

**MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO DE MEDIDAS DE
CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS**

Gisele Adelita Matias¹

RESUMO – O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de um modelo de apoio à decisão para priorização de medidas compensatórias, visando a redução do escoamento superficial, e contribuindo para controle de inundações urbanas. Assim, foram definidos critérios que permitiram avaliar alternativas potenciais sob os aspectos: ambiental, social econômico e hidrológico. O modelo proposto é capaz de apoiar o processo de decisão avaliando a preferência do decisor através de funções e pesos atribuídos a cada critério, permitindo que as alternativas sejam avaliadas de maneira mais refinada possível. O método de apoio à decisão escolhido para dar suporte à modelagem foi o método multicritério PROMETHEE I, que possibilita a construção de uma relação de preferência por meio de comparação par a par fornecendo como resultado uma pré-ordem parcial das alternativas. Para ilustrar o modelo foi realizada uma simulação numérica que permitiu analisar a preferência do decisor em relação a quatro alternativas.

ABSTRACT – The present work aims at developing a decision support model for prioritization of compensatory measures, aimed at reducing runoff and contributing to urban flood control. Thus, criteria were defined to evaluate potential alternatives under the following aspects: environmental, social, economic and hydrological. The proposed model is able to support the process of decision, evaluating the preference of the decision maker through functions and weights assigned to each criterion, allowing alternatives to be evaluated more refined way possible. The decision support method chosen to give support modeling was the multicriteria method PROMETHEE I, which enables the construction of a preference relation by comparing pairwise providing as a result of partial pre-order alternatives. To illustrate the model was carried out a numerical simulation that allowed us to analyze the preference of the decision maker in relation to four alternatives.

Palavras-Chave – drenagem urbana, modelo de apoio à decisão, técnicas compensatórias de drenagem urbana.

1. INTRODUÇÃO

Os prejuízos devido às inundações nas cidades brasileiras têm aumentado substancialmente: perdas humanas e materiais, interrupção de atividade econômica das regiões inundadas, contaminação por doenças de veiculação hídrica (leptospirose, cólera, etc), aumento da produção de sedimentos, degradação da qualidade da água, contaminação dos aquíferos, entre outros (IPH, 2005).

1) Engenharia Civil da Universidade Federal Rural de Pernambuco; Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos – CEP: 52.171-900 – Recife/PE, (81) 9287-1373, gisele.matias@gmail.com

Esse processo é decorrente principalmente da grande urbanização e redução de cobertura vegetal, o que acarreta na impermeabilização do solo, reduzindo o processo natural de infiltração da água e, portando, aumentando o escoamento superficial (ALCOFORADO & CIRILO, 2001).

Desse modo, Tucci *et al.* (1995) afirmam que as obras de drenagem se tornaram as principais ferramentas utilizadas pelo poder público para mitigar os problemas de inundações. Porém, verifica-se que algumas regiões, mesmo possuindo um sistema de drenagem, ainda sofrem com constantes perdas devido à ocorrência de inundações. Isso acontece devido, principalmente, às obras de drenagem serem realizadas sob uma visão local, sem uma percepção geral da bacia, potencializando apenas alguns problemas localizados e gerando, muitas vezes, mais impactos do que os existentes, além de desperdiçar recursos. Como também, a falta de conhecimento técnico por parte dos profissionais e o limitado conhecimento dos decisores sobre o assunto contribuem para agravar o problema (TUCCI *et al.*, 1995).

Vale ressaltar que apesar da grande importância das obras de drenagem clássica, elas nem sempre são as melhores soluções no controle de inundações, daí a necessidade de se estudar e potencializar a implementação de medidas alternativas, principalmente em regiões de alto risco e que não há recursos financeiros para investimento em obras.

Neste contexto, torna-se evidente a necessidade e importância de se propor um modelo que sirva de apoio para o processo de planejamento de sistemas de drenagem e de seleção de alternativas para o controle das inundações urbanas, que incorpore aspectos técnicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais a fim de auxiliar na prevenção e controle de inundações.

2. METODOLOGIA

A estrutura deste trabalho será baseada em três fases indicadas por Belton & Stewart (2002) na metodologia de apoio à decisão.

- ✓ Identificação e estruturação do problema: nesta fase são feitas algumas análises prévias, os atores envolvidos desenvolvem um entendimento comum do problema de decisão, das decisões que devem ser tomadas e dos critérios nos quais as decisões estão sendo julgadas e avaliadas.
- ✓ Construção e uso do modelo: nesta fase são identificados os objetivos, os valores de conflitos, as preferências, dentre outras características, para que possa ser feita comparações de maneira sistemática e transparente entre as ações ou alternativas.
- ✓ Desenvolvimento de planos de ações: nesta fase são desenvolvidos os possíveis planos de ações que poderão ser adotados. A análise não fornece a solução exata para o

problema, apenas traduz planos de ações viáveis, tanto em termos técnicos e analíticos como em termos de apoio e compreensão na implementação das ações.

Assim, baseado nessas fases, propôs-se um modelo de decisão a fim de auxiliar na priorização de alternativas para o controle de inundações urbanas constituído por 9 etapas: inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico, levantamento de alternativas, definição de critérios, definição de pesos, escolha do método, matriz de avaliação e resultado.

3. PROPOSTA DO MODELO

O modelo proposto neste trabalho analisará a prioridade dos decisores em relação às medidas de controle de inundações urbanas através de um método de sobreclassificação que é apropriado para a problemática de ordenação de alternativas. O procedimento para aplicação do modelo está representado no fluxograma da Figura 1.

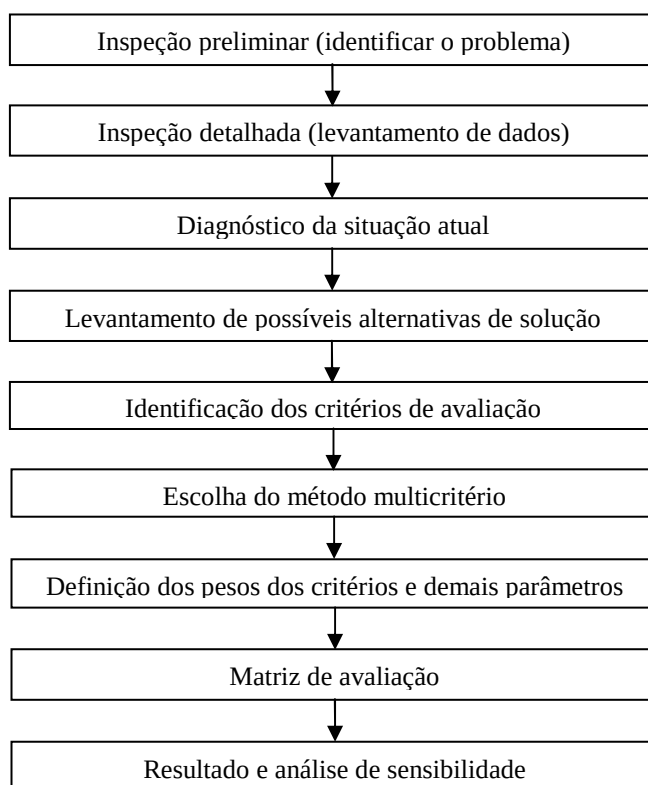


Figura 1 – Fluxograma do procedimento proposto para o problema

3.1. Inspeção preliminar

A inspeção preliminar serve apenas para identificar o problema, ou seja, há um problema que precisa ser corrigido, mas pouco se sabe a respeito dele.

Assim, a inspeção preliminar trata-se de uma inspeção visual e fácil de ser realizada: se houve chuva e inundou, então há um problema que precisa ser resolvido. Porém, para tentar solucionar

precisamos de informações mais específicas e por isso faz-se necessário uma inspeção mais detalhada.

3.2. Inspeção detalhada

Esta fase é importante para compreender e caracterizar melhor o problema. O levantamento de dados permite conhecer as causas, origens e mecanismos de ocorrência do problema.

Além das características das chuvas, que podem ser obtidas através de séries históricas, devem ser estudadas também as características da própria bacia drenante, ou seja, a região em que ocorre o fenômeno de precipitação. Assim, é necessário que sejam feitas visitas ao local que apresenta o problema de drenagem, isso permitirá obter respostas para as seguintes perguntas:

- Que tipo de ocupação existe na região?
- Quais tipos de construções predominam?
- Qual o perfil geológico da região?
- Há camada impermeável? A que profundidade?
- Há sistema de drenagem implantado?
- O sistema de drenagem existente atende a necessidade?
- Há manutenção do sistema de drenagem? Qual a frequência?

Também é importante delimitar a área de inundação, ou seja, identificar que região está sofrendo com o problema, se é uma rua, uma quadra, um bairro, etc., para então definir planos de ação a serem implantados que viabilizem sua integração junto ao projeto urbanístico existente na localidade. Neste modelo utilizou o termo “trecho” para se referir à região de inundação.

De posse de todas essas informações, passa-se a fase de organização e formalização das informações.

3.3. Diagnóstico da situação atual

O diagnóstico representa o resultado de todo estudo feito até agora sobre o problema de forma organizada. Pode ser definido também, como o tratamento dos dados obtidos na inspeção detalhada de forma a organizar as informações e facilitar o trabalho do responsável pela solução do problema e demais interessados, uma espécie de relatório.

3.4. Levantamento das possíveis alternativas de solução

A partir do diagnóstico da situação atual é possível fazer um levantamento das alternativas potenciais, pois esse permite um conhecimento detalhado do problema e de suas limitações. Portanto, como é de se esperar, para cada situação haverá um conjunto específico de possíveis alternativas, já que cada localidade tem suas próprias restrições, o que implica numa ampliação ou redução desse conjunto de alternativas. A sequência de passos está representada na Figura 2. Nesta modelo optou-se por utilizar técnicas compensatórias estruturais de drenagem urbana, visto que na

maioria das vezes as técnicas não-estruturais não são bem vistas pela sociedade por se tratar de medidas de gestão e educação ambiental, além disso, é de difícil implantação por requerer rigorosa fiscalização no cumprimento da legislação.

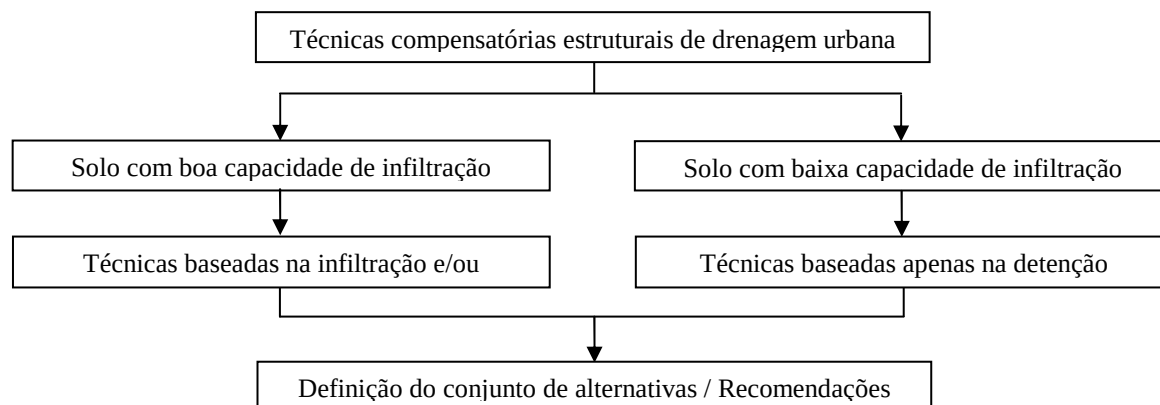


Figura 2 – Fluxograma da definição das alternativas potenciais

Assim, após a análise da capacidade de infiltração do solo poderá ser definido quais técnicas compensatórias poderão entrar no conjunto de alternativas. Se o solo apresenta boa capacidade de infiltração, tanto as técnicas compensatórias baseadas na infiltração como na detenção poderão participar do conjunto de alternativas. Porém, se o solo apresenta baixa capacidade de infiltração é de se esperar que as técnicas compensatórias baseadas na infiltração sejam excluídas do conjunto.

3.5. Identificação dos critérios de avaliação

O estudo da viabilidade de implantação das alternativas potenciais deve ser regido por critérios a serem definidos por um decisor. Esses critérios devem contemplar os mais amplos aspectos de acordo com a preferência do decisor. Neste modelo, propõe-se avaliar critérios de cunho ambiental, social, econômico e hidrológico, que serão detalhados em seguida. A partir da análise individual de cada critério é possível obter dados e informações que possam orientar a escolha da(s) medida(s) de controle de inundações mais adequada(s) para cada situação, visando sempre à minimização de danos.

A seguir serão descritos os critérios e subcritérios avaliados. Vale ressaltar que alguns critérios podem ser avaliados de maneira direta através de valores específicos obtidos em estudos, como é o caso do critério custo. Porém, outros critérios, devido sua natureza subjetiva, necessitam na maioria das vezes de uma escala verbal que permita clareza na comparação, como será visto na simulação numérica no próximo item.

Critérios Ambientais

No ponto de vista ambiental as grandes inundações têm produzido aumento de sedimentos, deterioração da qualidade da água e contaminação de aquíferos.

A produção de sedimentos tem como consequências o assoreamento do sistema de drenagem reduzindo assim a capacidade da água escoar pelos condutos, além disso, os sedimentos podem carregar poluentes agregados. A qualidade das águas pluviais é influenciada pela limpeza urbana e sua frequência (coleta de lixo), intensidade da precipitação e distribuição temporal e espacial (quanto mais água, mais diluída ficará), época do ano e tipo de uso da área urbana (área industrial, residencial, etc).

Apesar de, nos países em desenvolvimento, a qualidade da água não ser um tema de grande relevância (antes disso é preciso resolver o problema da quantidade de água), é importante considerá-la visto que a qualidade da água determinará a redução de custo de tratamento, pois, se a água estiver contaminada e infiltrar-se para os aquíferos ou escoar para rios que sirvam de abastecimento, exigir-se-á maior tratamento químico e conseqüentemente maior recurso financeiro.

Outro ponto a ser considerado na avaliação das medidas de controle de inundações é quando ao seu potencial sustentável. A sustentabilidade é vista hoje como o conceito que poderá proteger o mundo de grandes males e desastres ambientais, pois parte do princípio de explorar ou utilizar os recursos de forma a prejudicar o mínimo possível o equilíbrio entre o ambiente e a sociedade. Portanto, práticas sustentáveis na área de drenagem urbana também são importantes para redução de prejuízos e melhoria das condições de vida humana, da fauna e da flora. Assim, a adoção de medidas de controle de inundações que partem do princípio de reutilização das águas pluviais ou que preservem o máximo de área verde, além de apresentar baixos custos traz benefícios para o meio ambiente e para sociedade, devido seu potencial sustentável.

Critérios Sociais

A sociedade é o agente que tem maior interesse na redução das inundações, pois ela é quem mais sofre diretamente com as consequências das inundações urbanas. Além dos danos materiais, a sociedade fica vulnerável à doenças transmitidas por meio da água, assim, se as medidas adotadas para o controle das inundações proporcionarem redução do contato das pessoas com a água da inundação será menor o risco de contaminação.

A importância da sociedade no processo de decisão de alternativas contra inundação se torna mais evidente visto que ela é o principal financiador das obras hidráulicas, que são construídas pelo poder público com recurso proveniente do pagamento de impostos. Por isso, é necessário que a medida adotada tenha boa aceitação por parte da sociedade.

Portanto, os seguintes critérios de cunho social foram introduzidos na análise:

- ✓ risco à saúde da população, visto que a água é um meio de veiculação de diversas doenças (leptospirose, cólera, dengue, etc.); e
- ✓ aceitação da alternativa pela sociedade.

Critérios Econômicos

Os critérios econômicos são muito importantes, pois interferem diretamente na decisão de adotar uma ou outra alternativa. A minimização desse critério é sempre visada, apesar de nem sempre ser atingida. O que se observa na prática durante a escolha de uma alternativa, é que na maioria dos casos só é considerado o custo de implantação por este ser, geralmente, o de maior valor. Porém, sabe-se que há ainda outros dois tipos de custos agregado aos sistemas de drenagem, que são: o custo de manutenção e o custo de operação. O custo de manutenção como o nome já diz é o custo associado às manutenções periódicas realizadas nos dispositivos de drenagem a fim de garantir seu funcionamento adequado. O custo de operação é aquele associado ao trabalho de alguém para fazer com que aquele dispositivo de drenagem funcione, vale ressaltar que nem todos dispositivos apresentam esse tipo de custo agregado.

Assim, na análise dos critérios econômicos, nesta proposta, serão considerados o custo de implantação da medida de controle, o custo de manutenção e o custo de operação (caso não exista será atribuído o valor zero).

Critérios Hidrológicos

Esses critérios consideram o desempenho das alternativas em relação aos fatores hidrológicos. Na utilização das técnicas compensatórias estruturais, o principal objetivo é reduzir a vazão no espaço e no tempo. Por isso na proposição do modelo será adotado o critério vazão de pico, ou seja, pretende-se avaliar se a medida a ser adotada diminui a vazão e em quanto diminui quando feita as comparações par a par.

A vazão de pico, vazão máxima ou vazão de cheia é a maior vazão atingida devido a ocorrência de uma certa chuva em uma determinada área. Verifica-se que em áreas urbanizadas há um aumento da vazão máxima agravando os impactos das inundações, devido à elevada taxa de impermeabilização que o desenvolvimento urbano acarreta, o contrário é observado em áreas não urbanizadas. Portanto, as medidas de controle de inundações urbanas devem visar à redução da vazão máxima.

3.6. Escolha do método multicritério

A escolha de um método formal para auxiliar o processo decisório é uma etapa complexa. Goodwin & Wright (2004) *apud* Almeida (2010) destacam alguns fatores podem influenciar nessa escolha:

- ✓ o tempo disponível para tomar a decisão;

- ✓ o esforço requerido por uma dada abordagem;
- ✓ o conhecimento acerca do método pretendido;
- ✓ o conhecimento sobre o ambiente decisório;
- ✓ a importância de uma decisão mais precisa;
- ✓ a necessidade de justificar a decisão para os outros;
- ✓ o desejo de minimizar os conflitos;

Almeida (2010) destaca que os métodos multicritérios possuem estruturas axiomáticas ou hipóteses diferentes e não podem ser aplicados de qualquer maneira a um mesmo problema sem que as diferenças sejam consideradas. Por isso, é importante que o decisor tenha bom conhecimento do problema analisado, do contexto, das informações disponíveis, seu grau de precisão e do tipo de problemática que será abordado.

3.7. Definição dos pesos dos critérios e demais parâmetros

A identificação dos pesos é uma etapa muito importante no processo decisório, pois os pesos representam o grau de importância dos critérios para o decisor. A depender do decisor essa atribuição de valores para os pesos pode ser feita baseada em experiências passadas ou simplesmente por meio de informações obtidas durante o processo decisório. Por isso, é essencial que o decisor possua um bom conhecimento acerca do problema para melhor avaliar e definir os pesos para cada critério, porque qualquer informação duvidosa ou incerta em relação a esse parâmetro poderá fornecer um resultado com pouca veracidade.

Além dos pesos, o decisor deve estar apto e seguro para definir que funções de preferência, que representarão de forma mais apropriada seu julgamento em relação aos critérios, bem como os parâmetros p e q , limites de preferência e indiferença respectivamente. Em que p é o menor valor para $g_j(a) - g_j(b)$ acima do qual há uma relação de preferência estrita, e q é o maior valor para $g_j(a) - g_j(b)$ abaixo do qual há uma relação de indiferença.

3.8. Matriz de avaliação

Esta matriz avalia as possíveis alternativas de solução, consideradas no problema, em relação aos critérios já estabelecidos. Na sua construção é possível que alguns critérios sejam avaliados de forma direta, como é o caso do critério custo que geralmente emprega-se o valor monetário.

Contudo, poderá haver critérios que exijam um julgamento mais subjetivo, não podendo ser avaliados de forma direta por meio de valores específicos. Nesses casos são utilizadas escalas verbais como recurso de comparação para simplificar e auxiliar o decisor durante a avaliação.

3.9. Resultado e análise de sensibilidade

O resultado de um modelo multicritério de apoio à decisão não deve ser visto como uma resposta exata para a solução do problema, mas sim, como uma recomendação.

Assim, este modelo não implica na obrigação de implantação da alternativa vencedora (apesar de ela ter apresentado melhor desempenho em relação às outras alternativas), mas sim, uma recomendação, deixando o decisor livre para implantar qualquer uma das outras alternativas do conjunto.

Vale ressaltar a importância de se realizar a análise de sensibilidade para verificar a consistência do modelo e avaliar seu comportamento em relação a possíveis alterações em alguns parâmetros, especialmente os pesos (MORAIS, 2006).

4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

A simulação numérica apresentada a seguir visa ilustrar o modelo proposto no trabalho a fim de selecionar a melhor alternativa para o problema de drenagem, portanto, não foram utilizados dados realísticos. A aplicação segue as 9 etapas descritas anteriormente.

Aplicação do modelo

- Inspeção preliminar

A inspeção preliminar é a fase de identificação do problema, bem como a identificação dos decisores e atores envolvidos. Para esta simulação o cenário escolhido foi um loteamento fictício de aproximadamente 3 hectares.

Verifica-se que em períodos chuvosos ocorrem grandes alagamentos neste loteamento dificultando o trânsito de pedestres e veículos, causando transtornos aos moradores da localidade.

Assim, um engenheiro da prefeitura da cidade, considerado como decisor, foi até o local fazer uma investigação mais detalhada e levantar algumas informações para solucionar o problema de drenagem.

É importante destacar o papel da sociedade no processo decisório, pois esta é a parte mais afetada com o problema de drenagem na região, dificultando a rotina das pessoas em dias de chuvas. Além disso, a sociedade é parte financiadora das obras de drenagem através do pagamento de impostos.

- Inspeção detalhada

De acordo com a investigação feita pelo engenheiro constatou-se que a região apresenta um solo bastante arenoso, sem camada impermeável a longa profundidade, ocupado por casas e edifícios residenciais e comerciais.

Quanto às características do problema de drenagem verificou-se que não há um ponto crítico de acúmulo de água, já que a topografia da região é predominantemente plana, não apresentando grandes declividades.

Quando o sistema de drenagem foi implantado na região atendia perfeitamente a quantidade de água precipitada. Porém, ao longo do tempo novas edificações foram sendo erguidas, havendo acréscimo na impermeabilização do espaço urbano e comprometendo o sistema já existente.

Além da urbanização é importante destacar o fenômeno das mudanças climáticas que tem ocorrido no mundo e sua interferência no regime de chuvas, que tem se intensificado ano após ano contribuindo para o aumento de água nas ruas durante o período chuvoso.

A limpeza urbana e manutenção do sistema de drenagem é outro ponto que deve ser destacado, pois interfere no desempenho global do sistema. A cidade onde se localiza o loteamento em estudo possui um plano de manutenção preventiva dos sistemas de drenagem que contém as diretrizes executivas para serviços de drenagem. Porém, mesmo com o serviço de manutenção preventiva foram observadas obstruções em alguns trechos, reduzindo, portanto, o desempenho do sistema de drenagem.

A partir das informações levantadas pelo engenheiro e sua equipe foi desenvolvido um diagnóstico para acompanhamento da situação e facilitar as futuras etapas de decisão.

- Diagnóstico da situação atual

As informações coletadas na etapa anterior são apresentadas de maneira simplificada no Quadro 2.

Quadro 1 – Diagnóstico da área que apresenta problema de drenagem

Empresa: Prefeitura da Cidade A		
Projeto: Drenagem do Loteamento B		
Responsável: Engº C		
Trecho para estudo: Loteamento B		
Avaliação – Diagnóstico		
1	Tipo de ocupação existente:	Edifícios residenciais e casas
2	Área sem cobertura (%):	20%
3	Tipo de solo:	()A (X)B ()C ()D
4	Capacidade de infiltração:	()excelente (X)boa ()regular ()baixa ()nula
5	Nível do lençol freático:	2,00 m
6	Camada impermeável:	(X)não ()sim Profundidade:_____ (m)
7	Há sistema de drenagem:	()não (X)sim
Observações:		

- Levantamento das possíveis alternativas de solução

A partir do diagnóstico é possível fazer o levantamento das possíveis alternativas que poderão ser implantadas na região. Neste trabalho foram consideradas apenas técnicas compensatórias estruturais como alternativas potenciais, por apresentarem baixo custo, menores impactos e

facilidade de implantação quando comparadas a obras de drenagem de grande porte, tais como canais e galerias.

O conjunto de técnicas compensatórias estruturais podem ser divididos em 2 grupos: o primeiro refere-se a aquelas técnicas baseadas na infiltração, portanto, utilizadas em regiões em que o solo apresenta boa capacidade de infiltração, e o segundo refere-se a aquelas técnicas baseadas na retenção que podem ser utilizadas tanto em regiões com boa capacidade de infiltração como em regiões que apresentam baixa ou nula capacidade de infiltração (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Na região em estudo o solo apresenta boa capacidade de infiltração, assim, tanto as técnicas baseadas na infiltração como na retenção são bem aceitas, desde que haja espaço para implantação. Desta forma, o conjunto de alternativas para o estudo é:

A1 – Trincheira de infiltração

A2 – Pavimento permeável composto por blocos de concreto vazados com evacuação por infiltração

A3 – Poço de infiltração

A4 – Reservatórios individuais em alvenaria com cobertura em concreto

- Escolha do método multicritério

O problema apresentado no estudo visa priorizar técnicas compensatórias de drenagem urbana para tentar solucionar problemas de drenagem. Então, uma alternativa considerada ideal seria aquela que apresentasse um bom desempenho em sob todos os pontos de vista, porém, sabe-se que conciliar bons desempenhos em relação a todos os critérios não é uma tarefa fácil, já que na maioria dos casos para se alcançar um bom desempenho em um determinado aspecto, requer a perda de desempenho em outro aspecto.

Porém, essa ideia de compensar desempenhos entre os critérios, no caso de problemas de drenagem urbana, não é uma boa política para ser adotada, visto que pode gerar perdas significativas em aspectos relevantes na solução do problema. Por exemplo, uma alternativa pode ser muito boa sob o ponto de vista hidrológico, mas apresentar um custo muito elevado ou causar grande risco à saúde da população.

Portanto, o próprio contexto direciona o problema para uma abordagem de sobreclassificação, justificando a escolha do uso do método PROMETHEE I que fornece uma pré-ordem parcial baseada nas relações de preferência, indiferença e incomparabilidade, a partir da intersecção de duas pré-ordens, não admitindo compensações entre os critérios. Assim, buscam-se alternativas que melhor equilibrem os principais fatores envolvidos com a estrutura de preferência do decisor.

- Identificação dos critérios, definição dos pesos e demais parâmetros para avaliação

De acordo com a análise feita pelo decisor com formação em engenharia civil, foram propostos critérios de cunho ambiental, social econômico e hidrológico, estes foram divididos em subcritérios como será visto adiante. Alguns critérios são difíceis de quantificar, por isso o decisor utilizou uma escala verbal dividida em 3 níveis (baixo, moderado e alto) que foi posteriormente transformada em escala numérica, cujo o somatório dos pesos de todos os critérios é igual a 1.

C1 – Ambiental

C1a – Impacto na qualidade de água: as águas pluviais “varrem” as ruas carregando uma grande quantidade de poluentes e quando essas águas penetram no solo podem contaminar o lençol freático. Assim, o critério “impacto na qualidade de água” visa analisar o risco de contaminação que essas águas pluviais apresentam baseado em três níveis de preferência (Tabela 1):

Tabela 1 – Níveis de preferência para o subcritério impacto na qualidade de água

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não apresenta risco de contaminação do lençol
Moderado	A alternativa apresenta um risco desprezível de contaminação do lençol
Alto	A alternativa apresenta um elevado risco de contaminação da água do lençol

C1b – Sustentabilidade: o critério “sustentabilidade” será analisado quanto à reutilização da água pluvial, assim, quando uma alternativa privilegiar o reuso da água pluvial receberá a avaliação mais alta (Tabela 2).

Tabela 2 – Níveis de preferência para o subcritério sustentabilidade

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não potencializa o reuso da água pluvial
Moderado	A alternativa apesar de não prezar pelo reuso, contribui indiretamente para recarga do aquífero.
Alto	A alternativa potencializa ao máximo o reuso da água pluvial para atividades não nobres

C2 – Social

C2a – Risco à saúde da população: a água é um meio de veiculação de doenças por isso deve-se prezar por alternativas que reduzam ao máximo o risco de doenças à população. Portanto, o critério “risco a saúde da população” será avaliado segundo este argumento. Assim, quanto maior o risco menor será a avaliação atribuída e, consequentemente, quanto menor o risco, maior será a avaliação (Tabela 3).

Tabela 3 – Níveis de preferência para o subcritério risco à saúde da população

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não apresenta risco à saúde da sociedade por contaminação
Moderado	A alternativa pode apresentar risco à saúde da sociedade por contaminação
Alto	A alternativa apresenta elevado risco à saúde da sociedade por contaminação

C2b – Aceitação da sociedade: sabe-se também que qualquer interferência no meio urbano afeta diretamente a sociedade e por isso ela deve estar ciente e concordar com as medidas propostas pelo governo, assim o critério “aceitação da sociedade” avaliará a preferência das pessoas pelas alternativas propostas para redução de inundações. Quanto maior a aceitação, maior será a avaliação atribuída a este critério (Tabela 4).

Tabela 4 – Níveis de preferência para o subcritério aceitação da sociedade

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A sociedade é contrária a implantação da alternativa
Moderado	A sociedade é indiferente a implantação da alternativa
Alto	A sociedade é favorável a implantação da alternativa

C3 – Econômico

Dentro do critério econômico foram estabelecidos 3 subcritérios: custo de implantação, custo de manutenção e custo de operação. Porém, nesta simulação serão utilizados apenas o custo de implantação e o custo de manutenção, visto que o custo de operação é muitas vezes insignificante ou mesmo se confunde com o custo de manutenção. O procedimento utilizado para avaliação será a comparação direta de valores monetários, sendo preferível sempre a alternativa com menor valor para os custos (Tabela 5).

Tabela 5 – Critério econômico

Critério	Subcritérios	Escala
Econômico	C3a – Custo de implantação	Comparação direta de valores monetários
	C3b – Custo de manutenção	

C4 – Hidrológicos

C4a – Vazão de pico: o critério “vazão de pico” visa avaliar o quanto a alternativa implantada poderá reduzir a vazão. Por essa aplicação tratar de uma simulação não temos valores numéricos para quantificar o valor da vazão, por este motivo este critério será avaliado de forma comparativa não-quantitativa utilizando escala verbal com 3 níveis (Tabela 6). Assim, quanto maior for a contribuição da alternativa para a redução da vazão de pico, maior será a sua avaliação.

Tabela 6 – Níveis de preferência para o subcritério vazão de pico

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não contribui para redução efetiva da vazão
Moderado	A alternativa pouco contribui para redução da vazão
Alto	A alternativa contribui de forma bastante significativa para redução da vazão

De acordo com a preferência do decisor engenheiro civil, foram avaliados os critérios e chegou-se ao seguinte resultado: o critério econômico foi avaliado como sendo o mais importante sendo, portanto, atribuído o valor de 0,4 ao seu peso, seguido do critério hidrológico, social e ambiental. Os valores para os pesos (p_j) são apresentados no Quadro 3, vale ressaltar que $P = \sum_{j=1}^n p_j = 1$.

Quadro 2 – Pesos dos critérios e subcritérios

Critérios	Pesos	Subcritérios	Pesos
Ambiental	0,1	C1a	0,05
		C1b	0,05
Social	0,2	C2a	0,15
		C2b	0,05
Econômico	0,4	C3a	0,3
		C3b	0,1
Hidrológico	0,3	C4a	0,3

Além dos pesos, para cada critério, foi estabelecida uma função de preferência que representa a forma de julgamento feita pelo decisor em relação aos critérios. Assim, para os critérios ambiental, social e hidrológico foi escolhida a função I (critério usual ou verdadeiro) onde qualquer diferença na avaliação do decisor entre as alternativas implica uma situação de preferência estrita, não há limites de preferência ou indiferença para ser determinado e para o critério econômico foi escolhida a função III (critério linear) onde a preferência do decisor é crescente até um limite de preferência (p) determinado.

De acordo com a avaliação feita pelo decisor, para o parâmetro P (limite de preferência) foi adotado o valor de 10,00 no critério C3a (custo de instalação) e o valor de 3,00 no critério C3b (custo de manutenção).

- Matriz de avaliação

Após definir o método PROMETHEE I como base do modelo e os demais parâmetros vistos na etapa anterior, segue-se para a construção da matriz de avaliação de desempenho (alternativas x critérios).

Cada alternativa foi avaliada em relação aos critérios adotados resultando no Quadro 4. Os valores para o critério econômico (C3a e C3b) foram baseados em estudos realizados por Moura (2004) apud Baptista et al. (2005).

Quadro 3 – Matriz de avaliação das alternativas

Alternativas	Subcritérios						
	C1a	C1b	C2a	C2b	C3a	C3b	C4a
A1	Alto	Moderado	Baixo	Alto	68,00	20,00	Alto
A2	Moderado	Baixo	Baixo	Moderado	16,97	2,57	Moderado
A3	Alto	Moderado	Baixo	Moderado	116,00	12,00	Moderado
A4	Baixo	Alto	Baixo	Alto	127,00	5,00	Alto

Na matriz de avaliação das alternativas observa-se que o critério C2a (risco à saúde da população) neste caso específico recebeu a mesma avaliação em todas as alternativas, portanto, poderia ser excluído deste problema, mas preferiu-se mantê-lo para conservar a estrutura do modelo.

No estudo foi admitida a escala verbal para estabelecer os níveis de preferência do decisor, e posteriormente atribuído a cada valor verbal um valor numérico conforme o Quadro 5.

Quadro 4 – Transformação de escalas

Critério	Subcritérios	Escala		
		Baixo	Moderado	Alto
Ambiental	C1a – Impacto na qualidade de água	1	0,5	0
	C1b – Sustentabilidade	0	0,5	1
Social	C2a – Risco à saúde da população	1	0,5	0
	C2b – Aceitação da sociedade	0	0,5	1
Econômico	C3a – Custo de instalação	Comparação direta de valores		
	C3b – Custo de manutenção	Comparação direta de valores		
Hidrológico	C4a – Redução da vazão de pico	0	0,5	1

As avaliações das alternativas em relação aos critérios com a escala verbal foram convertidas em escala numérica e são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 5 – Conversão de escala para avaliação das alternativas

Alternativas	Subcritérios						
	C1a	C1b	C2a	C2b	C3a	C3b	C4a
A1	0	0,5	1	1	68,00	20,00	1
A2	0,5	0	1	0,5	16,97	2,57	0,5
A3	0	0,5	1	0,5	116,00	12,00	0,5
A4	1	1	1	1	127,00	5,00	1

De posse do resultado das comparações par a par é possível calcular os fluxos positivo e negativo para cada alternativa (Quadro 7).

Quadro 6 – Cálculo dos fluxos

Alternativas	ϕ^+	ϕ^-
A1	1,35	0,75
A2	1,281	0,819
A3	0,45	1,65
A4	1,119	0,981

Para construir as relações de sobreclassificação deve-se comparar cada alternativa uma a uma observando os fluxos positivo e negativo, e obedecendo as recomendações do método PROMETHEE I. Desta forma, o modelo forneceu a seguinte ordenação das alternativas: A1, A2, A4, A3 (Figura 3).

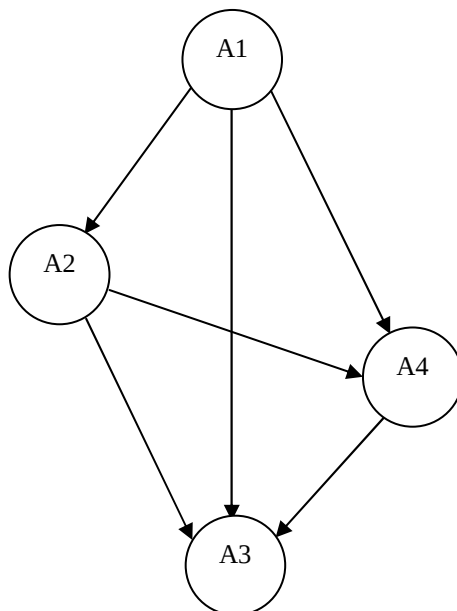


Figura 3 – Fluxo de sobreclassificação das alternativas

Verificou-se que a alternativa A1 sobreclassificou todas as outras alternativas (A2, A3 e A4) sendo, portanto, considerada a melhor alternativa de acordo com a preferência do decisor. Já a

alternativa A3 foi sobreclassificada por todas as alternativas (A1, A2, e A4) recebendo a última posição na ordenação.

- Análise de sensibilidade

Para verificar a consistência do modelo e determinar o efeito de uma variação de um determinado parâmetro no resultado do modelo faz-se a análise de sensibilidade. Nesta simulação o critério julgado mais importante foi o critério econômico, por isso seu peso foi escolhido para sofrer variações de + 15% permitindo avaliar o comportamento do resultado final. Então, a medida que se aumenta ou diminui 15% no valor do peso do critério econômico, esta mesma quantidade será diminuída ou acrescentada de maneira proporcional entre os pesos dos demais critérios.

Assim, para a variação de +15% no critério econômico obteve-se o seguinte fluxo de sobreclassificação das alternativas (Figura 4):

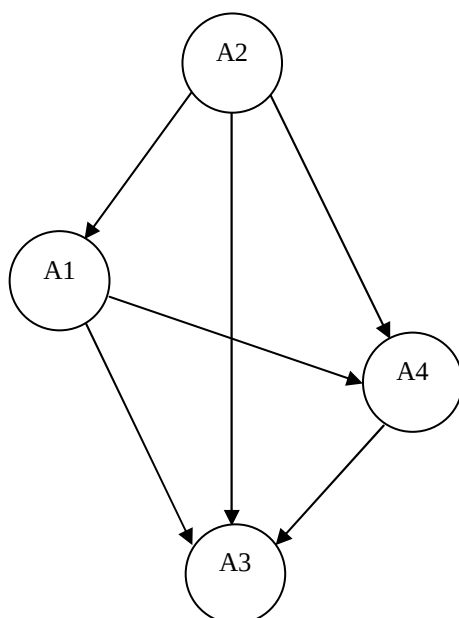


Figura 4 – Fluxo de sobreclassificação das alternativas para variação de +15%

Observa-se que houve inversão de posição das duas primeiras alternativas, a alternativa A2 (pavimento permeável) apresentou melhor desempenho seguido da alternativa A1 (trincheira de infiltração). Já as alternativas A3 (poços de infiltração) e A4 (reservatório individual) permaneceram na mesma posição de avaliação em relação ao resultado da simulação.

Já para a variação de -15% no critério econômico, de acordo com o fluxo de sobreclassificação (Figura 5), verifica-se que não houve alteração na ordenação das alternativas.

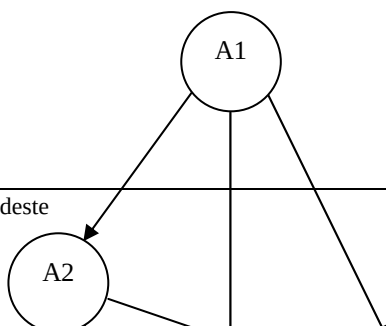


Figura 5 – Fluxo de sobreclassificação das alternativas para variação de -15%

1. CONCLUSÕES

As inundações são fenômenos correntes em grandes cidades, sua principal causa é, frequentemente, atribuída ao intenso processo de urbanização que acarreta a impermeabilização do espaço urbano, reduzindo a infiltração de água no solo e consequentemente aumentando o volume superficial escoado.

A ocorrência de inundações tem graves implicações tais como: perdas materiais e humanas, interrupção de atividade econômica, contaminação por doenças de veiculação hídrica, contaminação dos aquíferos, redução no nível do lençol freático, aumento da temperatura, aumento da produção de sedimentos assoreando os sistemas de drenagem, entre outros, por isso devem ser combatidas de maneira mais adequada possível. Assim, é necessário que a tomada de decisão durante a escolha das medidas a serem adotadas no combate sejam bem estruturadas e avaliadas a luz de critérios bem definidos.

O objetivo do presente trabalho foi a construção de um modelo que pudesse auxiliar a tomada de decisão na escolha de alternativas para controle de inundações, através de uma abordagem de sobreclassificação incorporando aspectos ambientais, sociais econômicos e hidrológicos.

Para atingir o objetivo foi apresentado um referencial teórico sobre o fenômeno de inundações, conhecendo suas principais causas e consequências, algumas medidas alternativas (técnicas compensatórias estruturais) para amenizar o fenômeno de inundações, que foram utilizadas no modelo. Além de um referencial sobre decisão multicritério que apresentou diversos métodos multicritérios dentre eles a família PROMETHEE.

O modelo foi baseado no PROMETHEE I que fornece uma pré-ordem parcial a partir de duas pré-ordens obtidas através dos fluxos positivo e negativo. Além disso, foram definidos 7 subcritérios (C1a – impacto na qualidade de água, C1b – sustentabilidade, C2a – risco à saúde da população, C2b – aceitação da sociedade, C3a – custo de instalação, C3b – custo de manutenção e

C4a – redução da vazão de pico) que permitiu avaliar cada alternativa sob a perspectiva de diversos aspectos.

No trabalho foi apresentada uma aplicação para ilustrar o modelo proposto. Vale ressaltar que a aplicação utilizou poucas alternativas, porém, em casos reais poderão existir muitas alternativas a depender do local considerado.

É importante destacar que a fase de construção da matriz deve ser realizada com bastante cuidado, visto que qualquer avaliação equivocada dos parâmetros irá refletir no resultado e poderá fornecer um resultado com pouca veracidade sobre a real preferência do decisor.

Assim, o estabelecimento de critérios bem definidos, a atribuição de pesos aos critérios refletindo sua importância relativa e a utilização de escalas verbais facilitando a avaliação dos critérios que não podem ser avaliados numericamente quando as alternativas são comparadas entre si, permitem que o modelo proposto indique as alternativas de controle de inundação mais favoráveis para cada situação de problema de drenagem urbana.

O modelo se mostrou sensível às variações impostas. Quando as alternativas têm avaliações muito próximas em determinados critérios, qualquer variação no parâmetro peso deste critério, por exemplo, poderá interferir na ordem de preferência entre as alternativas. Portanto, essa aplicação não pode ser generalizada, é válida para o caso específico apresentado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOFORADO, R. G.; CIRILO, J. A. (2001) “*Sistema de Suporte à Decisão para Análise, Previsão e Controle de Inundações*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. vol. 6, n.4, p.133-153, Out/Dez.
- ALMEIDA, A. T. (2010) *Conhecimento e Uso de Métodos Multicritério de Apoio à Decisão*. Ed. Universitária. Recife.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. BARRAUD, S. (2005) *Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana*. ABRH. Porto Alegre.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. (2002) *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers.
- IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (2005). *Plano Diretor de Drenagem Urbana – Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre*. UFRGS. Porto Alegre.
- MORAIS, D. C. (2006) *Modelagem multicritério em grupo para planejamento estratégico do controle de perdas no abastecimento de água*. Tese de Doutorado. Engenharia de Produção – UFPE. Recife.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (1995) *Drenagem Urbana*. Ed. da Universidade UFGRS/ABRH. 1º Edição. Porto Alegre.