (2001), foram consideradas três alternativas para a drenagem no período futuro para a área em questão, as quais foram comparadas segundo critérios técnicos e de custo de implantação das obras. Este estudo foi realizado para um cenário futuro, com a ocupação prevista para a região a partir da Lei de Zoneamento e Uso do Solo aprovada no ano de 1994.

Para aplicação da metodologia de avaliação ao Estudo de Caso escolhido, foram considerados os 3 (três) cenários desenvolvidos por Milograna (2001), descritos a seguir: (a) **Cenário I** – Sistema clássico, com adoção de uma rede separadora clássica, sem respeitar as restrições de vazão máxima à jusante; (b) **Cenário II** – Sistema intermediário, com a incorporação de duas bacias de retenção em áreas públicas ao sistema clássico, denominadas bacia de retenção da Rótula e bacia de retenção da Praça T-25; e (c) **Cenário III** – Sistema intermediário, com a incorporação ao sistema clássico de micro reservatórios (pequenas bacias de retenção) na saída de cada lote. Foi aplicada a metodologia para avaliação de sistemas de drenagem urbana proposta aos três cenários, após o levantamento de todos os dados necessários para essa avaliação.

Passam-se a descrever sumariamente esses três cenários considerados neste estudo.

### Descrição do Cenário I

Este cenário foi desenvolvido com a previsão de drenagem segundo as técnicas clássicas de drenagem urbana, com um sistema de redes, direcionando toda a água pluvial escoada para um único exutório de jusante, em função do talvegue de escoamento do córrego já existente na área (Castro, 2002).

As simulações realizadas determinaram que a vazão de jusante era de 4.784 L/s para o tempo de retorno de 5 anos, adotado como recomendado, segundo Milograna (2001). Essa vazão foi comparada com a vazão de jusante para a área, para a situação de pré-urbanização de 2.725 L/s, para o mesmo tempo de retorno, demonstrando um grande acréscimo de vazão para o curso de água em função da urbanização (Castro, 2002).

### Descrição do Cenário II

Em relação às redes de drenagem, este cenário manteve sua locação conforme foi feito no Cenário I. No entanto, previu-se a utilização de duas áreas públicas já existentes, a praça T-25 e a rótula do encontro das avenidas 85 e T-63 – como reservatórios de retenção. Os contornos das áreas públicas existentes foram aproveitados, definindo a geometria dos reservatórios.

Na simulação hidrológica realizada, o hidrograma amortecido pelo primeiro reservatório entrou novamente na galeria continuando a propagação do escoamento no restante da área. A praça T-25, como reservatório de jusante, foi a estrutura de retenção para o hidrograma final de propagação.

Os cálculos realizados determinaram áreas inundadas de 807m<sup>2</sup> e 1950m<sup>2</sup>, respectivamente, para os reservatórios da rótula de encontro das avenidas 85 e T-63 e da praça T-25, com profundidade máxima de 1,0m. A vazão máxima prevista a jusante, com tempo de retorno de 5 anos e com o amortecimento proporcionado pelos reservatórios em questão, foi de 2.607 L/s, inferior à vazão referente à situação de pré-urbanização, informada anteriormente como 2.725 L/s (Castro, 2002).

**Descrição do Cenário III**

Assim como nos Cenários I e II, a localização das redes de drenagem foi mantida neste cenário. A diferença neste caso, foi a adoção de um reservatório para cada lote, proporcionando a redução das vazões de pico. Os reservatórios foram locados na saída de cada lote, no lugar da caixa de inspeção. O dimensionamento dos reservatórios foi realizado com a previsão de ocupação de futuro. A propagação das vazões a jusante dos lotes foi semelhante à realizada para o cenário I, com a diferença de vazões nas redes devido ao amortecimento realizado nas parcelas.

No estudo realizado por Milograna (2001), as áreas e volumes necessários para cada reservatório foram determinados de acordo com as áreas dos lotes e a impermeabilização prevista, de forma a manter a jusante da área em questão uma vazão inferior a referente à situação de pré-urbanização da área.

Os cálculos realizados determinaram uma área total ocupada pelos reservatórios nos lotes de 2.474m<sup>2</sup>, com uma profundidade máxima de 0,95m. A vazão máxima prevista a jusante com o tempo de retorno de 5 anos e com o amortecimento proporcionado pelos reservatórios na saída das parcelas foi de 2.466 L/s (Castro, 2002).

**Avaliação dos desempenhos do Cenário I**

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de avaliação proposta ao Cenário I do Estudo de Caso estão resumidos nas Figuras 2 e 3, que mostram seu desempenho individual sob diferentes critérios, e também os desempenhos segundo as 6 (seis) dimensões e ainda, logo ao final, o seu desempenho global, obtidos pelo método TOPSIS e ELECTRE-TRI.

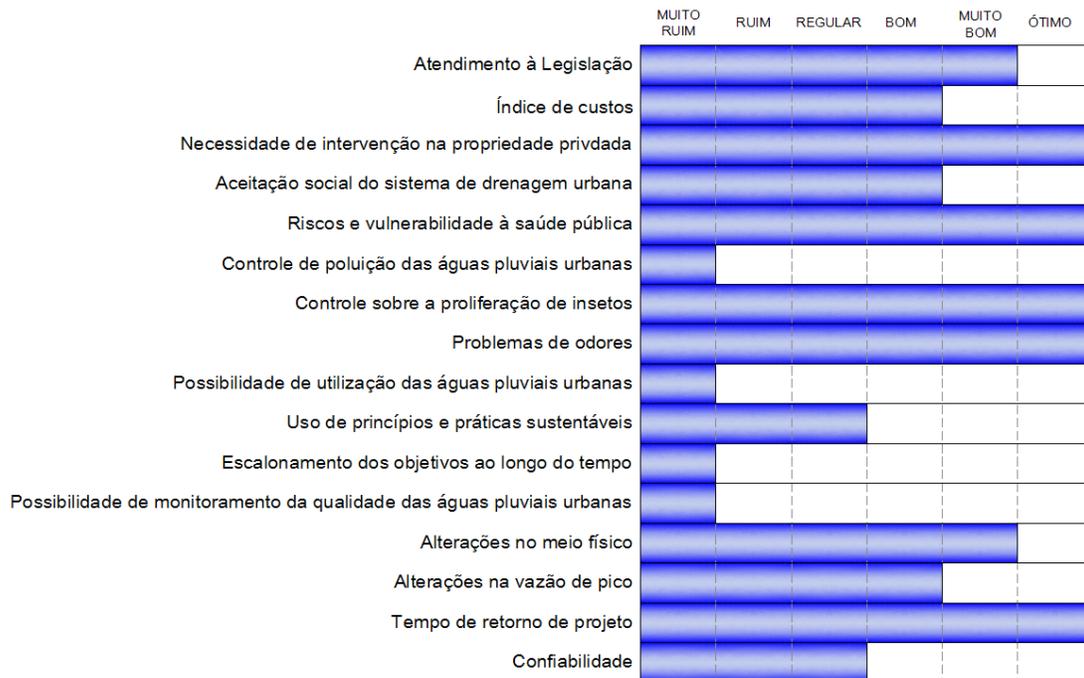


Figura 2 | Desempenhos do Cenário I sob cada critério de avaliação.

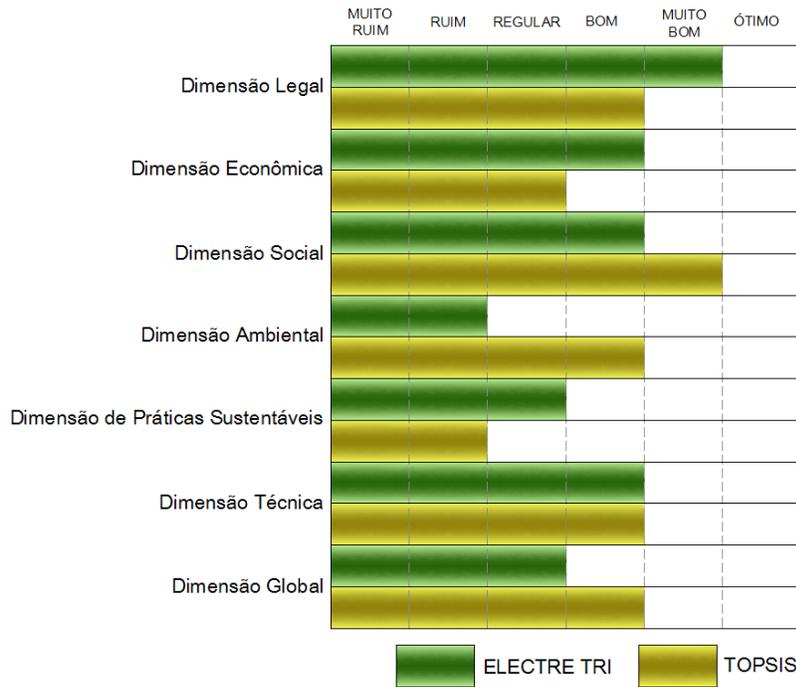


Figura 3 | Desempenhos do Cenário I segundo cada dimensão de avaliação e desempenho global (pelos métodos ELECTRE-TRI e TOPSIS).

### Avaliação dos desempenhos do Cenário II

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de avaliação proposta ao Cenário II do Estudo de Caso estão resumidos nas Figuras 4 e 5, que mostram seu desempenho individual sob diferentes critérios, e também os desempenhos segundo as 6 (seis) dimensões e ainda, logo ao final, o seu desempenho global, obtidos pelo método TOPSIS e ELECTRE-TRI.

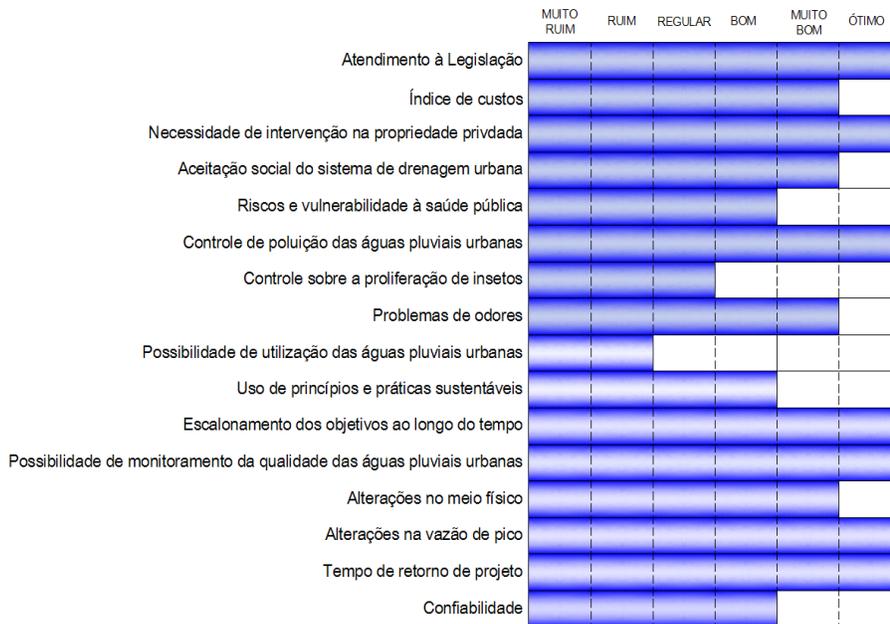


Figura 4 | Desempenhos do Cenário II sob cada critério de avaliação.

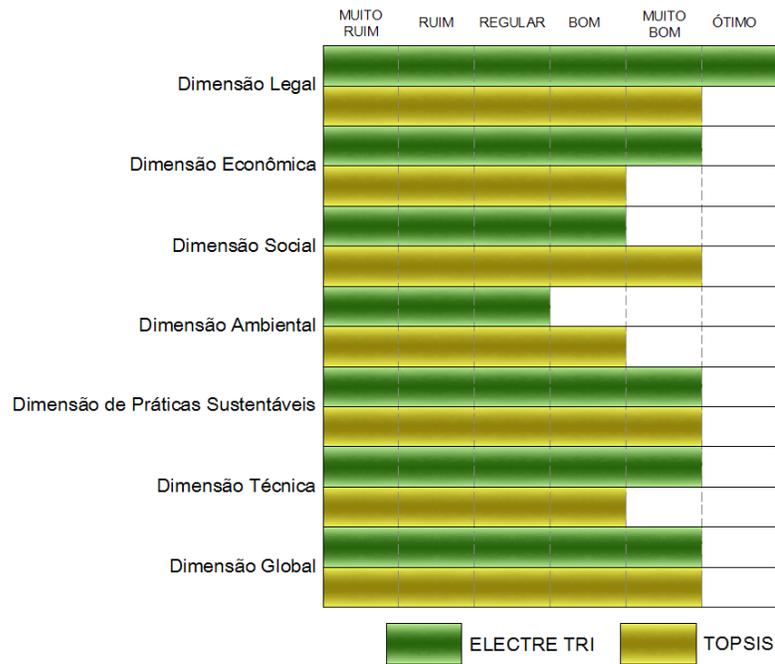


Figura 5 | Desempenhos do Cenário II segundo cada dimensão de avaliação e desempenho global (pelos métodos ELECTRE-TRI e TOPSIS).

**Avaliação dos desempenhos do Cenário III**

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de avaliação proposta ao Cenário III do Estudo de Caso estão resumidos nas Figuras 6 e 7, que mostram seu desempenho individual sob diferentes critérios, e também os desempenhos segundo as 6 (seis) dimensões e ainda, logo ao final, o seu desempenho global, obtidos pelo método TOPSIS e ELECTRE-TRI.

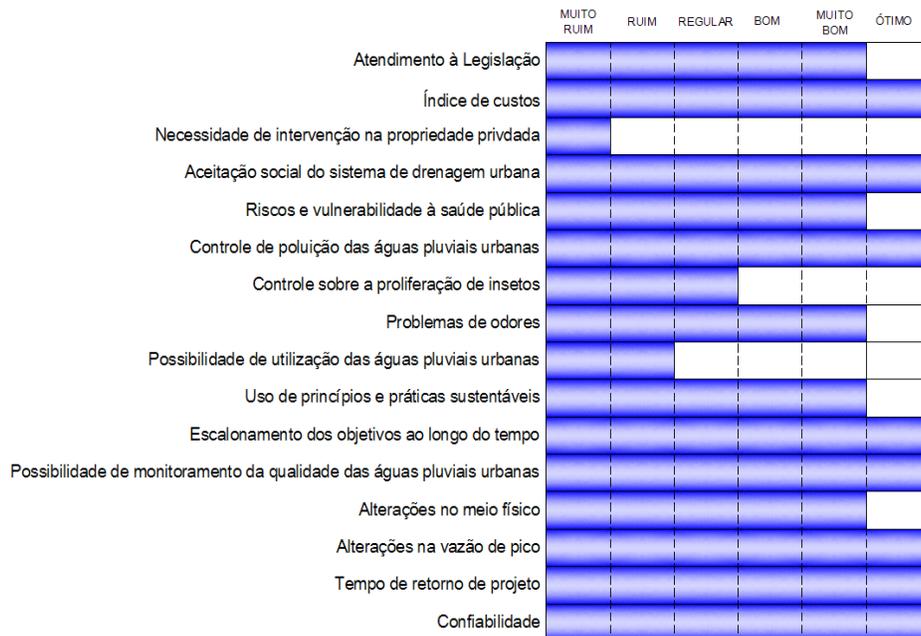
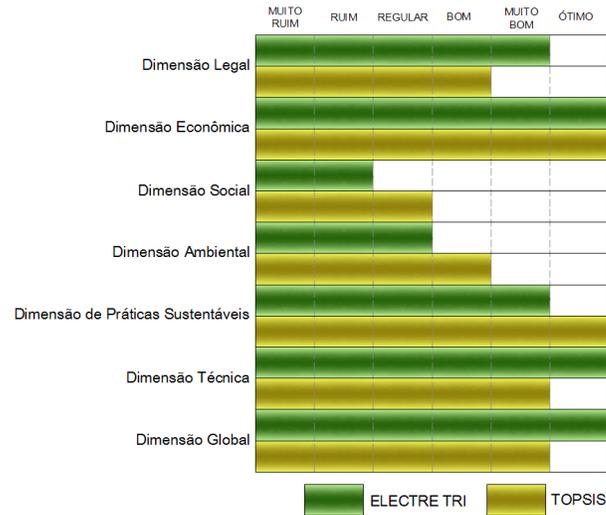


Figura 6 | Desempenhos do Cenário III sob cada critério de avaliação.



**Figura 7** | Desempenhos do Cenário III segundo cada dimensão de avaliação e desempenho global (pelos métodos ELECTRE-TRI e TOPSIS).

## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de avaliação de sistemas de drenagem que foi proposta foram submetidos à análise e se mostraram coerentes e condizentes com a expectativa de desempenho da aplicação das melhores práticas de gestão de águas pluviais urbanas.

Em relação aos resultados da aplicação ao Estudo de Caso, nos três cenários considerados, são feitas as considerações a seguir.

### Cenário I

Percebe-se, com base nos resultados obtidos, que o Cenário I apresenta aspectos deficientes, principalmente, no que diz respeito às dimensões ambientais e de práticas sustentáveis. Por outro lado, os desempenhos legais e sociais são satisfatórios.

Atualmente, a utilização de um sistema que não permite o controle da qualidade da água é uma situação que denota a necessidade de mudança. O que poderia ser feito em relação a esse cenário, para que houvesse uma melhoria em seu desempenho ambiental, poderia ser a incorporação de técnicas compensatórias que possuam mecanismos de retenção de água e eventualmente mecanismos de infiltração.

Em relação aos aspectos de sustentabilidade, as intervenções parecem limitadas, uma vez que os conceitos de canalização utilizados no cenário são praticamente incompatíveis com investimentos progressivos e com o monitoramento da qualidade das águas. Dessa maneira, propõem-se modificações na gestão das águas pluviais e na participação da sociedade na busca de alternativas que melhorem as condições das águas pluviais por meio de conscientização da população, para que haja maior limpeza no sistema de drenagem e aumento das áreas permeáveis nas propriedades para amenizar os impactos das inundações.

Com relação aos desempenhos que se mostraram satisfatórios, vale ressaltar o ponto de vista social, que se mostra perfeitamente adaptado ao conceito higienista que visa o rápido escoamento pluvial urbano causado pelas técnicas de canalizações aplicadas no cenário. Em uma análise mais complexa, poderiam ser consideradas as populações de jusante, o que fatalmente reduziria o desempenho social do cenário, devido às possíveis consequências causadas em decorrência da intervenção.

O atendimento à legislação é praticamente uma obrigatoriedade para todos os cenários, o que exige desempenhos razoáveis. O comprometimento do atendimento da legislação é relativamente baixo para esse tipo de cenário. O confinamento da água nas redes

tradicionais do sistema separador previne a ocorrência de proliferação de insetos e problemas de odores ofensivos. O atendimento aos padrões de lançamento nos corpos receptores pelo sistema de drenagem urbana não pode ser medido, fato que deve ser tratado com prudência para não comprometer a qualidade das águas da área afetada.

Globalmente, o cenário apresentou desempenho “regular” com aplicação do ELECTRE-TRI e “bom” com aplicação do TOPSIS. Esse desempenho reflete uma aceitabilidade do sistema com algumas ressalvas. Por se tratar de uma opção tecnologicamente defasada, os resultados são relativamente satisfatórios, oferecendo um nível razoável de segurança à população e de funcionalidade do sistema. De toda forma, a avaliação permitiu identificar os pontos mais vulneráveis do sistema, pontos estes que devem ser objetos de ações coletivas dos atores da drenagem urbana para reduzir os seus efeitos negativos.

## Cenário II

O Cenário II, que conta com a incorporação de duas bacias de detenção ao sistema clássico com rede separadora de águas pluviais, apresenta bons desempenhos individuais e agregados. O único critério em que o ele apresentou desempenho ruim, foi o critério que avalia a possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas, critério que deve ser revisto, uma vez que resultou em desempenhos insignificantes para todas as configurações de cenários.

Na avaliação das dimensões, pode-se citar como mais deficiente o desempenho ambiental. Tal desempenho justifica-se pela possibilidade de proliferação de insetos e dos problemas de odores, que podem ocorrer pela detenção da água nas bacias por períodos prolongados. Esses efeitos podem ser afetados pelas condições climáticas da região, pelo nível de educação ambiental dos usuários e pela eficiência da manutenção e operação do sistema. Uma boa educação, combinada a um sistema eficiente de limpeza de manutenção e operação, praticamente descarta o risco de problemas associados a insetos e odores.

Em todas as outras dimensões, os resultados para o Cenário II mostraram-se bastante satisfatórios, o que confirma a tendência mundial de adoção de medidas compensatórias que estejam inseridas adequadamente ao ambiente urbano. Um dos aspectos que merece destaque para esse cenário, é a igualdade de desempenho global na utilização dos dois métodos multicritério e multiobjetivo que enquadraram o cenário como “muito bom”. Tal resultado permite afirmar com maior segurança a qualidade da alternativa composta por um sistema intermediário para a aplicação na região de estudo, que reduz os impactos de vazão e possibilita um convívio sustentável entre sistema de drenagem urbana e sociedade.

## Cenário III

A maior fragilidade apresentada pelo Cenário III é a necessidade de intervenção na propriedade privada. Nos dias atuais, esse tipo de intervenção depende inteiramente da colaboração da população, que tem plena liberdade em escolher aderir ou não a proposta de manejo de águas pluviais urbanas com esse tipo de intervenção. Mecanismos para premiar os usuários que contribuam com o sistema de drenagem, como descontos nos impostos territoriais e outras vantagens, podem facilitar o adequado funcionamento do sistema.

Com relação ao desempenho ambiental, uma forma de se aperfeiçoar esse desempenho seria a promoção por parte dos gestores das águas pluviais de cursos e serviços aos usuários do sistema, para que houvesse a correta manutenção e operação dos microrreservatórios, com limpezas periódicas e verificação das condições de funcionamento.

As principais vantagens observadas neste cenário estão associadas aos aspectos econômicos, de práticas sustentáveis, e técnicos. Os custos deste cenário são baixos em relação às demais alternativas. Com relação às práticas sustentáveis, pode-se destacar que esse tipo de cenário não altera o ambiente urbano, além de permitir o controle e monitoramento da qualidade das águas pluviais. A amortização da vazão e do tempo ao pico de vazão são os principais fatores para garantir o bom desempenho técnico do cenário.

As avaliações do Cenário III resultaram em desempenho global “muito bom” e “ótimo” com aplicação do TOPSIS e ELECTRE-TRI, respectivamente. Seguramente, a aplicação desse cenário produziria bons resultados na prevenção de inundações, na promoção de sustentabilidade e na aplicação eficiente dos recursos destinados à gestão das águas pluviais.

---

## CONCLUSÕES

A metodologia proposta para avaliação global de sistemas de drenagem urbana é de fácil aplicação, apresenta o problema de forma simples, e permite a identificação dos aspectos mais eficientes e também dos mais precários associados aos sistemas de drenagem urbana. Com esse tipo de análise e diagnóstico, é possível o planejamento das ações para intervenção nos sistemas.

A metodologia proposta para avaliação de desempenho pode ser considerada pertinente e apresenta resultados coerentes com relação aos sistemas avaliados. Os resultados de desempenhos obtidos pelos cenários avaliados confirmam os resultados dos trabalhos de Milograna (2001), Moura (2004), Brito (2006) e Castro (2002; 2007).

A escolha dos critérios para avaliação dos sistemas de drenagem foi uma etapa importante do presente trabalho. Foram consultados especialistas da área de gestão e manejo de águas pluviais urbanas, que, além de ponderarem os pesos dos critérios e objetivos propostos inicialmente, apresentaram inclusões, sugestões, críticas e correções relacionadas aos objetivos, e aos critérios relacionados às águas pluviais urbanas. As maiores contribuições dessa consulta foram a discussão possibilitada pelos especialistas e a compreensão da magnitude do processo de avaliação. O grupo de critérios selecionados e discutidos seguramente possibilita uma avaliação minuciosa de qualquer sistema de drenagem urbana, seja ele clássico ou alternativo.

Com relação à utilização dos métodos de auxílio à decisão multicritério e multiobjetivo TOPSIS e ELECTRE-TRI, os resultados desses métodos mostraram-se satisfatórios. Ambos facilitam a compreensão do problema de forma global, e permitem fazer modificações que atribuam pontos de vista específicos na análise. O TOPSIS apresentou como vantagem a facilidade de aplicação. Com base na aplicação da metodologia proposta, o ELECTRE-TRI demonstrou ter como maior vantagem a possibilidade de se trabalhar com maior rigor alterando os valores do nível de corte e dos limiares de indiferença, preferência e veto.

No desenvolvimento da metodologia para avaliação de desempenho, algumas considerações foram feitas para que houvesse uma simplificação na metodologia, visando torná-la agradável ao usuário e para que fosse mantido o foco central da pesquisa no atendimento dos objetivos propostos. Em decorrência disso, algumas sugestões para aperfeiçoar a metodologia de avaliação foram listadas: (1) aplicar a metodologia de avaliação a outros estudos de caso para verificar a sua robustez; (2) adaptar a metodologia para utilização com outros métodos de auxílio à decisão, como as redes neurais e os sistemas especialistas; (3) criar um banco de dados que apresente os diferentes critérios utilizados na avaliação dos sistemas de drenagem urbana, assim como outros que possam ser incorporados, e permitir que os critérios sejam selecionados de acordo com a necessidade do analista, sob as distintas óticas de avaliação; (4) considerar na avaliação dos sistemas de drenagem além da população beneficiada pelo sistema, a população de jusante, que pode, eventualmente, ser prejudicada por algumas intervenções; e (5) adaptar os critérios econômicos para uma abordagem que esteja vinculada aos prejuízos evitados em decorrência da implantação do sistema de drenagem, sem a necessidade de comparação com outras alternativas possíveis.

---

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa tornou-se possível pelo apoio à pesquisa e concessão de bolsa de estudos para Eduardo Concesso Mendonça pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, órgão do Governo do Brasil.

---

## REFERÊNCIAS

- Artina, S., Becciu, G., Maglionico, M., Paoletti, A., Sanfilippo, U. (2005). Performance indicators for the efficiency analysis of urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 51(2), 109-118. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0038>
- Baptista, M., Nascimento, N., Barraud, S. (2005). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Primeira Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. Porto Alegre, RS. Brasil. 266 pp.

- Braga, B. P. F., Gobetti, L. E. C. (2002). Análise Multiobjetivo. In: Porto, R. L. L. (Org.) *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos*. Segunda Edição. ABRH, Porto Alegre, RS. Brasil. 361-418.
- Brito, D. S. de. (2006). *Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. Brasil. 117 pp.
- Brostel, R. C. (2002). *Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs)*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília. Brasil. 278 pp.
- Canfora e Troiano (2004). A Model for Opinion Agreement and Confidence in Multi-Expert Multi-Criteria Decision Making. *Mathware & Soft Computing*, 11, 67-82.
- Castro, L. M. A. de. (2002). *Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG. Brasil. 118 pp.
- Castro, L. M. A. de. (2007). *Proposição de metodologia para avaliação dos efeitos nos corpos de água*. Tese de Doutorado da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG. Brasil. 297p.
- Castro, L. M. de., Baptista, M. B., Cordeiro Netto, O. de M. (2004). Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana: Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH*, 9(4), 5-19. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v9n4.p5-19>
- Cook, W. D., Seiford, L. M. (1978). Priority ranking and consensus formation. *Management Science*, 24(16), 1721-1732. <https://doi.org/10.1287/mnsc.24.16.1721>
- Delbecq, A. L., VandeVen, A. H. (1971). A Group Process Model for Problem Identification and Program Planning. *Journal of Applied Behavioral Science*, 7, 466-491. <https://doi.org/10.1177%2F002188637100700404>
- Edwards, W. (1997). How To Use Multiattribute Utility Measurement For Social Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, v. SMC-7, 5, 326-340. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1977.4309720>
- Ellis, J.B., Deutsch, J.C., Legret, M., Martin, C., Revitt, D. M., Scholes, L., Seiker, H., Zimmerman, U. (2006). The DayWater decision support approach to the selection of sustainable drainage systems: A multi-criteria methodology for BMP decision makers. *Water Practice and Technology*. 1(1). <https://doi.org/10.2166/wpt.2006.002>
- Figueira, J., Roy, B. (2002) Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139, 317-326. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00370-8)
- Generino, R. C. M. (1999). *Desenvolvimentos em Metodologias Multicritério para Procedimentos de Avaliação em Auditorias Ambientais: Aplicação para Estações de Tratamento de Esgotos em Brasília/DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. Brasil. 167 pp.
- Goodwin, P., Wright, G. (1991) *Decision Analysis for Management Judgment*. New York: John Wiley & Sons, pp. 308.
- Linstone, H. A., Turoff, M. (1975). *The Delphi method: techniques and applications*. Boston: Addison-Wesley, 1975.
- Martin, C., Ruperd, Y., Legret, M. (2007). Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research*, 181, 338-349. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.019>
- Mendonça, E. C. (2009). *Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Brasil. 171 pp.

- Milograna, J. (2001). *Estudo de Medidas de Controle de Cheias em Ambientes Urbanos [Distrito Federal]*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. Brasil. 120 pp.
- Milograna, J. (2009). *Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas*. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. Brasil. 316 pp.
- Moura, P. M. (2004). *Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Brasil. 146 pp.
- Roy, B., Figueira, J. (1998). Determination des poids des criteres dans les methodes du type ELECTRE avec la technique de Simos révisée. Université Paris – Dauphine, Document du LAMSADE 109.
- Tucci, C. E. M. (2007). *Inundações Urbanas*. Primeira Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). RHAMA. Porto Alegre, RS. Brasil. 393 pp.
- Valls, A., Torra, V. (2000) Using classification as an aggregation tool for MCDM. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1), 159-168. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00029-9)
- Yager, R. R., Kacprzyk, J. (1997) *The Ordered Weighted Averaging Operators: Theory and Applications*. Kluwer: Norwell, MA, 1997. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6123-1>
- Yu, W., Roy, B. (1992). *ELECTRE-TRI. Aspects Méthodologiques et Manuel d'Utilisation*. Document N° 74, version 1.0, Université de Paris Dauphine, Paris, França, 80 pp.