

ADAPTAÇÃO DA MATRIZ DE LEOPOLD PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA

Igor Brumano Coelho Amaral^{1}; Helena de Andrade Nogueira Lucena²; Arlete Barbosa dos Reis³*

Resumo – Comumente, algumas cidades se deparam com grandes dificuldades pautadas no seu crescimento acelerado e mal esquematizado. Isso ocorre devido a defeitos existentes no planejamento civil urbano, acarretando vários problemas ambientais, como as enchentes e inundações. Aglomerações mal planejadas de construções civis em locais inapropriados transformam grandes espaços urbanos em áreas impermeabilizadas que antes serviriam de infiltração para as águas das chuvas. Para remediar os problemas de inundação foram pensados sistemas de drenagem conhecidos como compensatórios, pois visam recuperar as condições naturais do espaço. O objetivo deste trabalho foi adaptar uma matriz para avaliação de impactos com base na Matriz de Leopold (1971) de maneira a ponderar as interferências positivas e negativas que sistemas tecnológicos de drenagem compensatória pluvial causam no ambiente urbano. Embasando-se em estudos na área de engenharia sanitária, hídrica e civil, foi possível desenvolver uma matriz para pontuação de impactos e dividi-la em cinco partes principais que formam os critérios da avaliação: físico, hidrológico, econômico, ambiental e social. Apresentam-se ainda as subdivisões mais específicas desses critérios em parâmetros agrupados para melhor medir os impactos de cada sistema tecnológico no aspecto socioambiental dos meios urbanos.

Palavras-Chave – Drenagem Pluvial. Avaliação de Impactos. Matriz de Leopold.

ADAPTATION OF LEOPOLD MATRIX FOR EVALUATION OF IMPACTS OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR URBAN PLUVIAL DRAINAGE

Abstract – Commonly, some cities face great difficulties based in its accelerated and poorly outlined growth. This is due to defects in urban planning, causing a lot of environmental problems such as floods and inundations. Poorly planned settlements of civil buildings at inappropriate locations transform large urban areas waterproofed that could before serve as infiltration for rainwater. To remedy the problems of flood drainage, systems were thought, known as compensatory, since they aim to recover the natural space. The aim of this study was to adapt a matrix for assessing impacts based on the Leopold Matrix (1971) in order to weigh the positive and negative interference technology systems of compensatory pluvial drainage cause in the urban environment. Basing on studies in the field of sanitary engineering, civil and water, it was possible to develop a matrix to score impacts and divide it into five main parts that compose the assessment criteria: physical, hydrological, economic, environmental and social. It is shown even more specific subdivisions of these criteria grouped parameters to better measure the impact of each technological system in the aspect of urban environmental.

Keywords – Pluvial Drainage. Evaluation of Impacts. Leopold Matrix.

INTRODUÇÃO

¹ *Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. igorbrumano@gmail.com

² Graduanda em Bacharelado em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM. helenanoglucena_6@hotmail.com

³ Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, professora Adjunto II pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri-UFVJM. arlete.reis@ict.ufvjm.edu.br; abreys@gmail.com

O Plano Diretor é uma forma de planejamento urbano que objetiva o processo de criação e desenvolvimento de projetos que visam aperfeiçoar a estrutura das cidades de modo a melhorar a qualidade de vida das pessoas que nelas vivem. Quando esse planejamento não é feito ou executado de maneira correta, os centros urbanos acabam por enfrentar dificuldades de desenvolvimento e se deparam com os problemas causados por elas. Dentre esses problemas, ressalta-se a impermeabilização do solo e a substituição da cobertura vegetal natural causando interferências no ciclo hidrológico, o aumento da vazão máxima de escoamento superficial das águas pluviais, e o extravazamento de cursos d'água e inundações (POMPEO, 2000; CARDOSO, 2008).

Essa impermeabilidade ocorre, principalmente, devido às construções civis feitas em locais propícios a alagamentos e também aos pavimentos não permeáveis utilizados nas vias de tráfego. Tais ações transformam grandes extensões urbanas, antes áreas de infiltração de água, em áreas impermeabilizadas, o que acaba por provocar um significativo aumento do escoamento superficial em detrimento da infiltração no solo.

Diante deste cenário tecnologias ou melhorias ambientais poderiam ser empregadas no intuito de minimizar alguns impactos ao meio ambiente, como por exemplo a recuperação da infiltração do solo com o direcionamento de águas pluviais coletadas em telhados e redirecionadas às áreas de solo não impermeabilizado (FENDRICH, 2001).

No presente trabalho foi desenvolvida uma matriz baseada na Matriz de Leopold para análise multicritério dos impactos urbanos e socioambientais de sistemas tecnológicos inovadores, conhecidos como métodos compensatórios de drenagem (LUCENA; BRUMANO, 2013).

FORMULAÇÃO DO MODELO DA MATRIZ DE LEOPOLD

A Matriz de Leopold

Matriz é uma tabela utilizada para identificar as interações entre as atividades de construção e operação de um sistema, dispondo-as num eixo, e as características ambientais, noutra. Também é útil como um resumo da avaliação ambiental para expor facilmente o que são considerados os impactos significativos e sua importância relativa avaliada pelos autores do relatório de impacto (LEOPOLD *et al.*, 1971).

Na Matriz de Leopold (Tabela 1), de 1971, são atribuídos valores numéricos (de 1 a 10) para indicar a magnitude e importância dos impactos, com 88 características ambientais nas linhas e 100 atividades nas colunas, resultando num total de 8.800 possíveis interações. O somatório da pontuação de cada célula facilita uma análise e interpretação profunda sobre os impactos do projeto de construção. Segundo Leopold *et al.* (1971) é conveniente, ao comparar magnitudes em um programa de avaliação, identificar os impactos benéficos com sinal positivo, haja vista que os planos de ação alternativos podem ter diferentes graus de impactos benéficos ou, possivelmente, prejudiciais. No entanto, em muitos casos o preparador da matriz poderá considerar todos os impactos listados como potencialmente prejudiciais, pois os fatores benéficos seriam abordados no relatório inicial de engenharia.

Além da classificação de magnitude dos impactos ambientais, cada célula mostrada na Tabela 1 a seguir, deve ser dividida por uma linha diagonal para indicar abaixo da magnitude a importância de cada parâmetro a ser analisado, utilizando pontuação de 1 a 10.

No trabalho de Leopold *et. al* (1971), intitulado “A Procedure for Evaluating Environmental Impact”, estão descritas as etapas para a criação da matriz de avaliação de impacto ambiental, a qual deve ser composta de alguns elementos básicos:

1. Determinação do perfil dos efeitos sobre o meio ambiente que seria causada pelo desenvolvimento proposto;
2. Uma avaliação da importância de cada um destes efeitos.
3. Uma estimativa acerca da magnitude dos mesmos na situação analisada;

A vantagem da adaptação da Matriz de Leopold está na sua utilização como uma lista de verificação ou como um lembrete de toda a gama de ações e impactos gerados pela modificação desejada do ambiente.

Tabela 1 – Modelo da Matriz de Leopold reduzida (MODIFICADA LEOPOLD, 1971)

	Industrial sites and buildings	Highways and bridges	Transmission lines	Blasting and drilling	Surface excavation	Mineral processing	Trucking	Emplacement of tailings	Spills and leaks
Water quality									
Atmospheric quality									
Erosion									
Deposition, Sedimentation									
Shrubs									
Grasses									
Aquatic Plants									
Fish									
Camping and hiking									
Scenic views and vistas									
Wilderness qualities									
Rare and unique species									
Health and safety									

A Matriz de Leopold Adaptada

No presente trabalho foi criada uma adaptação da matriz original para realizar uma análise dos impactos gerados pela implantação de sistemas tecnológicos compensatórios de drenagem pluvial. Foram selecionados das linhas da matriz original aqueles parâmetros que melhor se relacionam com a drenagem pluvial urbana (TUCCI *et al.*, 1995; CARDOSO, 2008) e, posteriormente, no intuito de facilitar a interpretação da matriz quanto à avaliação de magnitude de importância do impacto, foram subdivididos os seguintes critérios: físico, hidrológico, econômico, ambiental e social.

Os parâmetros para avaliação de magnitude e importância do impacto por critério foram:

- 1. Físico** - considerando os impactos que o método causaria no ambiente paisagístico urbano:
 - A. *Limites da construção*: relação com a estruturação da cidade – se o tipo de solo natural é favorável à infiltração (arenoso, cárstico etc.) ou se já se apresenta de uma forma naturalmente desfavorável, como os solos em processo de formação que ainda possuem pequena profundidade e solos rochosos (latossolo litólico etc.).
 - B. *Ocupação da área urbana*: relação com a construção do sistema, se muita área é demandada ou se se pode construí-lo com pequena ocupação.
 - C. *Acúmulo de poças d'águas*: relação do sistema com o favorecimento da infiltração das águas.
 - D. *Estético/Paisagístico*: efeitos visuais da construção do sistema.
- 2. Hidrológico** - avaliando os efeitos na hidrologia da bacia regional, tanto nos cursos d'água receptores quanto nos lençóis freáticos:

- A. *Interferência no ciclo hidrológico*: considerou-se como boa interação a restauração do ciclo hidrológico natural e a má interação, o prejuízo a este.
 - B. *Armazenamento de água para outros fins*: avaliou-se a capacidade do sistema de guardar água pluvial para reuso.
 - C. *Escoamento superficial*: analisou-se a relação da presença do sistema e a diminuição do volume de água escoado.
 - D. *Qualidade da água superficial*: relação direta com o acúmulo de poças d'água e a concentração de poluentes nas superfícies.
 - E. *Qualidade da água subterrânea*: análise da poluição dos lençóis freáticos pela infiltração de poluentes.
 - F. *Reabastecimento dos recursos hídricos*: avaliação da habilidade do sistema de efetuar o reabastecimento dos lençóis subterrâneos.
- 3. Econômico** - fazendo uma análise da redução ou aumento de gastos com implantação e manutenção do sistema;
- A. *Valorização da área*: análise do efeito da construção do sistema com o valor social e econômico do local em que estaria situado.
 - B. *Gastos de implantação*.
 - C. *Gastos de manutenção*.
 - D. *Desapropriações*: avaliação da necessidade de haver desapropriações para a construção do sistema, sendo que foram analisados os custos que as mesmas acarretam aos órgãos responsáveis.
- 4. Ambiental** - avaliando o sistema em termos atuais de padrão de sustentabilidade e degradação ou preservação do ambiente natural;
- A. *Qualidade do ar*: relação com o acúmulo de poluentes superficiais e o mau cheiro e(ou) emissão de gases nocivos.
 - B. *Qualidade do solo*: relação com o acúmulo de poluentes na camada superficial e subsuperficial do solo.
 - C. *Colmatação*: efeito na capacidade de infiltração do solo.
 - D. *Manutenção do habitat*: avaliação do impacto da construção e operação do sistema com o habitat natural dos espécimes da área.
- 5. Social** - considerando os impactos na vida dos moradores da área próxima à aplicação do sistema em questão.
- A. *Proliferação de doenças*: existência de problemas como a proliferação de insetos e doenças de veiculação hídrica (cólera, leptospirose etc.).
 - B. *Riscos de inundação*: avaliação da eficiência do sistema como método de drenagem.
 - C. *Qualidade de vida*: avaliação dos impactos que a construção do sistema tem na vida da população próxima.

As colunas foram reduzidas para apenas uma, onde foram colocadas as magnitudes e importâncias de cada célula relacionada ao impacto da linha correspondente.

Para esta matriz adaptada, julgou-se necessária uma modificação nos valores da pontuação. Como visto, a Matriz de Leopold recebe apenas valores para magnitude de 1 a 10, pois deve vir acompanhada de um texto explicativo que defina se o impacto é positivo ou negativo para o

ambiente. Porém o objetivo com a criação dessa matriz foi simplificar a análise dos impactos dos sistemas de drenagem pluvial, então foram usados os valores de -2 a +2, onde os negativos indicam interação ruim e os positivos, boa interação. As células da matriz que não representam interação com o sistema tratado foram deixadas em branco ou destacadas com o valor zero. Para melhor entendimento do seu funcionamento, um exemplo da utilização da matriz é dado no apêndice do presente trabalho.

Na matriz criada para este trabalho, assim como na Matriz de Leopold, cada parâmetro recebe um valor de importância de acordo com a construção a ser avaliada. Como o presente trabalho trata de sistemas tecnológicos de drenagem pluvial urbana especificamente, os valores da importância de cada parâmetro já estão afixados na parte inferior de cada célula (Tabela 2). Ressalta-se que os valores atribuídos à importância dos efeitos são dados em apenas três valores: 1 para baixa, 2 para média e 3 para alta importância.

Tabela 2 – Modelo da matriz adaptada

CRITÉRIOS	PARÂMETROS	Pontos
FÍSICO	Limites da construção	1
	Ocupação de área urbana	2
	Acúmulo de poças d'água	3
	Estético/Paisagístico	2
HIDROLÓGICO	Interferência no ciclo hidrológico	3
	Armazenamento de água para outros fins	1
	Escoamento superficial	3
	Qualidade da água superficial	3
	Qualidade da água subterrânea	3
	Reabastecimento dos recursos hídricos	2
ECONÔMICO	Valorização da área	1
	Gastos de implantação	2
	Gastos de manutenção	1
	Desapropriações	2
AMBIENTAL	Qualidade do ar	2
	Qualidade do solo	2
	Colmatação	1
	Manutenção do habitat	1
SOCIAL	Proliferação de doenças	3
	Riscos de inundação	3
	Qualidade de vida	3
TOTAL		

Os efeitos que receberam valor 1 de importância é devido ao sua pouca relação com o objetivo principal dos sistemas de drenagem, como, por exemplo, a valorização da área onde o sistema é implantado, que deve ser levada em consideração, mas se sabe que os sistemas de drenagem não foram construídos para esse fim. Aqueles que receberam valor de 2 de importância são os que, apesar de também não se apresentarem como objetivo principal dos sistemas, são importantes na manutenção da qualidade dos espaços urbanos, como a ocupação da área urbana ou o efeito na qualidade do solo. E os que obtiveram valor 3 de importância são aqueles relacionados com o objetivo central e eficiência do sistema ou com o bem-estar da população urbana.

Ao final da matriz adaptada é indicado que se coloque uma soma dos valores das magnitudes dos impactos considerando os valores numéricos positivos e negativos caso seja feita a comparação entre dois ou mais sistemas.

CONCLUSÕES

Embasando-se na matriz fornecida através do modelo dado pela Matriz de Leopold para avaliação de impactos destaca-se a funcionalidade e a viabilidade da utilização dessa metodologia como uma ferramenta valiosa de suporte para as tomadas de decisões em instalações de sistemas tecnológicos de drenagem pluvial urbana, permitindo uma fácil visualização das interações dos efeitos positivos e negativos das suas instalações.

É também uma vantagem a simplicidade da matriz proposta, o que torna desnecessária a escrita de longos relatórios de impactos ambientais para análise de sistemas de drenagem pluvial. Outras vantagens também se associam ao modelo proposto. Também se destaca a diminuição dos números de interações entre as linhas e as colunas (aqui unificadas) da matriz e a flexibilidade proporcionada aos redatores do relatório de impacto.

O somatório dos valores atribuídos a cada parâmetro está contido na faixa de -42 a 42, por serem cinco valores possíveis e 21 parâmetros analisados. Para julgar a qualidade do sistema tem-se que valores negativos de somatório indicam que o sistema é insatisfatório; os valores de 0 a 20 representam sistemas satisfatórios, mas com limitações evidentes. Os sistemas com pontuação acima de 20 seriam os mais eficientes e que causariam menos danos ao ambiente.

REFERÊNCIAS

- AGRA, S. G. **Estudo Experimental de Microrreservatórios para Controle do Escoamento Superficial**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2001.
- CARDOSO, A. S. **Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Belo Horizonte: 2008.
- FRENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de utilização de águas pluviais-100maneiras práticas**. Editora Livraria do Chain, Curitiba-PR. (2002).
- LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSLEY, J. R. **A Procedure for Evaluating Environmental Impact**. Free on application to the U.S. Geological Survey, Washington, D.C. 1971.
- LUCENA, H. A. N.; BRUMANO, I. **Análise de Métodos e Técnicas Compensatórios de Drenagem Pluvial Como Forma de Evitar Inundações Urbanas**. 2013. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia). UFVJM. Diamantina. Minas Gerais.
- TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do Impacto da Urbanização**: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre: 1995.
- POMPEO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5 n.1. 2000. 15-23 p.

APÊNDICE: AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO PELA MATRIZ DE ANÁLISE

Como exemplo da utilização da matriz adaptada para análise de impactos, foi escolhido o Poço de Infiltração como sistema de compensatório de drenagem (Tabela 3).

Na Matriz de Impactos para Sistemas Tecnológicos de Drenagem Pluvial Urbana os Poços de Infiltração seguiriam o seguinte modelo:

Tabela 3 – Matriz de impactos causados pelos Poços de Infiltração

CRITÉRIOS	PARÂMETROS	Pontuação
FÍSICO	Limites da construção	0 / 1
	Ocupação de área urbana	0 / 2
	Acúmulo de poças d'água	2 / 3
	Estético/Paisagístico	2 / 2
HIDROLÓGICO	Interferência no ciclo hidrológico	2 / 3
	Armazenamento de água para outros fins	0 / 1
	Escoamento superficial	2 / 3
	Qualidade da água superficial	2 / 3
	Qualidade da água subterrânea	-1 / 3
	Reabastecimento dos recursos hídricos	2 / 2
ECONÔMICO	Valorização da área	2 / 1
	Gastos de implantação	-1 / 2
	Gastos de manutenção	-1 / 1
	Desapropriações	0 / 2
AMBIENTAL	Qualidade do ar	1 / 2
	Qualidade do solo	1 / 2
	Colmatação	-2 / 1
	Manutenção do habitat	2 / 1
SOCIAL	Proliferação de doenças	1 / 3
	Riscos de inundação	1 / 3
	Qualidade de vida	2 / 3
TOTAL		16

Os Poços de Infiltração são estruturas pontuais e verticais, que possibilitam a infiltração das águas superficiais na direção radial (AGRA, 2001). Esses dispositivos ocupam uma área muito pequena e evacuam por infiltração as águas pluviais diretamente no subsolo.

Como critérios para avaliação de impacto para os Poços de Infiltração, analisam-se os quesitos listados e caracterizados a seguir:

Limites da construção (1.A.), ocupação da área urbana (1.B.) e desapropriações (3.D.): haja vista a baixa ocupação dos poços de infiltração, que são uma vantagem deste sistema, desapropriações são desnecessárias e há poucas limitações à sua implantação em centros urbanos já estruturados.

Acúmulo de poças d'água (1.C.), estético/paisagístico (1.D.), escoamento superficial (2.C.), qualidade da água superficial (2.D.), qualidade do ar (4.A.) e qualidade do solo (4.B.): as seis pontuações estão relacionadas diretamente nesse método; tendo em vista a infiltração favorecida pela sua implantação, há uma diminuição do escoamento superficial e conseqüente melhoria na qualidade da água superficial, do ar e do solo, assim a paisagem urbana é afetada positivamente.

Interferência no ciclo hidrológico (2.A.), qualidade da água subterrânea (2.E.) e reabastecimento dos recursos hídricos (2.F.): essa interferência é muito boa com relação ao uso dos poços de infiltração justamente por esse tipo de sistema permitir melhor reabastecimento dos recursos hídricos subterrâneos restaurando um pouco do ciclo hidrológico natural do ambiente, apesar de que pode ocorrer a infiltração de poluentes juntamente com a água pluvial.

Armazenamento de água para outros fins (2.B.): por se tratar de um sistema de infiltração, não há o armazenamento de água pluvial.

Valorização da área (3.A.) e manutenção do habitat (4.D.): os poços permitem a criação de áreas verdes de infiltração em meio a centros urbanos, o que pode gerar uma manutenção de habitats, principalmente vegetais, em municípios de estruturação recente.

Gastos de implantação (3.B.), gastos de manutenção (3.C.) e colmatação (4.C.): há um ganho na implantação de poços com a diminuição das tubulações para escoamento de águas, porém devido à colmatação há alguns gastos com manutenção do sistema.

Proliferação de doenças (5.A.) e qualidade de vida (5.C.): por facilitar a infiltração, os poços evitam a proliferação de doenças de veiculação hídrica, o que gera, juntamente com a criação de áreas verdes, melhorias na qualidade de vida da população.

Riscos de inundação (5.B.): Embora tenha alcançado boa pontuação, os poços de infiltração não são sistemas muito eficientes de drenagem pluvial, já que, por serem estruturas pontuais, drenam apenas pequenas áreas nas proximidades.