



ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA FRENTE PROCESSOS DE CHEIAS

Gabrielly C. O. Silva⁽¹⁾; Marcelo G. Miguez; Leandro T. Di Gregorio⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal do Rio de Janeiro, gabrielly@coc.ufrj.br

⁽²⁾ Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo: A urbanização é um processo cada vez mais acelerado, especialmente em algumas regiões da Ásia e da América Latina, agravando frequentemente as cheias. No Brasil, a gestão de cheias urbanas ainda está fortemente focada em medidas estruturais. No entanto, para reduzir os riscos de inundação dentro de um quadro de gestão integrada, é importante avaliar e compreender as vulnerabilidades da cidade. Este trabalho apresenta uma abordagem de avaliação da vulnerabilidade urbana a processos de inundações, por meio da avaliação de seus aspectos: social, econômico, ambiental e infraestrutural. Foi construído um índice com a intenção de oferecer uma ferramenta de gestão para cidades, que a partir de dados disponibilizados por bases públicas, é capaz de permitir a mensuração da vulnerabilidade a inundações. Foi utilizada, como caso de estudo, a cidade de Cuiabá, capital de Mato Grosso. Após a realização dos cálculos, os resultados foram espacializados com uso de ferramenta GIS e foram feitas análises transversais para avaliação da coerência e consistência dos resultados.

Palavras-chave: vulnerabilidade, cheias urbanas.

1 – Introdução

As cheias resultam de um processo natural; no entanto, o crescimento urbano tem potencial para agravar impactos negativos incrementando este fenômeno, pois tem como consequência o aumento de áreas impermeáveis e maior geração de lixo e sedimentos. Ocorre, portanto, um incremento das vazões máximas, contaminação e obstrução parcial da rede de macrodrenagem e, por vezes, insuficiência ou ineficiência da microdrenagem (IPCC, 2012).

Nota-se um aumento da urbanização cada vez mais pungente nos dias atuais. Para exemplificar tal afirmação, no Brasil já são 12 as capitais com mais de 1 milhão de habitantes (IBGE, 2010). Entre as cidades altamente urbanizadas no país, várias vêm enfrentando problemas associados à urbanização descontrolada e o descuidado manejo das águas pluviais. O recente aumento no número de ocorrências de inundações com impactos deletérios para as cidades, tem progressivamente despertado o interesse de setores da sociedade por medidas que permitam antecipar esses eventos, reduzir seus impactos, e preparar a sociedade e a cidade para conviver de forma mais resiliente com essa realidade (SAYERS *et al*, 2013).

As soluções (preventivas ou mitigadoras) para o problema das cheias não se restringem a medidas estruturais. O adequado planejamento do uso do solo, a urbanização controlada e consciente, o manejo adequado dos corpos hídricos, e a educação da população permitem alcançar bons resultados na gestão de águas urbanas. (WORLD BANK, 2012).

A partir do entendimento do risco como sendo um conjunto de diversas componentes interconectadas (perigo, vulnerabilidade, exposição e resiliência) buscou-se um aprofundamento sobre a componente vulnerabilidade, que é potencializada pelo planejamento

e administração urbana frágeis e inadequados. O objetivo principal do estudo é a proposição de uma ferramenta metodológica – um índice multicritério – para avaliação das diferentes vertentes da vulnerabilidade urbana (social, econômica, ambiental e infraestrutural) frente aos processos de cheias. Foi escolhida como caso de estudo uma micro-bacia completamente urbanizada na cidade de Cuiabá (Mato Grosso), cidade esta, que assim como diversas outras no Brasil, apresentam problemas no que tange ao planejamento e ordenamento territorial, bem como diversas situações deletérias resultantes de processos de cheias urbanas.

2 – Bases conceituais

Vulnerabilidade pode ser entendida como as condições determinadas por fatores físicos, econômicos, sociais e ambientais que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade aos impactos das ameaças (UNDP, 2004). Para O’Riordan (2002), a vulnerabilidade é dada pela incapacidade de um grupo populacional de evitar o perigo relacionado a catástrofes naturais, ou ao fato de ser forçado a viver em condições de perigo. Tal situação decorre de uma combinação de processos econômicos, sociais, ambientais e políticos.

Face à complexidade das dimensões da vulnerabilidade, mensurá-la requer a integração de um grande número de informações relacionadas a uma pluralidade de áreas de conhecimento. Para avaliação da vulnerabilidade diversas metodologias foram desenvolvidas, e algumas destas são apresentadas brevemente na Tabela 1, pois foram utilizadas como base para formatar o desenvolvimento do índice proposto.

Tabela 1 – Metodologias utilizadas para embasamento da proposta do índice

IRC	O Índice de Risco de Cheia (IRC) é uma metodologia proposta por Zonensein <i>et al.</i> (2008), que considera as propriedades da inundação (PI) e as características (C) sócio-econômicas da população e da região afetadas. O IRC é composto por dois subíndices; o subíndice PI reúne os indicadores que informam as características que determinam a magnitude do processo e influenciam no potencial de danos: lâmina de alagamento, fator de velocidade, e fator de permanência. O subíndice C relaciona os indicadores que afetam a vulnerabilidade e a exposição: densidade de domicílios, renda, tráfego e saneamento inadequado.
IVSA	Saito (2011) propôs uma metodologia para a determinação da vulnerabilidade socioambiental (IVSA) de comunidades de baixa renda em Florianópolis. Foram utilizados dois componentes principais: <i>a exposição física</i> a que os moradores estão submetidos (os indicadores são: tipo construtivo, iluminação pública, abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, posse do domicílio e características do domicílio); e <i>a capacidade de resposta</i> dos moradores, caracterizada pelos aspectos: idade, escolaridade, estado civil, raça, situação no mercado de trabalho, número de pessoas no domicílio e tempo de moradia.
IVS	Um estudo realizado na Holanda por Koks <i>et al.</i> (2014), investigou a combinação entre a vulnerabilidade social, o perigo e a exposição à inundação em uma determinada área, a fim de promover lições para a gestão de risco de cheias. Na criação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) foram utilizados os indicadores: total de habitantes, número de famílias monoparentais, migrantes não-europeus, menores de 14 e maiores de 65 anos, número de famílias, renda média mensal e idade média da propriedade.
IVSE	Eidsvig <i>et al.</i> (2014) apresentam um índice para avaliar a vulnerabilidade socioeconômica (IVSE), os indicadores representam os fatores que influenciam a capacidade de uma comunidade em se preparar, tratar e recuperar de danos e perdas. Os indicadores são: <i>Elementos vulneráveis</i> : menores de 5 e maiores de 65 anos, pessoas com barreiras linguísticas e culturais, dependentes de recursos naturais como fonte de renda, densidade populacional, pessoas sem educação superior, tipo de habitação e infraestruturas críticas; <i>Preparação e resposta</i> : percepção de risco, capacidade de alerta rápido, procedimentos de emergência, resposta de emergência; <i>Recuperação</i> : riqueza pessoal, seguros e fundos de desastre, serviços médicos.

3 – Proposição do Índice Integrado de Vulnerabilidade Urbana a Cheias

As metodologias descritas foram aplicadas ao caso de estudo e, a partir das informações obtidas, foi feita a proposição de um índice único, com intuito de avaliar a vulnerabilidade urbana frente a processos de cheias. Uma preocupação na construção deste novo índice foi a busca por sua plena replicabilidade. Assim, foram selecionados indicadores que pudessem ser disponibilizados por órgãos públicos e de livre acesso.

Para melhor entendimento do Índice Integrado de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC) foi feita uma compartimentalização deste em 4 subíndices, sendo estes: Econômico, Social, Infraestrutura e Ambiental, e seus respectivos indicadores, conforme a Figura 1.



Figura 1: Detalhamento dos parâmetros do índice de vulnerabilidade

Para normalização das variáveis foi executada a distribuição das correspondentes pontuações de vulnerabilidade em cinco faixas de variação (entre 1 e 5, de um valor mais baixo em direção ao mais alto) para cada indicador, conforme detalhamento na Tabela 2.

Tabela 2: Indicadores IVUC e faixas de valores.

ECONÔMICO	Preço m²	1: Valor do m² < 15% do m² mais elevado da área 2: Valor do m² entre 15% e 30% do m² mais elevado da área 3: Valor do m² entre 30% e 45% do m² mais elevado da área 4: Valor do m² entre 45% e 60% do m² mais elevado da área 5: Valor do m² > 60% do m² mais elevado da área
	Condições do entorno (Características do entorno dos domicílios com relação à cobertura de serviços públicos de saneamento, pavimentação e iluminação)	1: Condição entorno ideal com 100% cobertura 2: Condição entorno com cobertura entre 90% e 100% 3: Condição entorno com cobertura entre 75% e 90% 4: Condição entorno com cobertura entre 60% e 75% 5: Condição entorno com cobertura < 60%
SOCIAL	Distribuição etária	1: < 5% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 2: 5% a 10% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 3: 10% a 15% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 4: 15% a 20% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 5: > 25% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos
	Renda domiciliar (Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita (SM – salário mínimo))	1: Maior % Domicílios com rendimento > 10 SM 2: Maior % Domicílios com rendimento entre 5 e 10 SM 3: Maior % Domicílios com rendimento entre 3 e 5 SM 4: Maior % Domicílios com rendimento entre 1 e 3 SM 5: Maior % Domicílios com rendimento < 1 SM

	Densidade Populacional	1: DP <50 hab/Km ² 2: DP entre 50 e 100 hab/Km ² 3: DP entre 100 e 250 hab/Km ² 4: DP entre 250 e 500 hab/Km ² 5: DP >500 hab/Km ²
INFRAESTRUTURA	Tráfego	1: Hierarquização viária: via local 2: Hierarquização viária: via coletora 3: Hierarquização viária: via arterial 4: Hierarquização viária: via estrutural 5: Hierarquização viária: via expressa
	Tipo de domicílio	1: Maioria dos domicílios são apartamentos 2: Proporção semelhante entre apartamentos e casas de vila 3: Maioria dos domicílios são casas de vila 4: Maioria dos domicílios são casas 5: Praticamente a totalidade dos domicílios são casas
	Presença de escolas e hospitais	1: Ausência de centros de ensino e hospitais 2: Mínimo – 1 centro de educação infantil 3: Mínimo – 1 centro de ensino de nível fundamental 4: Mínimo – 1 centro de ensino de nível médio 5: Mínimo – 1 centro de saúde, hospital ou centro universitário
AMBIENTAL	Esgotamento Inadequado (Soma dos lançamentos em fossas (sépticas ou negras), vala, rio, mar e locais sem nenhum tipo de esgotamento)	1: < 20% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 2: 20% a 40% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 3: 40% a 60% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 4: 60% a 80% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 5: > 80% dos domicílios possuem esgotamento inadequado
	Resíduos Sólidos (Os resíduos sólidos podem ser: coletados, queimados, enterrado ou dispostos a céu aberto)	1: > 90% dos domicílios possui coleta de resíduos 2: 80% a 90% dos domicílios possui coleta de resíduos 3: 70% a 80% dos domicílios possui coleta de resíduos 4: 60% a 70% dos domicílios possui coleta de resíduos 5: < 60% dos domicílios possui coleta de resíduos

São feitas duas observações quanto aos indicadores.

1º: Foi feita uma primeira ponderação, equitativa, de pesos na construção da cobertura conjunta dos serviços públicos (*condições do entorno*):

$$\text{Cobertura serviços} = \text{água} * 0,2 + \text{esgoto} * 0,2 + \text{lixo} * 0,2 + \text{pavimentação} * 0,2 + \text{iluminação} * 0,2$$

2º: Consideraram-se os raios de influência de cada equipamento comunitário (*presença de escolas e hospitais*), conforme o Instituto de Planejamento Urbano do Distrito Federal (GDF/IPDF) e o Plano Diretor do município de Goiânia onde: centro de educação infantil (raio de influência) = 300 m; centro de ensino fundamental = 1500 m; centro de ensino médio = 3000 m; centro de saúde = 5000 m; hospital e centro universitário = influência regional.

O equacionamento proposto para o cálculo do índice tem base em um produtório de um somatório, conforme a equação a seguir e o detalhamento na tabela 3.

$$IVU = \left\{ \left[I_{Ce}^E * P_{Ce}^E + I_{m^2}^E * P_{m^2}^E \right]^{qE} \times \left[I_{De}^S * P_{De}^S + I_{R}^S * P_{R}^S + I_{Dp}^S * P_{Dp}^S \right]^{qS} \times \left[I_{T}^I * P_{T}^I + I_{Td}^I * P_{Td}^I + I_{EH}^I * P_{EH}^I \right]^{qI} \times \left[I_{Ei}^A * P_{Ei}^A + I_{Rs}^A * P_{Rs}^A \right]^{qA} \right\}$$

Tabela 3: Detalhamento da equação do IVUC

qE: peso subíndice Econômico	I_{Ce}^E : indicador Condições do entorno; p_{Ce}^E : peso indicador Condições do entorno;	$I_{m^2}^E$: indicador Preço m ² ; $p_{m^2}^E$: peso indicador Preço m ² ;
qS: peso subíndice Social	I_{De}^S : indicador Distribuição etária; p_{De}^S : peso indicador Distribuição etária; I_R^S : indicador Renda;	p_R^S : peso indicador Renda; I_{Dp}^S : indicador Densidade populacional; p_{Dp}^S : peso indicador Densidade populacional;
qI: peso subíndice Infraestrutura	I_T^I : indicador Tráfego; p_T^I : peso indicador Tráfego; I_{Td}^I : indicador Tipo de domicílio;	p_{Td}^I : peso indicador Tipo de domicílio; I_{EH}^I : indicador Escolas e Hospitais; p_{EH}^I : peso indicador Escolas e Hospitais;
qA: peso subíndice Ambiental	I_{Ei}^A : indicador Esgotamento inadequado; p_{Ei}^A : peso indicador Esgotamento inadequado;	I_{Rs}^A : indicador Resíduos sólidos; p_{Rs}^A : peso indicador Resíduos sólidos;

Optou-se por fazer uma verificação do comportamento do índice através de uma aplicação deste a um caso de estudo. Como alternativa inicial e simplista para esta representação, foram adotados, tanto para os indicadores, quanto os subíndices, pesos com igual valor. A representação espacial da aplicação é vista na Figura 2.

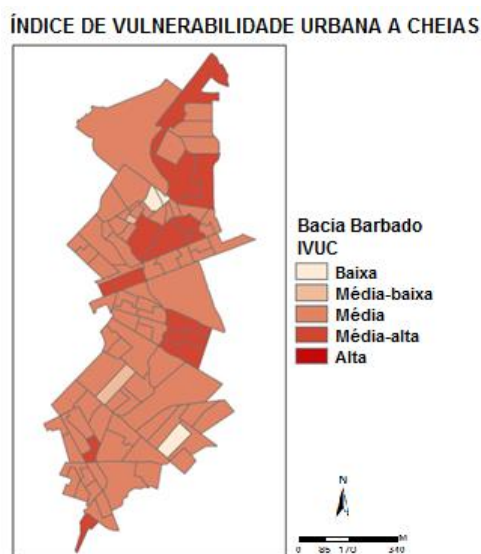


Figura 2: Índice de vulnerabilidade urbana a cheias

Percebe-se que a maior parte da área está compreendida em uma faixa de média vulnerabilidade, alguns setores possuem características mais críticas, com classificação de média a alta vulnerabilidade, e pouquíssimos setores são classificados com baixa vulnerabilidade urbana. As áreas com pior classificação consistem em áreas de ocupação originalmente irregular, situadas às margens do curso d'água, com falta de planejamento da ocupação e infraestrutura de serviços, e equipamentos deficientes. De forma geral, o resultado é aderente à realidade e mostra adequação da capacidade de representação do índice.

4 – Considerações finais

É notório que a temática sócio-ambiental adentrou o debate sobre o planejamento urbano, sendo interessante a busca pela definição e uso de índices e indicadores que apontem indícios de como ocorre a distribuição da vulnerabilidade nas cidades. A análise da vulnerabilidade é uma importante ferramenta, tanto nas etapas de planejamento, quanto de controle do uso e ocupação do solo.

Índices integrados, como o proposto nesse estudo, são medidas utilizadas para apreender sobre uma determinada realidade ou dimensões desta. Tais instrumentos podem ser utilizados para o atendimento da demanda por informações para a formulação de políticas, tomada de decisões em esfera pública e a divulgação de resultados pelos meios de comunicação.

Como um exemplo, órgãos ambientais podem realizar um monitoramento remoto com base no conhecimento da vulnerabilidade de uma região estudada, o que pode fomentar também a emissão de alertas direcionados. A Defesa Civil pode utilizar das informações dos locais com avaliação de vulnerabilidade para realizar ações de preparação, resposta e reconstrução para eventos de cheias, já que são conhecidas as peculiaridades locais.

Referências

- EIDSVIG, U. M. K. *et al.* (2014). *Assessment of socioeconomic vulnerability to landslides using an indicator-based approach: methodology and case studies*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Springer.
- IBGE. (2010). *Censo Demográfico*. Brasil.
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p.
- KOKS, E. E. *et al.* (2014). *Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management*. Environmental, Science & Policy, Elsevier.
- O'RIORDAN, T. (2002). *Precautionary Principle, Encycloedia of Global Environmental Change*, vol. 4. Chichester, UK: John Wiley.
- SAITO, S. M. (2011). *Dimensão socioambiental na gestão de riscos dos assentamentos precários do maciço do morro da Cruz, Florianópolis – SC*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC.
- SAYERS, P. *et al.* (2013). *Flood Risk Management: A Strategic Approach*. Paris, UNESCO.
- WORLD BANK. (2012). *Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. Washington, DC.
- UNDP. (2004). *Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report*. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP.
- ZONENSEIN, J. *et al.* (2008). *Flood Risk Index as an Urban Management Tool*. In 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.