

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

PONDERAÇÃO DE INDICADORES PARA GERENCIAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Camila Angélica Baum¹ & Joel Avruch Goldenfum²

Palavras-Chave – Processo de Análise Hierárquica, Análise dos Componentes Principais.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a gestão e gerenciamento das águas pluviais são realizados majoritariamente pelos governos municipais. Na maior parte dos municípios (98,9%) os prestadores do serviço de manejo e drenagem de águas pluviais pertencem às próprias prefeituras municipais, as quais são as responsáveis pelo serviço (SNIS-AP, 2019) e, em maioria, carecem de uma estruturação institucional (Colombelli, 2018) e de técnicos capacitados para tal. Para suprir esse tipo de deficiências, o uso de ferramentas de gerenciamento como os indicadores tem se difundido ao longo das últimas duas décadas no serviço de águas pluviais urbanas. Os indicadores, se adequados para a realidade municipal e compreensíveis para os gestores públicos, tem potencial de auxiliar significativamente no gerenciamento das águas pluviais.

Há atualmente uma elevada variedade de indicadores relacionados às águas pluviais para a realidade brasileira, desenvolvidos principalmente por pesquisadores desde o início dos anos 2000. Baum e Goldenfum (no prelo), ao analisar indicadores e índices relacionados às águas pluviais e inundações urbanas desenvolvidos pela comunidade científica para a realidade brasileira verificaram que, apesar dos esforços, muitos dos conjuntos de indicadores relacionados ao sistemas de águas pluviais urbanas enfrentam problemas práticos para sua aplicação, destacando-se a baixa disponibilidade de dados e capacidade técnica limitada nos órgãos e entidades responsáveis. De acordo com Mayer (2008), é relevante que os tomadores de decisões tenham compreensão clara de como os indicadores simples interagem entre si e influenciam nos resultados de determinado indicador composto ou índice; se o nível de compreensão for reduzido as decisões políticas podem aumentar as disparidades econômicas e os danos ambientais e diminuir as possibilidades de sustentabilidade a longo prazo (Mayer, 2008).

Considerando a capacidade limitada dos servidores e gestores que manuseiam os indicadores e seus resultados, cabe destacar que, em muitos casos, é verificada uma elevada complexidade intrínseca ao desenvolvimento do indicador, o que, conseqüentemente, impacta na utilização satisfatória dos indicadores e de seus resultados. A OECD (2008) ressalta que a manutenção da coerência ao longo do processo e a transparência são características essenciais a serem mantidas durante a formulação dos indicadores. Nesse processo a transparência está atrelada à definição do

1) Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 44302, Porto Alegre/RS, (51) 3308-6686, eng.camilabaum@gmail.com

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 44302, Porto Alegre/RS, (51) 3308-6686, joel@iph.ufrgs.br

marco teórico, determinação de subgrupos, e identificação de critérios de seleção, método e ponderação adotada (OECD, 2008).

No âmbito da etapa de ponderação dos indicadores, há diversas metodologias disponíveis, como as participativas, de análise multivariada e de análise multicritério. As metodologias participativas por muito tempo foram as mais utilizadas. No entanto, devido principalmente ao grau de subjetividade que envolve a opinião de especialistas, essas metodologias atualmente são mais utilizadas em associação com outras metodologias, como as de análise multicritério. Segundo Verma e Raghubanshi (2018), atualmente as estatísticas multivariadas têm se apresentado como as metodologias mais úteis. Contudo, apesar de pesos determinados estatisticamente terem a vantagem de aplicar uma ponderação mais neutra e dependente dos dados, elas nem sempre refletem as prioridades dos tomadores de decisão ou as restrições orçamentárias que limitam escolhas livres entre um rol de opções políticas (Esty et al., 2005).

Apesar de cada metodologia de ponderação ter vantagens e desvantagens específicas, que limitam sua aplicação em determinadas situações, é comum que haja uma grande gama de metodologias passíveis de uso. Considerando a importância de que o método de ponderação seja compreensível a quem interpreta os resultados dos indicadores, além da necessidade de possuir uma base teórica ou raciocínio lógico que garanta credibilidade e aceitação na atribuição de pesos (Zonensein, 2007), pretende-se com esse estudo avaliar se os métodos de ponderação de indicadores compostos para gerenciamento de águas pluviais urbanas utilizando metodologias mais complexas (como Análise dos Componentes Principais e Processo de Análise Hierárquica) são mais robustos em comparação com metodologias mais simples, como a ponderação por média aritmética. Nesse sentido, tem-se como objetivo avaliar a sensibilidade de três diferentes métodos de ponderação na formulação de indicadores compostos para gerenciamento de águas pluviais urbanas, com ênfase no caso de municípios de menor porte, a fim de identificar qual se apresenta mais adequado para indicadores de gerenciamento e manejo de águas pluviais.

METODOLOGIA

Para avaliar a sensibilidade de diferentes métodos de ponderação de indicadores compostos relacionados às águas pluviais foram utilizados indicadores simples formulados e utilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Águas Pluviais (SNIS-AP). Foram formulados dois indicadores compostos: 1) Infraestrutura e 2) Gestão de Riscos. Três métodos distintos de ponderação foram testados para atribuições dos pesos aos indicadores compostos: Média Aritmética, Análise dos Componentes Principais (ACP) e Processo de Análise Hierárquica (PAH).

Seleção dos indicadores simples e obtenção dos dados

Os indicadores simples utilizados nesse trabalho foram obtidos do SNIS-AP e os dados utilizados são os referentes ao 3º Diagnóstico de Manejo das Águas Pluviais Urbanas - 2018 (SNIS-AP, 2019). Foram selecionados indicadores relacionados à infraestrutura e à gestão de riscos por serem áreas com maior quantidade dos indicadores calculados. É importante ressaltar que, no SNIS-AP, os indicadores somente são calculados quando todas as informações que entram na sua composição estão disponíveis (SNIS-AP, 2019). Em consequência, alguns indicadores acabam não sendo calculados devido à ausência de alguma informação ou pela incompatibilidade da informação fornecida ao SNIS-AP com informações fornecidas à outra base de dados.

Quanto aos indicadores da área de Gestão de Riscos, foram utilizados três indicadores fornecidos pelo SNIS-AP. Já para os indicadores da área de Infraestrutura, foram selecionados os seis indicadores que a maior parte dos municípios havia respondido. Os indicadores simples selecionados e utilizados nesse estudo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Indicadores simples selecionados

	ID	Indicador simples
Infraestrutura	IN020	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio na Área Urbana do Município
	IN021	Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana
	IN026	Parcela de Cursos d'Água Naturais Perenes com Canalização Aberta
	IN027	Parcela de Cursos d'Água Naturais Perenes com Canalização Fechada
	IN029	Parcela de Cursos d'Água Naturais Perenes com Diques
	IN051	Densidade de captações de águas pluviais na área urbana
Gestão de risco	IN040	Parcela de Domicílios em Situação de Risco de Inundação
	IN041	Parcela da População Impactada por Eventos Hidrológicos
	IN047	Habitantes Realocados em Decorrência de Eventos Hidrológicos

Fonte: Adaptado de SNIS-AP (2019).

Com o objetivo de possibilitar o cálculo e verificação da aplicabilidade dos indicadores compostos formulados a partir da ponderação por distintos métodos, foram selecionados municípios do Rio Grande do Sul, com população inferior a trinta mil habitantes e que possuísem os resultados dos indicadores simples pré-selecionados preenchidos. A partir desses critérios, foram identificados sete municípios que se adequavam, os quais serão utilizados nesse estudo: 1) Agudo; 2) Campina das Missões; 3) Jari; 4) Nova Hartz; 5) Palmitinho; 6) Pedro Osório e 7) São Marcos (Tabela 2). A quantidade de municípios utilizados não interfere na ponderação pelos métodos da média aritmética e processo de análise hierárquica, apenas na ponderação pelo método de análise de componentes principais. Na literatura não foi identificado um valor mínimo ideal de municípios para a ponderação efetiva por esse método, considerando-se assim esta como uma análise introdutória.

Tabela 2 – Características dos municípios utilizados nesse estudo

Município	População (hab.) ¹	Área total (km ²) ¹	Área urbana (km ²) ²
Agudo	16.401	534,624	16,00
Campina da Missões	5.398	224,801	1,90
Jari	3.486	853,080	1,93
Nova Hartz	21.875	62,319	17,09
Palmitinho	7.056	144,181	0,84
Pedro Osório	7.706	603,757	5,23
São Marcos	21.658	256,177	20,82

¹ IBGE (2020), ² SNIS-AP (2019).

Métodos de Ponderação

Média Aritmética: É um método de ponderação homogênea onde cada indicador simples tem o mesmo peso pela soma ponderada com pesos iguais para cada indicador simples. O peso dos indicadores simples varia de acordo com o número de indicadores simples que formam o indicador composto. A soma dos pesos dos indicadores simples de cada indicador composto, no entanto, deve ser a mesma: 1 (um) (Equação 1).

$$I_{composto} = \sum(IP_i * W) = IP_1 * W + IP_2 * W + \dots + IP_n * W = 1 \quad (1)$$

$$W = \frac{\sum IP}{1} \quad (2)$$

onde, $I_{composto}$ é indicador composto, IP_i é o indicador simples normalizado e W é o peso de cada indicador simples – idêntico para todos os indicadores simples que compõem um mesmo indicador composto.

Processo de Análise Hierárquica (PAH): É um método de ponderação sob variação onde os indicadores simples possuem pesos distintos. Esta metodologia reduz o problema de tomada de

decisão, utilizando comparações par-a-par dos critérios. O método PAH foi desenvolvido em seis etapas principais, seguindo a metodologia proposta por Saaty (1977), apresentadas a seguir.

1. Inicialmente foi estruturada a hierarquia de decisão, sendo criada uma matriz de avaliação de $n \times n$, onde n é número de indicadores a serem avaliados;
2. Em seguida foi estabelecido o conjunto de todos os julgamentos na matriz de comparação na qual o conjunto de elementos é comparada a si mesma usando a escala de preferência relativa apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Escala de preferência relativa

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
Menos Importante					Mais Importante			

Fonte: Saaty (1977).

3. Para fins de normalização dos resultados das comparações, os resultados foram divididos pela soma das colunas;
4. Para concluir a parte correspondente a ponderação, foi calculada a média dos valores de cada linha, e o resultado é o valor do peso de cada indicador simples;
5. Após a ponderação de cada indicador, foi iniciada a avaliação de consistência. Para que o julgamento dos pesos seja consistente é preciso primeiramente determinar o parâmetro λ (autovalor principal) (Equação 3);

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \sum_{i=1}^j M_i * S_i \quad (3)$$

onde: $\lambda_{m\acute{a}x}$: autovalor principal; M_i : é a média da linha correspondente ao i -ésimo critério; S_i : é a soma da coluna correspondente ao i -ésimo critério e j : é o número total de critérios.

6. Com o autovalor principal determinado é verificada a consistência dos julgamentos no Índice de Consistência (IC) (Equação 4) e no Grau de Consistência (GC) (Equação 5). Para o cálculo do GC são necessários os valores do Índice de Consistência Aleatório, que consiste em um valor que é função do número de indicadores (n) (Tabela 4). Para haver coerência nessa consistência, de acordo com Saaty (1977), o Grau de Consistência aceito deve ser de até 0,1, ou seja, 10%.

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

onde: $\lambda_{m\acute{a}x}$: autovalor principal e n : n : é o número total de critérios.

$$GC = IC / ICA \quad (5)$$

onde: GC : é o Grau de Consistência e ICA : é o Índice de Consistência Aleatório.

Tabela 4 - Valoração do Índice de Consistência Aleatória conforme número de indicadores

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Com a ponderação dos indicadores simples obtida pelo método em questão, são calculados os Indicadores Compostos (Equação 6).

$$I_{composto} = \sum(IP_i * W_i) = IP_1 * W_1 + IP_2 * W_2 + \dots + IP_n * W_n \quad (6)$$

onde, $I_{composto}$ é indicador composto, IP_i é o indicador simples normalizado, a ser agrupado, e W_i é o peso de cada indicador simples.

Análise dos Componentes Principais: É um método de ponderação sob variação onde os indicadores simples possuem pesos distintos. Para a aplicação desse método foram utilizados os dados referentes aos municípios selecionados previamente. O software utilizado foi o *Statistica 10*. Inicialmente foi gerada uma matriz de correlação através de estatística básica, utilizando os dados dos municípios selecionados, o que possibilitou observar a importância das variáveis entre si e o grau em que estão correlacionadas. Em seguida foi aplicada a ACP que gera, além de outros resultados, a matriz de autovetores e a variância expressa por cada componente principal. É esperado que o Componente 1 tenha maior variância, de forma que seus autovetores são as ponderações utilizadas para equação do indicador composto. A fim de evitar problemas com pesos negativos, comuns na ACP, foram calculadas as comunalidades (quantidades das variâncias (correlações) de cada variável explicada pelos fatores), de forma que todas as ponderações se tornaram positivas.

Com a ponderação dos indicadores simples obtida pelo método em questão, são calculados os indicadores compostos. A descrição equacional do método é apresentada na Equação 7, onde $I_{composto}$ é o indicador simples, IP_i é o indicador simples normalizado e W_i é o peso de cada indicador simples (autovalor).

$$I_{composto} = \Sigma(IP_i * W_i) = IP_1 * W_1 + IP_2 * W_2 + \dots + IP_n * W_n \quad (7)$$

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade nesse estudo explora o efeito de uma das principais incertezas associadas a construção de indicadores compostos, a ponderação. O conceito de sensibilidade, para este estudo, considera as diferenças entre os indicadores simples resultantes da ponderação pelos diferentes métodos avaliados quando se faz a variação do peso de um indicador simples mantendo-se os demais iguais.

Os diferentes pesos em função do número de indicadores são sintetizados e generalizados pela Equação 8. Essa equação determina o vetor de pesos, cujo somatório deve ser 1.

$$w + \sum_1^{ni-1} \left[\frac{(1-w)}{(ni-1)} \right] = 1 \quad (8)$$

onde, w é peso decimal atribuído ao indicador ($w = 0,1$ a $0,5$, com intervalo de $0,1$) e ni é o número total de indicadores simples.

Para a realização dessa análise, é necessário um cenário comparativo, que nesse caso foi considerado como a ponderação original obtida para cada um dos três métodos de ponderação, o qual foi denominado de cenário homogêneo (CH). Os cenários sistematicamente ponderados foram obtidos pela distribuição da ponderação para o indicador simples sob variação e para os demais indicadores simples que compõe o indicador composto, de modo a somarem sempre 1 (um). A variação dos pesos é arbitrária, porém, optou-se por variar os pesos do indicador simples sob variação num intervalo de unidade decimal. A Tabela 5 apresenta o exemplo das ponderações para o indicador IN051 sob ponderação sistemática, para o método de Processo de Análise Hierárquica.

Tabela 5 - Exemplo de cenário homogêneo e cenários sob variação aplicados para o Indicador Composto Infraestrutura, com o indicador IN051 estando sob ponderação sistemática

Indicador	Processo de Análise Hierárquica					Cenário Homogêneo PAH
	Cenário sob variação					
	C1	C2	C3	C4	C5	
IN020	0,068	0,048	0,028	0,008	-0,012	0,025
IN021	0,148	0,128	0,108	0,088	0,068	0,104
IN026	0,127	0,107	0,087	0,067	0,047	0,083
IN027	0,308	0,288	0,268	0,248	0,228	0,264
IN029	0,249	0,229	0,209	0,189	0,169	0,205

IN051	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,318
Somatório	1	1	1	1	1	1

Após os pesos serem atribuídos a todos os indicadores simples, obtém-se um conjunto ponderado de n indicadores vezes p pesos, utilizando os dados dos municípios piloto. A partir desse conjunto, foi realizada a análise de sensibilidade, obtida pela correlação entre um cenário homogêneo e os demais cenários ponderados sistematicamente.

A sensibilidade para cada indicador composto (Infraestrutura e Gestão de Risco), foi testada em dois indicadores simples sob variação para cada indicador composto, compondo-se assim quatro avaliações de sensibilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que fosse possível identificar a diferença entre utilizar métodos de ponderações mais complexos e mais simples para a formulação de indicadores compostos para gerenciamento de águas pluviais urbanas, inicialmente são apresentados os resultados dos diferentes métodos de ponderação testados nesse estudo e a avaliação da sensibilidade dos mesmos. Em seguida é realizada a discussão dos resultados e o impacto destes na estruturação de indicadores para gerenciamento de águas pluviais urbanas.

Ponderação

O peso de cada um dos indicadores simples que compõem os indicadores compostos são apresentados na Tabela 6. Ao avaliar a correlação entre os métodos de ponderação sob variação, foi verificado um grau de correlação de -0,57 entre os pesos dos indicadores simples de Infraestrutura obtidos a partir das metodologia de PAH e ACP. Entre os pesos dos indicadores simples de Gestão de Riscos obtidos a partir das metodologia de PAH e ACP o grau de correlação de -0,43. Não foi possível o cálculo da correlação envolvendo os pesos obtidos pela média aritmética uma vez que o desvio padrão entre estes é nulo.

Tabela 6 - Pesos dos indicadores simples

Indicador Simples	Método de Ponderação		
	Média Aritmética	PAH	ACP
IN020 - Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio na Área Urbana do Município	0,166	0,025	0,274
IN021 - Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana	0,166	0,104	0,156
IN026 - Parcela de Cursos d'Água Naturais Perenes com Canalização Aberta	0,166	0,083	0,195
IN027 - Parcela de Cursos d'Água Naturais Perenes com Canalização Fechada	0,166	0,264	0,001
IN029 - Parcela de Cursos d'Água Naturais Perenes com Diques	0,166	0,205	0,190
IN051 - Densidade de captações de águas pluviais na área urbana	0,166	0,318	0,183
IN040 - Parcela de Domicílios em Situação de Risco de Inundação	0,333	0,088	0,437
IN041 - Parcela da População Impactada por Eventos Hidrológicos	0,333	0,243	0,250
IN047 - Habitantes Realocados em Decorência de Eventos Hidrológicos	0,333	0,669	0,313

Quando calculados os indicadores com base nos pesos apresentados na Tabela 6, foram obtidos os resultados por município piloto, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2. Os resultados apresentados

nas Figuras 1 e 2 indicam que, para o Indicador Composto Infraestrutura, há uma diferença importante entre as ponderações obtidas pelos métodos da média e PAH e as ponderações obtidas pelo método da ACP, enquanto para o Indicador Composto de Gestão de Risco essa diferença não é observada. Essa evidência é reforçada quando avaliadas as correlações entre as diferentes ponderações, conforme resultados apresentados na Tabela 7.

Figura 1 - Resultado do Indicador Composto Infraestrutura por tipo de ponderação utilizada para cada município piloto

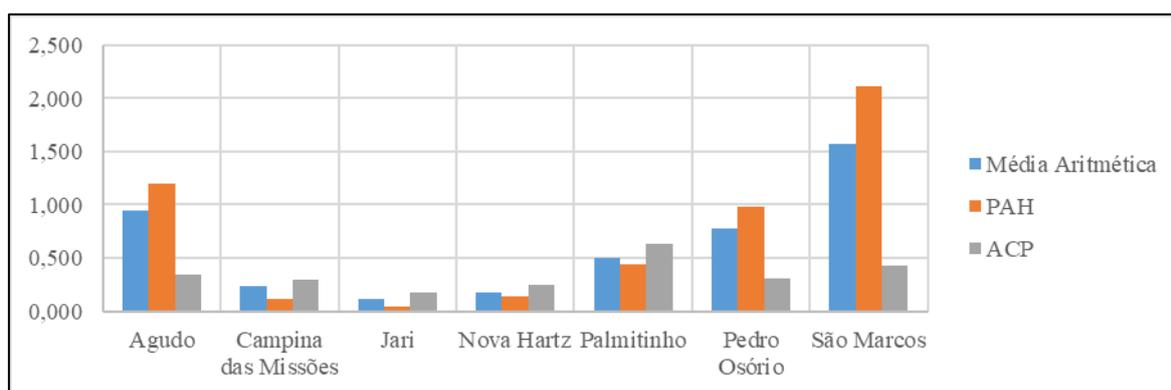


Figura 2 - Resultado do Indicador Composto Gestão de Risco por tipo de ponderação utilizada para cada município piloto

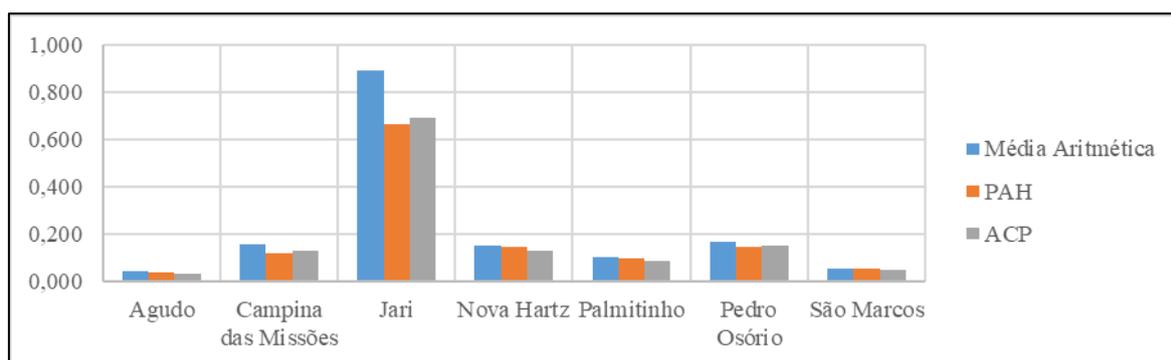


Tabela 7 - Correlação linear entre os resultados de indicadores compostos desenvolvidos a partir de diferentes métodos de ponderação

Indicador composto	Correlação		
	Média Aritmética X PAH	Média Aritmética X ACP	PAH X ACP
Infraestrutura	0,997	0,417	0,351
Gestão de Risco	0,999	0,999	0,999

A associação entre os resultados das ponderações Média Aritmética X ACP e PAH X ACP para o Indicador Composto de Infraestrutura apresentaram correlações positivas fracas, enquanto as demais correlações apresentaram um grau de correlação positiva forte. Os resultados apresentados indicam que o grau de associação entre indicadores pode variar expressivamente de acordo com os dados utilizados para o cálculo, como é o caso da associação PAH X ACP para o indicador composto Gestão de Risco. Esta associação apresentou correlação de -0,43 entre os pesos e grau de correlação de 0,999 entre os métodos de ponderação quando aplicados nos municípios piloto.

A fim de compreender como as diferentes ponderações dos indicadores simples interferem nesses resultados, a seguir é apresentada a análise de sensibilidade, testada em alguns indicadores simples.

Análise de sensibilidade

Foram atribuídas as ponderações dos cenários (C1 a C5) para os indicadores simples IN027 e IN051 (referentes ao Indicador Composto Infraestrutura) e IN040 e IN047 (referentes ao Indicador Composto Gestão de Risco) e posteriormente realizada a análise de correlação com o respectivo cenário homogêneo (CH) do indicador, resultando nos valores apresentados na Tabela 8. Os resultados de correlação são apresentados na forma gráfica na Figura 3. Nestes gráficos, cada curva representa a distribuição dos valores de correlação à medida que se alteram os pesos atribuídos aos indicadores para um método de ponderação.

Tabela 8 - Correlação do cenário homogêneo x cenários ponderados

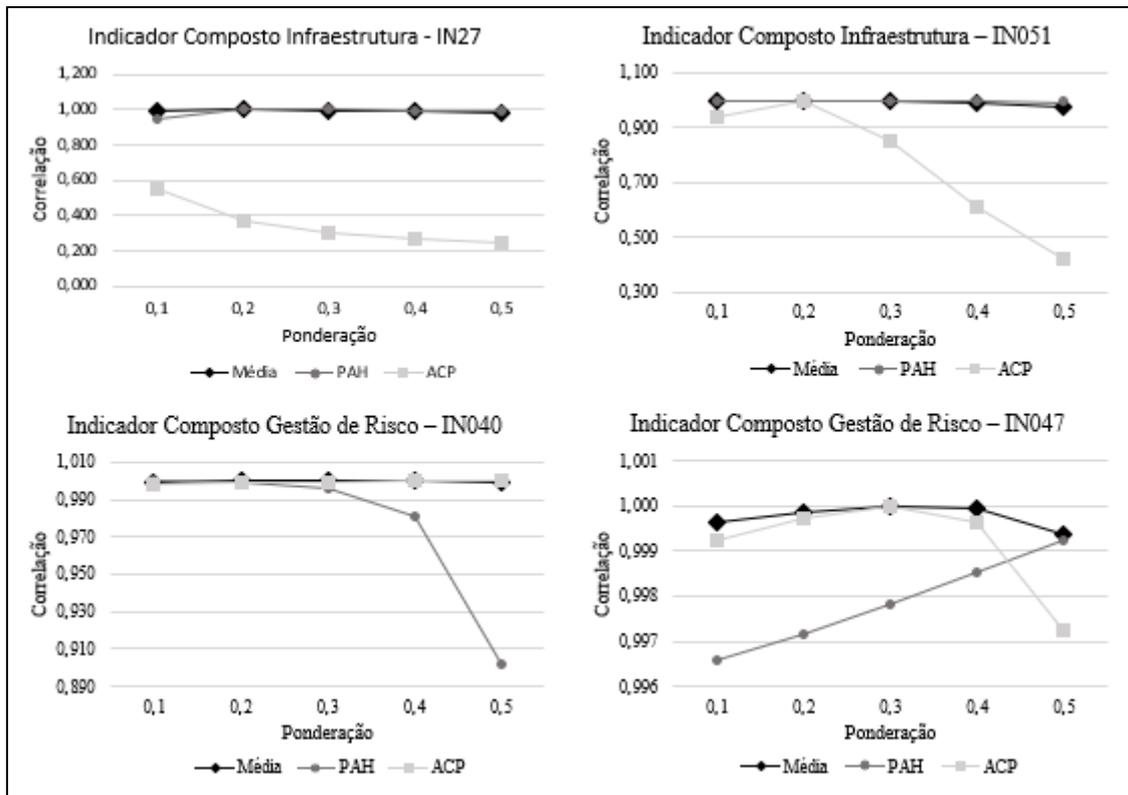
Cenário	Indicador Composto Infraestrutura						Indicador Composto Gestão de Risco					
	Correlação IN027			Correlação IN051			Correlação IN040			Correlação IN047		
	Média	PAH	ACP	Média	PAH	ACP	Média	PAH	ACP	Média	PAH	ACP
C1	0,987	0,945	0,552	1,000	0,999	0,940	1,000	1,000	0,999	1,000	0,997	0,999
C2	0,999	0,998	0,372	1,000	1,000	0,997	1,000	0,999	0,999	1,000	0,997	1,000
C3	0,993	1,000	0,300	0,998	1,000	0,849	1,000	0,996	1,000	1,000	0,998	1,000
C4	0,987	0,997	0,262	0,992	1,000	0,611	1,000	0,981	1,000	1,000	0,999	1,000
C5	0,983	0,995	0,239	0,976	0,999	0,420	0,999	0,902	1,000	0,999	0,999	0,997

Como é possível observar, para o Indicador Composto Infraestrutura, o método que apresentou maior sensibilidade a alterações nas ponderações foi a ACP, enquanto para o Indicador Composto Gestão de Risco o método que apresentou maior sensibilidade a alterações na ponderação foi o método PAH.

Quando avaliados os comportamentos por cada indicador submetido a variação, no Indicador Composto Infraestrutura, foram submetidos à variação (individualmente) os indicadores IN027 e IN051. Na composição do Indicador Composto Infraestrutura o IN027, pelo método ACP, apresentou um peso bastante reduzido -0,001- o qual foi o menor peso atribuído para um indicador simples que compõe este indicador composto, independentemente do método de ponderação, como pode ser observado na Tabela 6. Já o IN051 não possui nenhum dos pesos (estabelecidos pelos diferentes métodos) extremos, apresentando um comportamento um pouco mais próximo do esperado, porém, ainda com bastante sensibilidade para os cenários C3, C4, C5 para o método da ACP.

No Indicador Composto Gestão de Risco, foram submetidos à variação (individualmente) os indicadores IN027 e IN051. Da mesma forma que para o Indicador Composto Infraestrutura, foi submetido a variação um indicador simples que possuía um de seus pesos reduzido (IN040) e outro que não possui nenhum dos pesos (estabelecidos pelos diferentes métodos) extremos (IN047), conforme pode ser observado na Tabela 6. Mesmo que o IN040 apresentou pelo método PAH uma sensibilidade maior nos cenários C4 e C5, a correlação ainda foi forte. Já para o IN047 as variações de correlação para diferentes ponderações, por diferentes métodos variou, bastante, no entanto todas as correlações foram fortes (>0,99).

Figura 3 - Distribuição dos valores de correlação para cada indicador simples submetido a variação conforme metodologia de ponderação



Em uma análise geral também cabe destacar que o número de indicadores simples que compõe o Indicador Composto Infraestrutura (seis) é o dobro do número de indicadores simples que compõe o Indicador Composto de Gestão de Risco (três).

Diante dos aspectos observados, para a realidade dos indicadores de águas pluviais do SNIS-AP, considerando os problemas relacionados à confiabilidade dos dados informados no sistema, recorrente ruptura na constituição das equipes locais e à forma diversificada como os conceitos e termos técnicos de drenagem são apropriados em cada região do país (SNIS-AP, 2019), o método que apresentou menor sensibilidade em relação a ponderação foi o da média aritmética. O método da ACP apresentou elevada sensibilidade, principalmente nos IN027 e IN051, no entanto, pela sensibilidade ser extremamente elevada e não manter um padrão, a mesma deve ser considerada com cuidado. Já o método de ponderação por PAH, apresentou maior sensibilidade na ponderação dos indicadores IN040 e IN047 e, apesar de também não manter um padrão, apresentou um grau de sensibilidade mais dentro do esperado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de sensibilidade não permitiu a identificação de qual método de ponderação é o mais adequado, no entanto, demonstrou que a ponderação por média aritmética apresenta baixa sensibilidade. A ponderação por ACP é altamente dependente dos dados de campo, dessa forma, como foram utilizados dados de apenas sete municípios é possível que estes não permitam a ponderação mais adequada.

Algumas limitações específicas desse estudo são observadas, como o cálculo do Indicador Composto Gestão de Riscos, o qual foi parcialmente comprometido devido a exclusão do indicador o IN046 - Índice de Óbitos, uma vez que esse indicador ter resultado zero para todos os municípios, sendo excluído no cálculo dos pesos pelo método ACP, sendo assim excluído

Não foram identificados estudos que avaliassem a sensibilidade de diferentes métodos de ponderação para a composição de um índice ou indicador composto. Dessa forma, esse trabalho se apresenta como um trabalho pioneiro e introdutório nesse aspecto. Recomenda-se que estudos futuros, para além da análise da sensibilidade associada a diferentes métodos de ponderação, analisem outras incertezas associadas ao processo de construção de indicadores compostos, como o número de indicadores simples utilizados na composição do indicador composto.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece a concessão da bolsa de estudos pela agência brasileira Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

REFERÊNCIAS

- BAUM, C. A.; GOLDENFUM, J. A. (no prelo). “Indicadores para o gerenciamento de águas pluviais urbanas no Brasil: situação atual e oportunidades de evolução”. Revista Brasileira de Gestão Urbana.
- COLOMBELLI, K. (2018). *Serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas: avaliação do contexto brasileiro e da adaptabilidade de práticas norte-americanas para a proposição de melhorias institucionais e financeiras* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ESTY, D. C.; LEVY, M. A.; SREBOTNJAK, T.; DE SHERBININ, A. (2005). “*Environmental Sustainability Index: Benchmarking national environmental stewardship*”. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law and Policy, 63 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em maio de 2021.
- MAYER, A. L. (2008). “*Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems. Environment International*”. 34(2), 277–291.
- OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and UserGuide*. 209 p.
- SAATY, T. L. (1977). “*A scaling method for priorities in hierarchical structures*”. Journal of Mathematical Psychology 15(3), 234–281.
- SNIS-AP - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento-Águas Pluviais (2019). “*3º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2018*”. Brasília: MCIDADES.SNSA. 200 p.
- VERMA, P.; RAGHUBANSHI, A. S. (2018). “*Urban sustainability indicators: Challenges and opportunities*”. Ecological Indicators 93, 282–291.
- ZONENSEIN, J. (2007). *Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.